

Nikolai Njøs

Load-velocity i krålsvømming: reliabilitet og prestasjon

Masteroppgave i idrettsvitenskap
Institutt for Fysisk Prestasjonsevne
Norges idrettshøgskole, 2020

Sammendrag

En 50m krålprestasjon avhenger i stor grad av svømmerens evner til å skape fremdrift og minimere vannmotstand. Semi-tethered svømming er en tilnærming som gir mulighet for å teste disse egenskapene hos svømmere gjennom load-velocity profilering, som foreløpig har blitt lite utforsket i svømming. Målene med denne oppgaven var 1) å teste reliabiliteten til load-velocity profilering i krålsvømming (reliabilitetsstudien), og 2) undersøke sammenhengene mellom utfallsmålene fra load-velocity og en 50m krålprestasjon i kortbane (load-velocity studien). Reliabilitet ble undersøkt ved å teste 16 utøvere, både menn og kvinner, på nasjonalt konkurransenivå på to ulike anledninger, adskilt med \leq fem dager og med samme protokoll. I load-velocity studien deltok 14 mannlige utøvere på nasjonalt elitenivå. De gjennomførte først en simulert 50m krål konkurranse hvor utfallsmålene var tid (t_{50}) og gjennomsnittlig hastighet i de frie svømmefasene (v_{50}). I begge studiene ble det gjennomført load-velocity profilering med maksimal innsats over 25m krålsvømming. I reliabilitetsstudien gjennomførte forsøkspersonene fem repetisjoner og den ytre belastningen økte mellom hver. Alle begynte med 1kg og den progressive økningen var +1kg for kvinner og +2kg for menn. I load-velocity studien bestod profileringen av tre repetisjoner med eksternt belastning på henholdsvis 1, 5, og 9kg. Gjennomsnittshastigheten over tre sykluser på hver belastning ble plottet mot den tilsvarende motstand for å generere load-velocity profiler. Utfallsmålene fra load-velocity profilene var teoretisk maksimal hastighet (v_0), teoretisk maksimal motstand (L_0), L_0 relativ til kroppsvekt (rL_0) og helning på regresjonslinjen (Slope). Reliabilitet ble analysert gjennom intraclass correlation coefficient, som for tre motstander viste 0,962 for L_0 , 0,926 for rL_0 , 0,878 for v_0 og 0,911 for slope, og gjennom coefficient of variation (%), som viste 4,03 for L_0 , 4,10 for rL_0 , 1,81 for v_0 og 4,82 for slope. Korrelasjonsanalyser mellom variablene fra load-velocity profilering og 50m krål viste signifikante korrelasjoner mellom t_{50} og L_0 ($r = -0,554$, $p = 0,040$), rL_0 ($r = -0,677$, $p = 0,008$) og v_0 ($r = -0,677$, $p = 0,008$), og mellom v_{50} og L_0 ($r = 0,632$, $p = 0,015$), rL_0 ($r = 0,743$, $p = 0,002$) v_0 ($r = 0,698$, $p = 0,006$) og slope ($r = 0,541$, $p = 0,046$). Resultatene viste at load-velocity profilering med tre motstander er reliabel og kan være en nyttig svømmespesifikk tilnærming for å evaluere sprintprestasjoner i krålsvømming og kan utnyttes som en svømmespesifikk tilnærming for å undersøke og sammenligne svømmeres evne til å utvikle hastighet og styrke over tid. Dette vil gjøre det mulig å utvikle individualiserte

treningsanbefalinger for å forbedre svømmeprestasjonen. Den reliable metoden vil også kunne utnyttes for å etablere arbeidskrav til prestasjon på ulike nivåer.

Innhold

Sammendrag	3
Forord.....	7
1. Teori.....	8
1.1 Hva bidrar til 50m krålprestasjonen?	8
1.1.1 50m krål	8
1.1.2 Bevegelse i vann	8
1.1.3 Løft.....	9
1.1.4 Oppdrift.....	9
1.1.5 Vannmotstand	10
1.1.6 Temperatur	11
1.1.7 Hastighet og fremdrift.....	11
1.1.8 Armtak	12
1.1.9 Fraspark og undervannsarbeid	12
1.1.10 Antropometri.....	13
1.1.11 Styrke og power i underekstremitetene.....	13
1.1.12 Styrke og power i overekstremitetene.....	14
1.1.13 Tethered svømming	14
1.2 Semi-tethered svømming og load-velocity profiler	15
1.3 Praktiske applikasjoner av load-velocity profiler i svømming.....	18
1.3.1 Monitorering av prestasjon	18
1.3.2 Sammenlikning load-velocity profiler	19
1.3.3 Krav og individualisering av trening	19
1.4 Målet med studien	20
2. Metode	21
2.1 Studiedesign	21
2.2 Deltakere	21
2.3 Antropometriske data (kun load-velocity studien).....	22
2.4 50m krål (kun load-velocity studien)	22
2.5 Load-velocity profilering	22
2.6 Statistiske analyser	24
Referanser	26
Figuroversikt.....	32
Forkortelser	33
RELIABILITY OF LOAD-VELOCITY PROFILING IN FRONT CRAWL SWIMMING	34

Abstract	35
INTRODUCTION.....	36
METHODS.....	36
Experimental Approach to the Problem	36
Subjects.....	37
Procedures	37
Statistical Analyses.....	39
RESULTS	39
DISCUSSION	42
PRACTICAL APPLICATIONS	45
ACKNOWLEDGMENTS	45
REFERENCES.....	46
Swimming load-velocity profile is a useful tool to examine 50 m front crawl performance	49
ABSTRACT	51
INTRODUCTION.....	52
METHOD.....	55
Experimental approach to the problem.....	55
Subjects.....	55
Procedures	55
Load-velocity profiling.....	56
Statistical analyses	59
RESULTS.....	60
DISCUSSION	63
PRACTICAL APPLICATIONS	68
ACKNOWLEDGEMENTS	69
REFERENCES.....	70
Vedlegg	73
Vedlegg 1 – Forespørsel om deltakelse.....	73
Vedlegg 2 – Egenerklærings skjema.....	76
Vedlegg 3 – Oppsett av software for 1080 Sprint for load-velocity testing	78
Vedlegg 4 – Godkjenning fra etisk komite på Norges Idrettshøgskole	85
Vedlegg 5 – Godkjenning fra Norsk Senter for Forskningsdata.....	86

Forord

Jobbinga med denne masteroppgaven, som det tok to år å fullføre, markerte noen av de tøffeste og beste tidene i livet mitt. Det er mange personer som har bidratt, både til selve masteroppgaven og til å støtte meg personlig gjennom denne prosessen, som har vært utrolig lærerik på veldig mange måter.

Jeg vil først takke hovedveilederen min, Bjørn Harald Olstad, for all støtte og tålmodighet, og ikke minst for alle den tiden du gav for å hjelpe meg med oppgaven. Det setter jeg utrolig mye pris på. Jeg vil også takke de andre veilederne mine, Ola Eriksrud og Tomohiro Gonjo, som også har gitt veldig mye av tiden sin, og har hatt mange gode innspill og tilbakemeldinger som har bidratt til å forme forståelsen min rundt de ulike temaene.

Jeg vil også takke alle andre som var med på å hjelpe med testingen, og selvfølgelig deltakerne som i det hele tatt gjorde studiene mulig.

Masse takk går også ut til familie, kjæreste, og venner som har støttet meg og distraherert meg når det har trengtes, og gjort hele prosessen mulig (og ofte fornøylig).

Tusen takk!

1. Teori

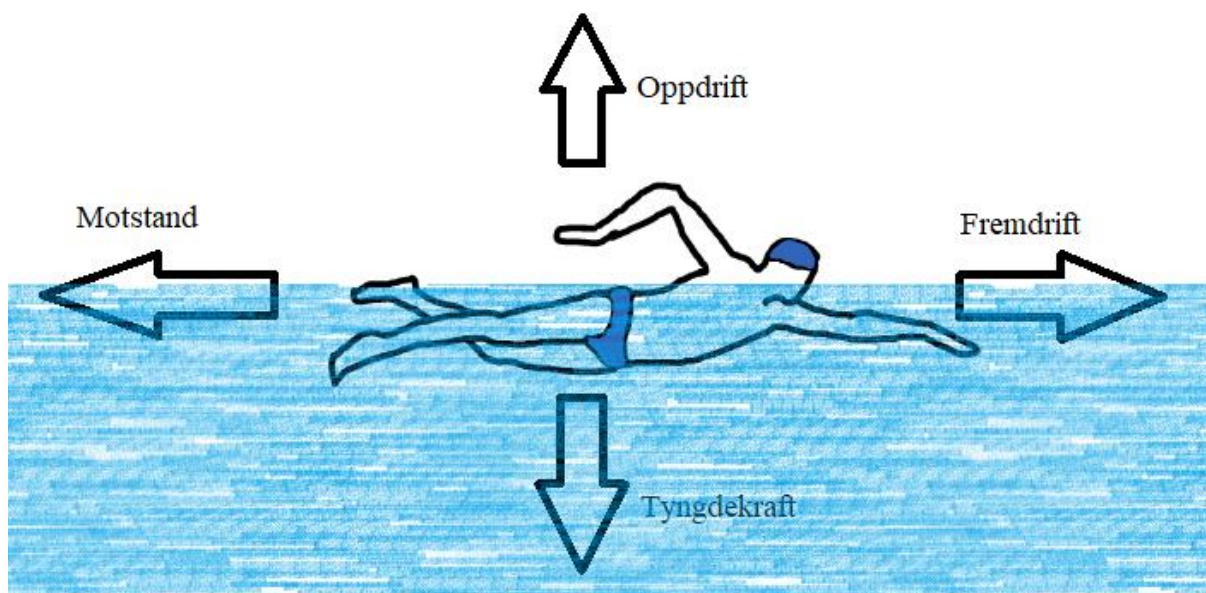
1.1 Hva bidrar til 50m krålprestasjonen?

1.1.1 50m krål

Krål er den raskeste svømmearten og 50m er den korteste distansen i internasjonale mesterskap. Konkurranser i 50m basseng begynner med en startfase hvor utøverne stuper ut i vannet fra en startblokk, en undervannsfase hvor energien fra stupet samt undervannskick og benspark benyttes til å traversere de første 10-15m av bassenget, en fri svømmefase som dekker de følgende 30-35m fram til avslutningsfasen, som er de resterende 5m til mål (Mason & Cossor, 2000). I en 50m krålprestasjon i et 25m basseng vil det også være en vendingsfase som ofte identifiseres med de siste 5m før veggen opptil 10m ut fra veggen og inkluderer en saltovending med fraspark og undervannsarbeid. Inklusjonen av denne fasen vil øke hastighetene svømmerne klarer å oppnå på distansen (Keskinen, Keskinen & Mero, 2007).

1.1.2 Bevegelse i vann

Svømming er en idrett som foregår i to medier; vann og luft, noe som gjøre den svært annerledes enn landbaserte idretter som f.eks. løping og sykling. På land blir utøveren først og fremst påvirket av tyngdekraft, luftmotstand og friksjon fra underlaget. Hovedkreftene som virker på en svømmer i vann kan sees i Figur 1. De viktigste aspektene ved vann med tanke på svømmeprestasjon er løft, oppdrift, vannmotstand og temperatur (Barbosa, Marinho, Costa & Silva, 2011; Mougios & Deligiannis, 1993). Newtons 3. bevegelseslov sier at et legeme som påvirker et annet legeme med en kraft, vil bli påvirket med en like stor og motsatt rettet kraft. I løping, for eksempel, så dytter man på bakken, og bakken dytter tilbake. I svømming har man ingen fast grunn å dytte på, så for å skape fremdrift må utøveren skape en kraft og dytte den mot vannet. Vannet vil da påvirke utøveren med samme kraft motsatt rettet, og hvis utøveren har dyttet vannet i riktig retning så vil dette skape fremdrift. På denne måten er fremdrift avhengig av utøverens evne til å skape kraft (styrke/power) og utøverens evne til å applisere denne kraften på vannet på en måte som skaper fremdrift (teknikk). Hastigheten svømmeren klarer å oppnå er derfor avhengig av hvor stor fremdrift svømmeren klarer å skape og hvor mye svømmeren klarer å minimere vannmotstanden (Toussaint & Beek, 1992).



Figur 1. De 4 hovedkreftene som virker på en svømmer i vann.

1.1.3 Løft

Løft er en kraft som blir produsert av flyten av en væske rundt et legeme, og virker vinkelrett på hastighetsretningen til legemet. Det betyr at når svømmeren beveger seg framover gjennom vannet vil løft virke oppover eller nedover, avhengig av kroppens form i vannet. Gode svømmere har god kroppsholdning i vannet, hvilket gjør at løft virker oppover, og gjennom gode tekniske armtak kan svømmerne manipulere løft til å virke skrått fremover, slik at noe av denne kraften bidrar til fremdrift (Kjendlie, 2007; Maglischo, 2003). Løft er hovedsakelig avhengig av kroppsholdning og teknikk, men kan også bli påvirket indirekte av oppdrift.

1.1.4 Oppdrift

Vannets oppdrift er et resultat av at vannets massetetthet, og motvirker tyngdekraften. Oppdrift virker som beskrevet av Arkimedes' prinsipp, som sier at en gjenstand som er nedsenket i væske får en oppdrift lik tyngden av væsken gjenstanden fortrenger. Oppdriften til en person avhenger av massen og kroppssammensetningen til personen og posisjonen deres i vannet. En horisontal posisjon vil maksimere oppdrift mens vannmotstanden blir minimert (Maglischo, 2003). Kroppssammensetningen er viktig ettersom størrelsen på kroppen og massetettheten til kroppen påvirker oppdriften og tyngdekraften (Cordain & Kopriva, 1991). For eksempel vil en stor kropp med mye fett flyte bedre enn en stor kropp med mye muskler ettersom massetettheten til fett er lavere enn massetettheten til muskler. På den annen side vil en stor kropp og mye fett føre til en økt vannmotstand og en lavere relativ kraftproduksjon, så svømmeren må finne en optimal balanse mellom disse faktorene.

Spesialiserte drakter kan også øke oppdriften (Cordain & Kopriva, 1991). Oppdrift kan også bidra til fremdrift ved at svømmeren får en bedre rotasjon av kroppen, som er viktig for en god svømmeteknikk (Yanai, 2004). Optimal oppdrift kan øke hastigheten en svømmer kan oppnå gjennom å redusere vannmotstand og øke fremdrift, men hvor mye denne bidrar til prestasjonen på en kort distanse som 50m krål er usikkert (Maglischo, 2003).

1.1.5 Vannmotstand

Den viktigste kraften som utøveren må overkomme for å oppnå hastighet er vannmotstand (D, drag på engelsk). Likningen for vannmotstand er ifølge Barbosa et al. (2010):

$$D = K \cdot v^2 \quad (1)$$

D er vannmotstanden, K er en faktor som er spesifikk for vannet og avhenger av de mekaniske egenskapene til vannet samt utøverens overflate mot vannet, og v er hastighet. Vannmotstanden er svært avhengig av hastigheten til utøveren, og øker ifølge Barbosa et al. (2010) med kvadratet av hastigheten, mens ifølge Narita, Nakashima og Takagi (2017) øker vannmotstanden med kuben av hastigheten. Etersom målet til utøveren i en 50m sprint er å ha en så høy gjennomsnittshastighet som mulig, betyr det at utøveren vil kjempe en uendelig kamp mot vannmotstanden, og at det er hovedsakelig denne kraften som vil begrense utøverens fremdrift. Newtons 2. Lov sier:

$$F = ma \quad (2)$$

F er kraft, m er masse og a er akselerasjon. For å skape så høy hastighet så mulig så må svømmeren akselerere kroppen sin fremover ved å skape så mye kraft mot vannet så mulig, samtidig som svømmeren minimerer vannmotstanden. Dette støttes av Cappaert, Pease og Troup (1996) som viste at det som skilte de beste svømmerne fra resten i de Olympiske leker i 1992 var evnen dere til å minimere vannmotstanden, og av Takeda, Ichikawa, Takagi og Tsubakimoto (2009) som konkluderte med at det å minimere vannmotstanden var viktigere for en 25m krålprestasjon enn maksimering av fremdrift.

Vannmotstand er ofte delt inn i to deler – aktiv og passiv (Kjendlie, 2007). Passiv motstand er den motstanden som møter svømmeren når svømmeren blir tauet gjennom vannet (Chatard, Bourgoin & Lacour, 1990). Aktiv motstand er den motstanden som svømmeren møter som en direkte konsekvens av svømmingen, dvs. bevegelsene som skaper fremdrift, hvilke har vist seg vanskelige å måle (Havriluk, 2007). Videre anses det å være tre typer motstand ved svømming. Disse er frontalmotstand og turbulens, bølgeomotstand og friksjonsmotstand

(Kjendlie, 2007). Frontalmotstand avhenger av hvor stor overflateareal som vannet treffer når kroppen beveger seg fremover, og en følge av frontalmotstanden er turbulens, som fører til virvelstrømmer rundt kroppen og kan bremse svømmeren. Denne påvirkes av kroppens posisjon i vannet, kroppens linjeholdning, kroppens størrelse, og teknikk gjennom svømmebevegelsen. Ved å posisjonere seg høyt i vannet, å ha en god linjeholdning, og rotere ved armtak kan svømmeren redusere denne motstanden, samt ved å bruke spesialiserte drakter. Bølgemotstand forårsakes av at svømmeren, gjennom svømmebevegelser, dytter vannet i andre retninger enn bakover, hvilket fører til at den resulterende motkraften dytter svømmeren en annen retning enn forover. Denne kraften kan minimeres ved god teknikk, men kan i stor grad redusere hastighet svømmeren klarer å oppnå. Friksjonsmotstand er motstanden som oppstår mellom huden (inkludert drakten) og vannet (Hay & Thayer, 1989). Denne motstanden er sjelden veldig stor, og den kan minimeres ved å fjerne hår på kroppen og ved spesialiserte drakter (Benjanuvatra, Dawson, Blanksby & Elliott, 2002; Sharp & Costill, 1989). Frontalmotstand og turbulens utgjør som regel hoveddelen av motstanden som påvirker svømmeren (Kjendlie, 2007).

1.1.6 Temperatur

Vannets temperatur er også en egenskap som kan påvirke prestasjonen. Standardisert temperatur i konkurranse basseng, som bestemt av det internasjonale svømmeforbundet, Federation Internationale de Natation (FINA), er på mellom 25 og 28 grader celsius. Mougios og Deligiannis (1993) fant en liten men signifikant forskjell i prestasjon, målt i tid, på 100m krål, mellom 20°C, 26°C og 32°C, hvor prestasjonen ble redusert ved reduksjon i temperatur. Dette betyr at den internasjonale standarden sannsynligvis ikke er optimal for sprintprestasjoner, og at dette kan påvirke utøveres resultater, spesielt hvis de konkurrerer/testes i basseng med ulike temperaturer.

1.1.7 Hastighet og fremdrift

De beste utøverne i verden svømmer 50m krål på under 22 sekunder ("50m Freestyle Men," 2016). Fra grunnleggende fysikk vet vi at:

$$S = v_{gj} \cdot t \text{ og videreført at } t = S / v_{gj} \quad (3)$$

S er distanse (m), v_{gj} er gjennomsnittshastighet (m/s) og t er tid (s). Målet for alle utøvere er å oppnå som lav t så mulig. Dette er den avhengige variabelen. Videre vet vi at S er bestemt – øvelsen er 50m. Dette vil si at den eneste variabelen utøveren kan påvirke er hastigheten.

Som nevnt tidligere er hastigheten bestemt av evnene til å maksimere fremdrift og minimere vannmotstand. Fremdriften er hvor mye krefter svømmeren klarer å påvirke vannet med som fører til bevegelse framover, hvilket er avhengig av svømmerens evner til å produsere kraft (styrke og power) og anvende kraften på en hensiktsmessig måte (teknikk). Fremdrift og hastighet i en 50m krål blir produsert på ulike måter. Arellano et al. (2018) observerte at i en 50m krål i kortbane var bidragene fra de ulike fasene: 33,16% fra de frie svømmefasene, 26,26% fra startfasen, 30,06% fra vendingsfasen og 10,50% fra avslutningsfasen for nasjonale elitesvømmere. Dette viser at fremdrift på i en 50m krål kan bli produsert gjennom både gjennom armtak ved fri svømming, ettersom lite av fremdriften blir skapt av beina i disse fasene (Deschodt, Arzac & Rouard, 1999), og ved fraspark og undervannsarbeid i start- og vendingsfasene.

1.1.8 Armtak

Noen studier har foreslått en annen måte å beskrive hva som bestemmer gjennomsnittshastigheten i svømming – disse mente at hastigheten bestemmes av to faktorer – taklengde (SL, stroke length), dvs. distansen tilbakelagt ved et armtak, og takfrekvens (SF, stroke frequency), frekvensen på armtakene (Barbosa et al., 2010; Craig & Pendergast, 1979; Craig, Skehan, Pawelczyk & Boomer, 1985). Likningen for gjennomsnittshastigheten er ifølge Craig, Skehan, Pawelczyk og Boomer (1985):

$$v_{gj} = SL \cdot SF \quad (4)$$

Dette betyr at for å oppnå høyest mulig v så må utøveren oppnå høyest mulig verdier av SL og SF – dvs. utøverens optimale balanse mellom disse parameterne som maksimerer produksjon av hastighet. Dette oppnås ved å bruke mest mulig energi i hastighetsretningen. Ettersom 50m krål tar rundt 22 sekunder dekkes energibehovet hovedsakelig av anaerobe prosesser, noe som betyr at en utøvers evne til å effektivt bruke energi gjennom anaerobe prosesser er svært viktig (Barbosa et al., 2010).

1.1.9 Fraspark og undervannsarbeid

Hastighet skapes ikke bare i de frie svømmefasene, men også ved fraspark og undervannsarbeid, enten det er i startfasen eller vendingsfasen. Bidraget fra disse fasene til sluttiden har vist seg å være rundt 56,32% i en 50m krål for nasjonale utøvere (Arellano et al., 2018). Bidragene vises ofte i prosent av hvor mye tid som ble brukt i hver fase, hvilket potensielt kan være litt misvisende. Vantorre, Seifert, Fernandes, Vilas-Boas og Didier

(2010) har vist at hastigheten oppnådd i startfasen kan påvirke hastigheten man kan oppnå i den påfølgende frie svømmefasen. Dette kan også være tilfellet for vendingsfasen, noe som betyr at prestasjon i disse to fasene også er svært viktig for en god en 50m krålprestasjon. Dette støttes av korrelasjonene ($r = 0,84$ for både menn og kvinner) mellom startprestasjon og total prestasjon i en 50m funnet av Mason og Cossor (2000).

1.1.10 Antropometri

Antropometriske variabler – for eksempel høyde, armspenn, og kroppsmasse – har vist å kunne påvirke prestasjonen i krål, med noe varierende resultater. Pelayo, Sidney, Kherif, Chollet og Tourny (1996) fant at høyde, kroppsmasse og armspenn ikke hadde noen signifikant korrelasjon med prestasjonen på 50m krål for menn, men at det var signifikant korrelasjon mellom disse antropometriske variablene og 50m krålprestasjon hos kvinner. Tyka og Strzala (2009) observerte at total kroppslengde (ved linjeholdning) – høyden med utstrakte armer over hodet, fettfri kroppsmasse og armspenn hadde moderate korrelasjoner med prestasjon på 25m krål, og Zampagni et al. (2008) observerte at høyde, men ikke kroppsmasse, hadde en signifikant korrelasjon med 50m krålprestasjon. Disse resultatene viser at det er en trend med at antropometriske faktorer er viktige i en krålprestasjon, men at det sannsynligvis er andre faktorer som faktisk bestemmer prestasjon. En teori er at antropometriske variabler er viktige for de variablene som faktisk bestemmer prestasjonen – med andre ord, antropometrien har en indirekte påvirkning på en krålprestasjon. Denne teorien støttes av studiene til Pelayo et al. (1996) og Tyka og Strzala (2009) som begge observerte en signifikante korrelasjoner mellom SL og armspenn, og SL og høyde / total kroppslengde.

1.1.11 Styrke og power i underekstremitetene

Olympiatoppen har i tillegg til prestasjon i ulike faser av en 50m også satt krav til prestasjon i Squat Jump (SJ) (Løvberg et al., 2015). Kravet for mannlige utøvere som skal svømme 50m krål på internasjonalt nivå (OL) er å kunne hoppe over 45 cm. Dette kravet kan være vanskelig å forklare ettersom litteraturen er delt om SJ og styrke i underekstremitetene påvirker prestasjonen i 50m krål. Benjanuvatra, Edmunds og Blanksby (2007) fant ingen korrelasjon mellom SJ og prestasjon i startfasen av en sprint i svømming, og heller ikke mellom svikthopp (CMJ) og startprestasjon. Morouco, Neiva, et al. (2011) testet CMJ opp mot 50m krålprestasjon og fant ingen korrelasjon, og det samme var resultatet til Garrido et al. (2010) selv om dette kan ha blitt påvirket av at forsøkspersonene var yngre utøvere i

begge studiene (henholdsvis rundt 15 og 12 år). En forklaring på dette kan være at hoppet fra startblokken krever en helt annen teknisk utførelse enn SJ og CMJ, men det kan også tenkes at styrke i bein er viktigere for eldre utøvere. På den annen side er det flere studier som har observert sammenhenger mellom hopp og svømmeprestasjon. West, Owen, Cunningham, Cook og Kilduff (2011) observerte at CMJ korrelerte med økt prestasjon i startfasen – de første 15m – i en svømmeprestasjon ($r = -0,69$) og Keiner, Yaghoobi, Sander, Wirth og Hartmann (2015) fant signifikante korrelasjoner mellom Squat, SJ, CMJ og prestasjon i 50m krål, henholdsvis $r = -0,72$, $r = -0,82$ og $r = -0,82$. Det som ofte går igjen i litteraturen er at power output i ulike hoppøvelser, SJ og CMJ, har en klar sammenheng med prestasjon i 50m krål (Morouco, Neiva, et al., 2011; Tyka & Strzala, 2009).

1.1.12 Styrke og power i overekstremitetene

Styrke og power i overkroppen er viktige for sprintprestasjon i krålsvømming, ettersom fremdriften i de frie svømmefasene hovedsakelig blir skapt gjennom armtakene (Deschodt, Arsac & Rouard, 1999). Sammenhengene mellom styrke/power og krålpastasjon har blitt testet gjennom øvelser som benkpress, nedtrekk og pull-ups, og i spesialiserte apparater som svømmebenk. Sammenhengen mellom styrke og power i benkpress og prestasjonen i 50m krål er noe omdiskutert ettersom noen finner signifikante korrelasjoner mellom variablene (Garrido et al., 2010; Loturco et al., 2016) og andre ikke (Crowe, Babington, Tanner & Stager, 1999; Morouco, Neiva, et al., 2011). Litteraturen rundt nedtrekk og pull-ups har vist seg å være mer i enighet om sammenhengene mellom styrke og/eller power i disse øvelsene og en sprintprestasjon i krål, og viser en klar trend at styrke og power i overkroppen kan være bra for denne prestasjonen (Crowe et al., 1999; Kao, Ishida & Ainsworth, 2018; Morouco, Neiva, et al., 2011; Perez-Olea, Valenzuela, Aponte & Izquierdo, 2018). En teori for forskjellene mellom benkpress og nedtrekk/pull-ups er at bevegelsesmønsteret i nedtrekk/pull-ups er mer likt bevegelsesmønsteret i krål, enn hva bevegelsesmønsteret er i benkpress, ettersom både nedtrekk/pull-ups og krål er dra-bevegelser. Dette støttes av at litteraturen viser at power i svømmebenk, som er designet for å likne på bevegelsesmønsteret i svømming, har signifikante korrelasjoner med sprintprestasjon i krål ($r = 0,91$ og $r = 0,90$, henholdsvis) (Johnson, Sharp & Hedrick, 1993; Sharp, Troup & Costill, 1982).

1.1.13 Tethered svømming

En annen test som har vist signifikante korrelasjoner med sprintprestasjoner i krål er tethered (fastbundet) svømming ($r > 0,60$ mellom gjennomsnittlig kraft og hastighet/tid) (Loturco et

al., 2016; Morouco, Keskinen, Vilas-Boas & Fernandes, 2011; Nagle Zera et al., 2018). Korrelasjonene viser at prestasjonen i tethered svømming kan bidra til prestasjonen i 50m krål, men den har en liten svakhet. Tethered svømming måler hvor mye kraft en utøver kan generere mens de svømmer i vannet uten å bevege seg framover. Dette gjør testen mer spesifikk en mange andre styrketester ettersom bevegelsesmønsteret er mer likt krålsvømming, men ettersom svømmeren ikke beveger seg fremover – dvs. at det ikke er noe vannmotstand – så er teknikken noe annerledes enn i en 50m krålprestasjon (Maglischo & Maglischo, 1984; Samson, Monnet, Bernard, Lacouture & David, 2019)

1.2 Semi-tethered svømming og load-velocity profiler

En semi-tethered tilnærming – en slags kombinasjon av tethered og normal svømming – hvor utøveren beveger seg framover mens de blir utsatt for en ekstern motstand har blitt brukt til å måle power output i krål (Kimura, Ohba & Shionoya, 2013; Shionoya et al., 2001), i en treningsintervensjon i krål (Lutula, 2019), og målinger av tekniske parametere i krål (Dominguez-Castells & Arellano, 2012). En ny metode for å benytte semi-tethered svømming i form av load-velocity profiler er foreløpig lite utforsket i svømming og har så langt blitt benyttet til å se på sammenhengen med prestasjonen i 50m butterfly (Gonjo, Eriksrud, Papoutsis & Olstad, 2020). Særlig av interesse er sammenhengene mellom load-velocity og en 50m butterflyprestasjon ettersom denne typen metode sannsynligvis også vil kunne brukes i krål. Gonjo et al. (2020) fant signifikante korrelasjoner ($r > 0,5$) mellom flere av utfallsmålene fra semi-tethered svømmingen og utfallsmålene fra en 50m butterflyprestasjon. Det som gjør denne typen testing så interessant er at utfallsmålene fra en slik semi-tethered tilnærming kan gi svømmere tilbakemelding på noen potensielle forbedringsområder.

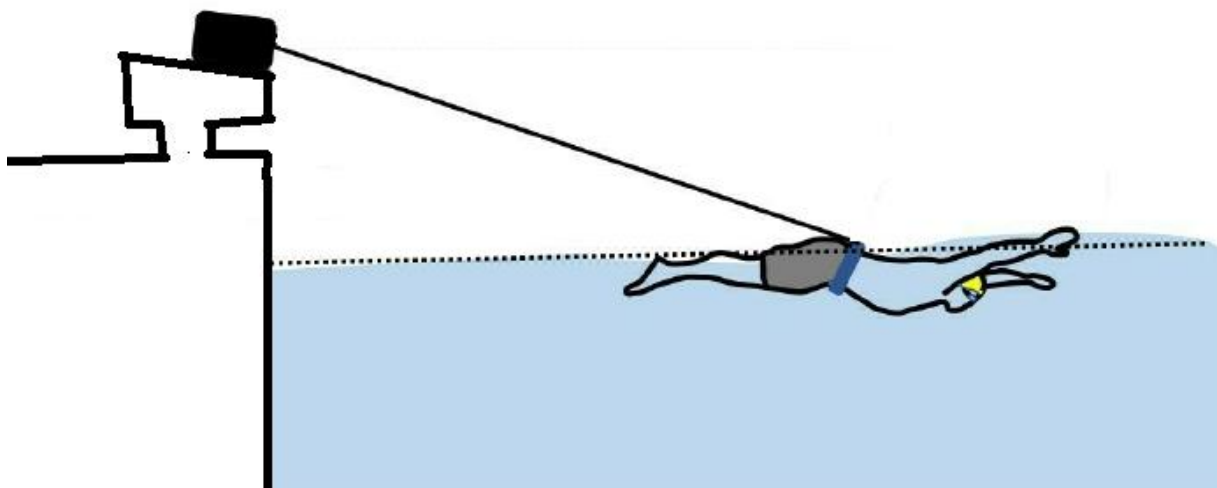
Metoden Gonjo et al. (2020) brukte var å teste hvor stor hastighet en deltaker klarte å oppnå ved svømming mens de ble holdt igjen med en ekstern motstand (Figur 2). Utøverne svømte tre 25metere, hver med ulik motstand (som var enten 1, 5 eller 9kg). Ved å plote de oppnådde hastighetene (gjennomsnittlig hastighet av tre sykluser etter oppnådd konstant hastighet) opp mot de tilsvarende motstandene går det an å lage en load-velocity profil (Figur 3). En slik profil kan si noe om svømmerens evner til å skape fremdrift og minimere vannmotstand. Utfallsmålene fra en load-velocity profil er teoretisk maksimal hastighet (v_0 , m/s) teoretisk maksimal motstand (L_0 , kg), og helningen på regresjonslinjen mellom hastighet og motstand (Slope, m/s/kg) (Morin & Samozino, 2016). V_0 blir estimert ved å kalkulere

skjæringspunktet mellom regresjonslinjen og hastighetsaksen, og representerer den teoretiske maksimale hastigheten utøveren klarer å oppnå uten motstand, basert på hva utøveren har klart å oppnå ved de ulike motstandene. Denne variabelen sier noe om svømmerens evne til både å skape fremdrift og å minimere vannmotstand, ettersom oppnåelse av hastighet er en blanding av disse faktorene. L_0 blir estimert ved å kalkulere skjæringspunktet mellom regresjonslinjen og motstandsaksen, og representerer den teoretiske maksimale motstanden utøveren klarer å oppnå uten hastighet, basert på hvor stor hastighet utøveren har oppnådd ved de ulike motstandene. L_0 sier først å fremst noe om svømmerens evne til å skape fremdrift, ettersom det ikke vil være noen vannmotstand når hastigheten er null. Slope blir kalkulert ved likningen:

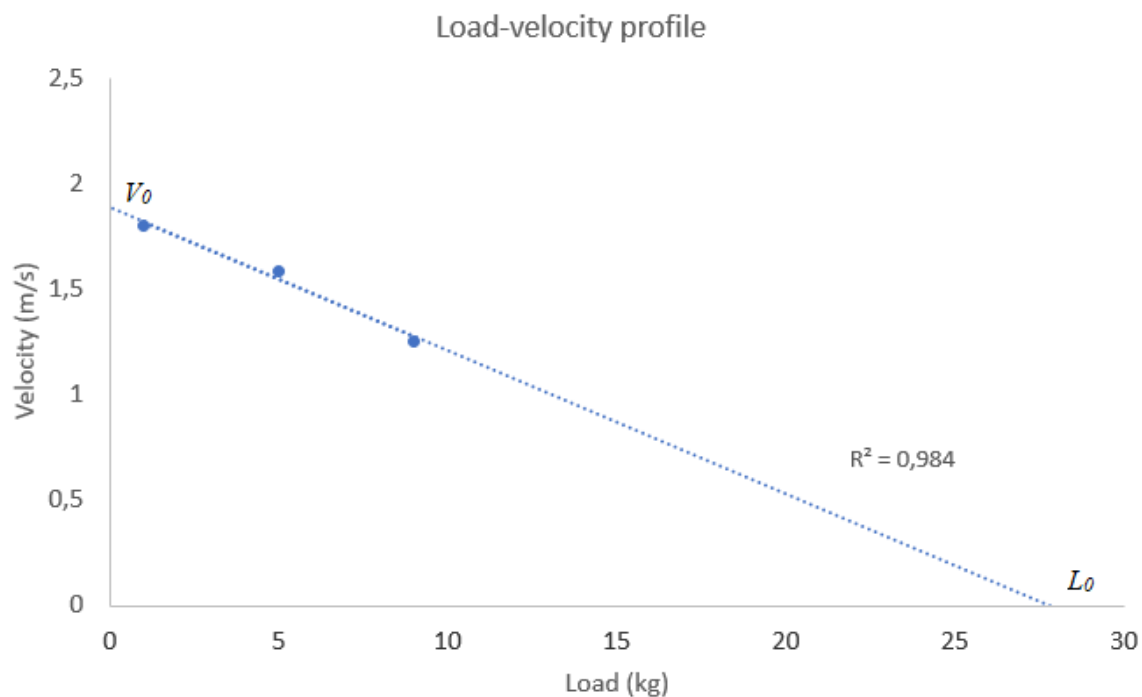
$$\text{Slope} = -v_0 / L_0$$

(Morin & Samozino, 2016)(4)

og sier noe om svømmerens balanse mellom evnene til å produsere hastighet og fremdrift.



Figur 2. Semi-tethered butterflysvømming, hvor utøveren påvirkes av en ekstern motstand gjennom snoren festet til livet.



Figur 3. Eksempel på en load-velocity profil, dannet ved å plote oppnådd hastighet ved 1, 5 og 9kg. V_0 og L_0 er teoretiske maksimale verdier av hastighet og motstand, ved krysningspunktet mellom regresjonslinjen og y- og x-aksen, henholdsvis. R^2 er determinasjonskoeffisienten til regresjonslinjen.

Mye av forskningen og teorien rundt load-velocity kommer fra sykling, løping og hopp, ofte hvor motstand er byttet ut med kraft (force) (Cross et al., 2018; Dorel et al., 2010; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli & Morin, 2012). Dette er fordi forholdene mellom kraft, hastighet og power er veletablerte og fordi det har blitt vist gjentatte ganger at disse variablene er viktige for prestasjon i disse idrettene (Jimenez-Reyes et al., 2018). En annen årsak til bruken av kraft i stedet for motstand er at det i løping, sykling og hopping er forholdsvis enkelt å måle. Svømming foregår i vann, og det å måle alle kreftene som en utøver påfører vannet og som vannet påvirker utøveren med er ekstremt komplekst (Sanders et al., 2015), og vanskelig å gjennomføre i praksis. Å bruke motstand er mye mer gjennomførbart, selv om dette betyr at innsikten testen gir er noe lavere enn dersom man hadde brukt kraft. En annen fordel med å bruke motstand er at folk flest, svømmere og trenere inkludert, har et mer intuitivt forhold til motstand (som måles i kg) enn kraft (som måles i N). Dette vil gjøre det enklere for trenere og svømmere å inkorporere det i deres praksis.

1.3 Praktiske applikasjoner av load-velocity profiler i svømming

Load-velocity profilering er foreløpig ikke vanlig praksis innenfor svømming og det har ikke blitt forsket så mye på det innen svømming, hvilket gjør det vanskelig å si akkurat hva det kan brukes til og hvordan det kan appliseres. Basert på litteraturen om temaet i andre idretter og langsiktige perspektiver, har load-velocity profilering fire hovedområder for applikasjon 1) monitorering av prestasjon, 2) sammenlikning med andre utøvere, 3) sette krav for konkurranser på ulike nivåer og 4) individualisering av trening. Det finnes sannsynligvis flere applikasjoner enn disse fire, og tiden vil vise om disse faktisk er områder hvor load-velocity profilering kan anvendes innen svømming.

1.3.1 Monitorering av prestasjon

Etter en periode med trening er det viktig å sjekke om treningen faktisk har endret utøverens prestasjon. Slik monitorering av prestasjon har allerede blitt gjort i fotball, hvor Jiménez-Reyes et al. (2020) observerte endringer i force-velocity profiler blant fotballspillere gjennom et helt år, og til slutt konkluderte med at spillerne ville prestert bedre (løpt hurtigere, i dette tilfellet) ved å inkludere mer sprintspezifikk trening mot slutten av sesongen. Et liknende fenomen kan også være tilfellet i svømming. Ved å monitorere en utøver eller et lag med load-velocity profilering over en lengre periode kan man finne slike potensielle forbedringsområder, slik at man kan gjøre endringer og optimalisere treningen, hvilket allerede har blitt forsøkt i hopp (Jiménez-Reyes, Samozino & Morin, 2019). Man vil også kunne observere hvilken effekt treningen har på utøveren. Et eksempel på hvordan dette kunne foregått i svømming er at en utøver har blitt bedre, dvs. at utøveren svømmer raskere enn tidligere. Dette vil si at treningen har hatt en positiv effekt, men det kan være vanskelig å si hvorfor svømmeren har blitt raskere. Er det fordi utøveren er bedre til å minimere vannmotstanden? Klarer utøveren å skape mer framdrift? Har utøveren blitt bedre på startfasen eller vendingen? Semi-tethered svømming vil kunne gi mer innsikt i effekten av treningen har på utøverens evner til å prestere, selv om den ikke vil kunne brukes til å teste eventuelle forbedringer i start- eller vendingfasene. Da må man bruke andre tester. Load-velocity profilen vil derimot kunne vise om det har skjedd noen endringer i v_0 og/eller L_0 , hvilket vil vise om endringene er i form av økt fremdrift og/eller minimering av vannmotstand. Utøveren har forbedret svømmeprestasjonen og en load-velocity profil viser at v_0 har økt mens L_0 er uendret. Dette vil sannsynligvis si at evnen til å skape framdrift ikke har blitt påvirket hvilket kan tolkes som at treningen har forbedret svømmerens evne til å

minimere vannmotstand. Monitorering kan på denne hjelpe trenere og utøvere å optimalisere trening slik at de kan forbedre sine svømmeprestasjoner.

1.3.2 Sammenlikning load-velocity profiler

Sammenlikninger av load-velocity profiler vil også gi innsikt i prestasjon. Ved å sammenlikne load-velocity profiler fra eliteutøvere vil man potensielt kunne etablere optimale verdier av utfallsmålene fra load-velocity profileringen, slik at utøvere visste hva de burde trene på for å bli bedre. Noe liknende har blitt forsøkt av Samozino et al. (2012) i 'ballistiske bevegelser' med force-velocity profilering hvor de mente de hadde kommet fram til en optimal balanse mellom evnene til å produsere hastighet, kraft og power som vil føre til en optimal prestasjon i 'ballistiske bevegelser'. Om det finnes en slik optimal balanse innen krål er for tidlig å si, men det kan uansett være verdifullt å sammenlikne load-velocity profiler med eliteutøvere ettersom det sannsynligvis vil finnes trender som kan vise hva utøvere burde fokusere på i sin trening. Et eksempel fra Load-velocity studien var om en utøver som hadde veldig lav L_0 sammenliknet med resten av deltakerne, men hadde gjennomsnittlig hastighet på 50m krål. Denne utøveren vil sannsynligvis tjene mye på å trene evnen til å skape fremdrift.

1.3.3 Krav og individualisering av trening

I et lengre perspektiv vil det vær mulig å bruke load-velocity profilparametere slik som Olympiatoppen har brukt squat jump – til å sette krav eller kriterier for prestasjon på ulike nivåer. Ved bruk av load-velocity profilering vil man kunne gi utøvere feedback om hvordan de bør trene videre slik at de kan forbedre svømmeprestasjonen. Etableringen av krav for ulike nivåer vil også gi utøvere mål å jobbe mot og ved monitorering av trening og sammenlikninger med andre vil man kunne individualisere treningsprogrammer. Jiménez-Reyes et al. (2019) har forsøkt dette innen hopp, ved å analysere load-velocity profiler og skreddersy trening for spesifikt å optimalisere profilparametere, hvilket viste seg å føre til forbedring i hopp-prestasjon hos deltakerne. Slik applikasjon i svømming, ved å kombinere de tre andre applikasjonene vil kunne føre til individualiserte treningsprogrammer som er skreddersydd for å styrke evt. svakheter og optimalisere prestasjon i svømmingen hos hver enkelt utøver.

1.4 Målet med studien

Målet med studien er å undersøke sammenhengene mellom utfallmålene ved load-velocity profilering (L_0 , v_0 , Slope) og utfallmålene for en 50m krålpresetasjon (tid, gjennomsnittlig hastighet i de frie svømmefasene, SL og SF). For å gjøre dette må metoden først vises å være reliabel og repeterbar. Dette leder til to hovedmål ved studien: 1) undersøke reliabilitet og repeterbarhet av metoden adaptert fra Gonjo et al. (2020) for krål og 2) undersøke sammenhengene mellom load-velocity parametere og en 50m krålpresetasjon.

2. Metode

Metodene for de to studiene, reliabilitet og load-velocity, er integrert i samme kapittel. Fokuset i reliabilitetsstudien var å teste hvorvidt utfallsmålene fra load-velocity profilering var reliable og repeterbare. Load-velocity studien fokuserete på å undersøke sammenhengene mellom utfallsmålene for load-velocity profilering og en 50m krålprestasjon.

2.1 Studiedesign

Reliabilitetsstudien (vedlegg 6) var designet for å teste den samme load-velocity profileringen med de samme utøverne, 16 svømmere på nasjonalt nivå, ved to ulike anledninger, separert med minimum en dag og maksimum fem dager. Begge testanledningene foregikk samme tid på døgnet, med samme oppvarming og i samme lokasjon. Load-velocity studien (vedlegg 7 og 8) var en tverrsnittsstudie som evaluerte sammenhengen mellom load-velocity profilparametere og parametere for 50m krål hos 14 seniorutøvere på nasjonalt elitenivå. Forsøket innebar load-velocity profilering, en 50m krålprestasjon og innhenting av deskriptive og antropometriske data. Begge forsøkene foregikk i et 25m basseng innendørs på Norges idrettshøgskole (NIH), med vann og lufttemperaturer på henholdsvis 27°C og 28°C.

2.2 Deltakere

I reliabilitetsstudien deltok 16 svømmere som konkurrerte på nasjonalt nivå ($17,2 \pm 1,5$ år, $177,7 \pm 8,5$ cm, $68,9 \pm 7,7$ kg, 568 ± 62 FINA poeng, åtte menn og åtte kvinner) og trente minimum syv ganger i uken og 15 timer per uke. I load-velocity studien deltok 14 mannlige svømmere som var kvalifisert til det norske seniormesterskapet på 50m krål ($19,9 \pm 3,2$ år, $187,1 \pm 7,1$ cm, $80,8 \pm 9,8$ kg, personlige rekorder på 50m krål var $23,8 \pm 0,8$ s, og 632 ± 48 FINA poeng). Før testing i begge studier svarte alle deltakerne på et spørreskjema som inkluderte historikk om trening, skader og sykdommer, de ble informert om målet med studien, metodikken, potensielle risikofaktorer og potensielle fordeler med å delta. Alle ga skriftlig informert samtykke før deltagelse (vedlegg 1 og 2). Studiene ble godkjent av lokal etisk komité på Norges idrettshøgskole (NIH, saksnummer 47 – 060218 – 200318), Personvernombudet for forskning og norsk senter for forskningsdata (NSD, prosjektnummer 58608) (vedlegg 4 og 5), og studiene ble gjennomført i samsvar med Helsinki-deklarasjonen. Alle data ble behandlet og oppbevart i henhold til standard prosedyrer ved NIH.

2.3 Antropometriske data (kun load-velocity studien)

Før testingen ble antropometriske data innhentet i henhold til de International Standards og Anthropometric Assessment (Stewart, Marfell-Jones, Olds & De Ridder, 2011). Høyde ble målt med Seca 213 (Seca Deutschland, Hamburg, Tyskland), vekt med Seca 876 (Seca Deutschland, Hamburg, Tyskland) og armspenn (fra tupp på langfinger til tupp på langfinger) med Segmometer (HaB International Ltd., Warwickshire, Storbritannia).

2.4 50m krål (kun load-velocity studien)

Før den første testen varmet deltakerne opp med sin egen konkurransespesifikke oppvarming på rundt 45min, etterfulgt av en 10-20min pause (Neiva, Marques, Barbosa, Izquierdo & Marinho, 2014). Dette var for at 50m kråltesten skulle være så lik en konkurranseprestasjon som mulig, som også var årsaken til at deltakerne ble bedt om å bruke konkurransedrakt. Deretter svømte deltakerne én 50m krål med maksimal innsats (Cross, Samozino, Brown & Morin, 2018) etterfulgte av en pause på 10-20min (Neiva et al., 2014) før målingene av load-velocity.

Dataene som ble eksportert fra AIM race analysis system (AIMsys Sweden AB, Lund, Sverige) var: tid (t_{50}), gjennomsnittlig hastighet i de frie svømmefasene (v_{50}), gjennomsnittlig lengde for alle armtak (SL) og gjennomsnittlig frekvens for alle armtak (SF). AIM består av 11 kameraer, 5 Axis Q3505-VE Mk II Network Camera (Axis AB, Lund, Sverige) på land og 6 Axis Q1635 Network Camera (Axis AB, Lund, Sverige) plassert bak vinduer under vannoverflaten, og et integrert tidtakingssystem (Omega, Bienne, Sveits). Systemet har en samplingsfrekvens på 50Hz, og automatisk bevegelsesdeteksjon og data analysering. En utdypende kalibreringsalgoritme for systemet har blitt beskrevet av Haner, Svärm, Ask og Heyden (2015).

2.5 Load-velocity profilering

Deltakerne i reliabilitetsstudien gjennomførte først deres egne konkurransespesifikke oppvarminger på rundt 45min, som ble etterfulgt av 10-20min restitusjon (Neiva et al., 2014). Deretter gjennomførte alle deltakerne load-velocity profilering, som innebar fem forsøk av 25m krål med maksimal innsats, med økende belastninger. Det var forskjellige progressive motstandsprotokoller mellom kjønnene – mennene svømte med 1, 3, 5, 7 og 9kg motstand og kvinnene svømte med 1, 2, 3, 4 og 5kg motstand. Motstandsprotokollene for kjønnene var basert på preliminær testing og studien til Gonjo et al. (2020), og valgt for at alle deltakerne

skulle ha en god sannsynlighet for å klare å fullføre alle fem motstander. I load-velocity studien innebar load-velocity profileringen tre 25m krålpresetasjoner med motstandene 1, 5 og 9kg. Hver 25m, for begge studiene, begynte med at deltakeren holdt fast i veggen og at testlederen signalerte at de kunne begynne. Deltakeren sparket ifra, og hadde blitt bedt om å begynne krålingen ved 5m merket. Deretter svømte deltakeren de resterende 20m til den andre siden av bassenget. Hver av 25m testene ble etterfulgt av 5-10min restitusjon. For reliabilitetsstudien ble prosedyren gjentatt ved neste testanledning.

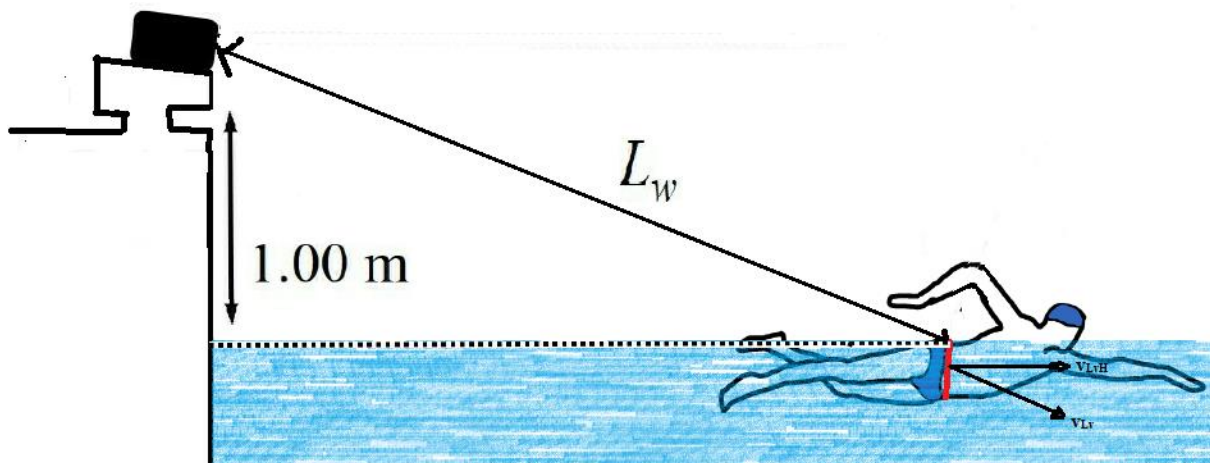
Load-velocity profileringen ble gjort med den robotiske motstandsmaskinen 1080 Sprint (1080 Sprint, 1080 Motion AB, Lidingö, Sverige) som har en innebygd servomotor (200 RPM OMRON G5 Series Motor, OMRON Corporation, Kyoto, Japan). 1080 Sprint har en snor av fiberkompositt som er 90m lang, og var festet til livet, på ryggen, til deltakerne med et S11875BLTa svømmebelte (NZ Manufacturing, OH, USA). For at snoren ikke skulle hindre svømmingen ble 1080 Sprint plassert på en startblokk 1m over vannflaten (Figur 4).

Ved alle motstandene målte 1080 Sprint hastighet, kraft, posisjon og tid med 333Hz. Data ble målt fra 5,0m til 20,4m, slik at hverken startfasen eller slutfasen skulle påvirke resultatene. 1080 Sprint var satt til å gi isotonisk motstand, 'assisted' og 'resisted' fart var satt til 0,05m/s og 14m/s, henholdsvis, og alle andre settinger er beskrevet i vedlegg 3. All data ble eksportert til MATLAB R2019b (MathWorks, Natick, MA, USA) for videre analyser.

For å danne load-velocity profiler ble gjennomsnittlige hastigheter (v_{LV}) ved de ulike motstandene hentet fra hastighetskurven for tre armtakssykluser i området mellom 7-15m fra startblokken (Dominguez-Castells, Izquierdo & Arellano, 2013; Garcia-Ramos, Pestana-Melero, Perez-Castilla, Rojas & Gregory Haff, 2018). Etersom det er den horisontale hastigheten (v_{LVH}) som er interessant for fri svømming, ble formelen under brukt for å justere disse verdiene fra v_{LV} :

$$v_{LVH} = v_{LV} \times \cos [\sin^{-1}(1,00/Lw)] \text{ (Gonjo et al., 2020)}$$

v_{LV} og v_{LVH} er henholdsvis gjennomsnittlig hastighet hentet fra 1080 Sprint og gjennomsnittlig hastighet i horisontal retning, og L_w er lengden på snoren mellom 1080 Sprintmaskinen og deltakeren (Figur 4). v_{LVH} ble deretter plottet som en funksjon av de fem ulike motstandene, og for hvert load-velocity plot ble det dannet en lineær regresjonslinje (Dominguez-Castells & Arellano, 2012) (Figur 3). Fra regresjonslinjen ble utfallsmålene estimert – v_0 , L_0 , Slope og determinasjonskoeffisienter (R^2). Relativ maksimal motstand (rL_0), motstand gitt som prosent av vekt, ble også kalkulert.



Figur 4. Oppsettet av 1080 Sprint ved load-velocity profileringen. L_w - lengden på snoren, v_{Lv} – hastigheten målt av 1080 Sprint, v_{LvH} – den horisontale hastigheten estimert fra v_{Lv} .

2.6 Statistiske analyser

Alle statistiske analyser ble gjort i Statistical Package for Social Sciences (SPSS) versjon 24.0 (IBM Corp, Armonk, NY, USA) og Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp, Redmond, WA, USA) og signifikansnivå ble satt til $p \leq 0,05$. Testing av normalfordeling ble gjort med Shapiro-Wilk testen og alle variablene i reliabilitetsstudien viste seg å være normalfordelte, mens i load-velocity studien var alle variabler utenom alder og armspenn normalfordelte. Deskriptive data i reliabilitets-studien av load-velocity profil parameterne (v_0 , L_0 , rL_0 , Slope og R^2) ble presentert som gjennomsnittsverdier med ett standardavvik, mens i load-velocity studien ble variablene fra load-velocity profileringen og 50m krålprestasjonen (t_{50} , v_{50} , SL og SF) presentert som gjennomsnittsverdier med ett standardavvik med øvre og nedre konfidensintervaller i henhold til vanlige statistiske metoder (Calder, 1953). I reliabilitetsstudien ble samsvar mellom parameterne målt på de ulike testanledningene sjekket med intra-class correlation coefficient (ICC) med en toveis tilfeldig enkelt-målingsmodel (Bartko, 1966), absolute error (AE) typical error (TE), standard error of measurement (SEM), variasjonskoeffisient (CV) og minimal detectable change (MDC) basert på 95% konfidensintervall. Ulike representative nivåer for ICC ble satt til $< 0,5$: dårlig, $0,5-0,75$: moderat, $0,75-0,9$: godt, og $> 0,9$ utmerket samsvar (Koo & Li, 2016). SEM-verdier som var mindre, liknende og større enn MDC ble vurdert som 'bra', 'ok' og 'marginalt', henholdsvis (Buchheit, Lefebvre, Laursen & Ahmaidi, 2011). Bland-Altman analyse ble gjennomført for å sjekke evt. systematisk skjevhet mellom de ulike testanledningene, gjennom kalkulering av skjevhet (gjennomsnittlig forskjell), standardavvik (SD) og upper og lower limits of agreement (LOA, definert som gjennomsnittlig forskjell $\pm 1,96 \times SD$) (Bland & Altman,

1986). For å teste forskjellen mellom load-velocity profilering med 3 vs 5 ulike motstander, ble det gjort en uparet t-test mellom 3-testen og 5-testen, hvor alle verdiene ble hentet fra det samme datasettet og motstandene brukt for å representere 3-testen var 1, 5 og 9kg for menn og 1, 3 og 5kg for kvinner. I load-velocity studien ble Pearsons korrelasjonskoeffisient brukt for å kalkulere alle korrelasjoner mellom normalfordelte data og Spearman's rangkorrelasjonskoeffisient ble brukt for å teste korrelasjonene mellom skjevfordelte data og alle andre variabler. Korrelasjonsnivåer ble satt som 0,1–0,3: liten, 0,3–0,5: moderat, 0,5–0,7: stor, 0,7–0,9: veldig stor, og >0,9: ekstremt stor (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009). Bland-Altman analyse ble gjennomført for å sjekke evt. systematisk skjevhet mellom v_{50} og v_0 (Bland & Altman, 1986).

Referanser

50m Freestyle Men. (2016). Hentet 5.3.2019 fra <https://www.olympic.org/rio-2016/swimming/50m-freestyle-men>

Arellano, R., Ruiz-Teba, A., Morales-Ortiz, E., Gay, A., Cuenca, F., Llorente-Ferrón, F. & López-Contreras, G. (2018, September). *SHORT COURSE 50M MALE FREESTYLE PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN NATIONAL AND REGIONAL SPANISH SWIMMERS*. 36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports (s. 614-617): NMU Commons. Hentet fra <https://commons.nmu.edu/isbs/vol36/iss1/139>

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C. & Silva, A. J. (2010). *Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art*. *J Sci Med Sport*, 13(2), 262-269. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003>

Barbosa, T. M., Marinho, D. A., Costa, M. J. & Silva, A. (2011). *Biomechanics of competitive swimming strokes*. *Biomechanics in applications*, 367-388.

Bartko, J. J. (1966). *The Intraclass Correlation Coefficient as a Measure of Reliability*, 19(1), 3-11. <https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.1.3>

Benjanuvatra, N., Dawson, G., Blanksby, B. A. & Elliott, B. C. (2002). *Comparison of buoyancy, passive and net active drag forces between Fastskin™ and standard swimsuits*. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 5(2), 115-123. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(02\)80032-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1440-2440(02)80032-9)

Benjanuvatra, N., Edmunds, K. & Blanksby, B. (2007). *Jumping Abilities and Swimming Grab-Start Performances in Elite and Recreational Swimmers*. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 1(3). <https://doi.org/10.25035/ijare.01.03.06>

Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. *Lancet*, 1(8476), 307-310.

Buchheit, M., Lefebvre, B., Laursen, P. B. & Ahmadi, S. (2011). *Reliability, Usefulness, and Validity of the 30–15 Intermittent Ice Test in Young Elite Ice Hockey Players*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5). Hentet fra https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2011/05000/Reliability,_Usefulness,_and_Vailidity_of_the_30_15.38.aspx

Calder, K. (1953). *Statistical inference*. New York: Holt.

Cappaert, J. M., Pease, D. L. & Troup, J. P. (1996). *US Swimming*, International Center for Aquatic Research University of Colorado, Colorado Springs, USA. *Biomechanics and medicine in swimming*, VII.

Chatard, J. C., Bourgoïn, B. & Lacour, J. R. (1990). *Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(6), 399-404. <https://doi.org/10.1007/BF02388619>

Cordain, L. & Kopriva, R. (1991). *Wetsuits, body density and swimming performance*. *British Journal of Sports Medicine*, 25(1), 31. <https://doi.org/10.1136/bjism.25.1.31>

- Craig, A. B., Jr. & Pendergast, D. R. (1979). *Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming*. *Med Sci Sports*, 11(3), 278-283. Hentet fra <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/522640>
- Craig, A. B., Jr., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A. & Boomer, W. L. (1985). *Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition*. *Med Sci Sports Exerc*, 17(6), 625-634. <https://doi.org/10.1249/00005768-198512000-00001>
- Cross, M. R., Lahti, J., Brown, S. R., Chedati, M., Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Sandbakk, Ø. (2018). *Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes*. *Plos One*, 13(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195477>
- Cross, M. R., Samozino, P., Brown, S. R. & Morin, J. B. (2018). *A comparison between the force-velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: single vs. multiple trial methods*. *Eur J Appl Physiol*, 118(3), 563-571. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3796-5>
- Crowe, S., Babington, J., Tanner, D. & Stager, J. (1999). *The relationship of strength to dryland power, swimming power, and swim performance*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(5), S255.
- Deschodt, V. J., Arsac, L. M. & Rouard, A. H. (1999). *Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming*. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(3), 192-199. <https://doi.org/10.1007/s004210050581>
- Dominguez-Castells, R. & Arellano, R. (2012). *Effect of different loads on stroke and coordination parameters during freestyle semi-tethered swimming*. *J Hum Kinet*, 32, 33-41. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0021-9>
- Dominguez-Castells, R., Izquierdo, M. & Arellano, R. (2013). *An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl*. *Int J Sports Med*, 34(4), 324-329. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323721>
- Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J. R., Vandewalle, H., Hautier, C. & Hug, F. (2010). *Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis*. *Med Sci Sports Exerc*, 42(6), 1174-1183. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c91f35>
- Garcia-Ramos, A., Pestana-Melero, F. L., Perez-Castilla, A., Rojas, F. J. & Gregory Haff, G. (2018). *Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability?* *J Strength Cond Res*, 32(5), 1273-1279. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001998>
- Garrido, N., Marinho, D. A., barbosa, T. M., Costa, A. M., Silva, A. J., Perez-Turpin, J. A. & Marques, M. C. (2010). *Relationships between dry land strenght, power variables and short sprint performance in young competitive swimmers*. *Journal of Human Sport and Exercise*, 5(2), 240-249. <https://doi.org/10.4100/jhse>
- Gonjo, T., Eriksrud, O., Papoutsis, F. & Olstad, B. H. (2020). *Relationships between a Load-velocity Profile and Sprint Performance in Butterfly Swimming*. *Int J Sports Med*, (EFirst). <https://doi.org/10.1055/a-1103-2114>

- Haner, S., Svärm, L., Ask, E. & Heyden, A. (2015). *Joint Under and Over Water Calibration of a Swimmer Tracking System*. I M. F. a. A. F. Maria De Marsico (Red.), *International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods* (s. 142-149): SciTePress. <https://doi.org/10.5220/0005183701420149>
- Havriluk, R. (2007). *Variability in Measurement of Swimming Forces*. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(2), 32-39. <https://doi.org/10.1080/02701367.2007.10599401>
- Hay, J. G. & Thayer, A. M. (1989). *Flow visualization of competitive swimming techniques: The tufts method*. *Journal of Biomechanics*, 22(1), 11-19. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9290\(89\)90180-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9290(89)90180-2)
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. & Hanin, J. (2009). *Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1). Hentet fra [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2009/01000/Progressive Statistics for Studies in Sports.2.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2009/01000/Progressive_Statistics_for_Studies_in_Sports.2.aspx)
- Jiménez-Reyes, P., Garcia-Ramos, A., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Cuadrado-Peñafiel, V., Castaño-Zambudio, A., ... Research, C. (2020). *Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players*.
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Garcia-Ramos, A., Cuadrado-Penafiel, V., Brughelli, M. & Morin, J. B. (2018). *Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice*. *PeerJ*, 6, e5937. <https://doi.org/10.7717/peerj.5937>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P. & Morin, J.-B. J. P. o. (2019). *Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics*, 14(5).
- Johnson, R. E., Sharp, R. L. & Hedrick, C. E. (1993). *Relationship of swimming power and dryland power to sprint freestyle performance: a multiple regression approach*. *Journal of Swimming Research*, 10-14.
- Kao, S. H., Ishida, A. & Ainsworth, B. E. (2018). *The Correlation Between Strength and Power Measures with Sprint Freestyle Performance in Division I Collegiate Swimmers*. *Journal of Swimming Research*, 26.
- Keiner, M., Yaghobi, D., Sander, A., Wirth, K. & Hartmann, H. (2015). *The influence of maximal strength performance of upper and lower extremities and trunk muscles on different sprint swim performances in adolescent swimmers*. *Science & Sports*, 30(6), e147-e154. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2015.05.001>
- Keskinen, O. P., Keskinen, K. L. & Mero, A. A. (2007). *Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming*. *Int J Sports Med*, 28(5), 407-413. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924505>
- Kimura, T., Ohba, M. & Shionoya, A. (2013). *Construction of a Multiple-regression Model for Estimating the Force in Tethered Swimming, and Power in Semi-tethered Swimming for Males*. *Procedia Engineering*, 60, 275-280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.07.068>

Kjendlie, P.-L. (2007). *Lær Svømming - Lær Livredning* (3. utg.). Norges Idrettshøgskole: Norges Idrettshøgskole.

Koo, T. K. & Li, M. Y. (2016). *A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research*. *J Chiropr Med*, 15(2), 155-163.
<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

Loturco, I., Barbosa, A. C., Nocentini, R. K., Pereira, L. A., Kobal, R., Kitamura, K., ... Nakamura, F. Y. (2016). *A Correlational Analysis of Tethered Swimming, Swim Sprint Performance and Dry-land Power Assessments*. *Int J Sports Med*, 37(3), 211-218.
<https://doi.org/10.1055/s-0035-1559694>

Lutula, A. (2019). *Resisted Sprint Training in Swimming : A Quasi-Experimental Study on Swedish National Level Swimmers* (Independent thesis Advanced level (degree of Master (Two Years))). Gymnastik- och idrottshögskolan. Hentet fra
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:gih:diva-5860>

Løvberg, P., Paulsen, K.-A., Setterberg, J., Leirvaag, B., de Faveri, T., Eklund, M., ... Tønnessen, E. (2015). *Treningsfilosofi i svømming Veien mot medaljer i OL 2020 og 2024*. Norwegian Swimming Federation.

Maglischo, C. W. & Maglischo, E. W. (1984). *Tethered and nontethered crawl swimming*. ISBS-Conference Proceedings Archive.

Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Mason, B. R. & Cossor, J. M. (2000). *What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships?* I. International Symposium on Biomechanics in Sports (2000).

Morin, J. B. & Samozino, P. (2016). *Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training*. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 267-272.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>

Morouco, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). *Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance*. *J Appl Biomech*, 27(2), 161-169. <https://doi.org/10.1123/jab.27.2.161>

Morouco, P., Neiva, H., Gonzalez-Badillo, J. J., Garrido, N., Marinho, D. A. & Marques, M. C. (2011). *Associations between dry land strength and power measurements with swimming performance in elite athletes: a pilot study*. *J Hum Kinet*, 29A, 105-112.
<https://doi.org/10.2478/v10078-011-0065-2>

Mougios, V. & Deligiannis, A. (1993). *Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity*. *J Sports Med Phys Fitness*, 33(1), 27-33.

Nagle Zera, J., Nagle, E. F., Nagai, T., Lovalekar, M., Abt, J. P. & Lephart, S. M. (2018). *Tethered Swimming Test: Reliability and the Association to Swimming Performance and Land-based Anaerobic Performance*. *J Strength Cond Res*.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002501>

- Narita, K., Nakashima, M. & Takagi, H. (2017). *Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities. Journal of Biomechanics, 54*, 123-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.01.037>
- Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M. & Marinho, D. A. (2014). *Warm-up and performance in competitive swimming. Sports Med, 44*(3), 319-330. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0117-y>
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D. & Tourny, C. (1996). *Stroking Characteristics in Freestyle Swimming and Relationships with Anthropometric Characteristics. Journal of Applied Biomechanics, 12*(2), 197-206. <https://doi.org/10.1123/jab.12.2.197>
- Perez-Olea, J. I., Valenzuela, P. L., Aponte, C. & Izquierdo, M. (2018). *Relationship Between Dryland Strength and Swimming Performance: Pull-Up Mechanics as a Predictor of Swimming Speed. J Strength Cond Res, 32*(6), 1637-1642. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002037>
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A. & Morin, J. B. (2012). *Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? Med Sci Sports Exerc, 44*(2), 313-322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
- Samson, M., Monnet, T., Bernard, A., Lacouture, P. & David, L. (2019). *Comparative study between fully tethered and free swimming at different paces of swimming in front crawl. Sports Biomechanics, 18*(6), 571-586. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1443492>
- Sanders, R. H., Chiu, C. Y., Gonjo, T., Thow, J., Oliveira, N., Psycharakis, S. G., ... McCabe, C. B. (2015). *Reliability of the elliptical zone method of estimating body segment parameters of swimmers. J Sports Sci Med, 14*(1), 215-224.
- Sharp, R. L. & Costill, D. L. (1989). *Influence of body hair removal on physiological responses during breaststroke swimming. Med Sci Sports Exerc, 21*(5), 576-580. Hentet fra <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2691818>
- Sharp, R. L., Troup, J. P. & Costill, D. L. (1982). *Relationship between power and sprint freestyle swimming. Med Sci Sports Exerc, 14*(1), 53-56. <https://doi.org/10.1249/00005768-198201000-00010>
- Shionoya, A., Shibukura, T., Shimizu, T., Ohba, M., Tachikawa, K. & Miyake, H. (2001). *Middle power measurement in semi-tethered swimming using ergometer attachment.*
- Stewart, A., Marfell-Jones, M., Olds, T. & De Ridder, J. (2011). *International Standards for Anthropometric Assessment* (bd. 137).
- Takeda, T., Ichikawa, H., Takagi, H. & Tsubakimoto, S. (2009). *Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming? Journal of Sports Sciences, 27*(13), 1449-1454. <https://doi.org/10.1080/02640410903046228>
- Toussaint, H. M. & Beek, P. J. (1992). *Biomechanics of Competitive Front Crawl Swimming. Sports Medicine, 13*(1), 8-24. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002>
- Tyka, A. & Strzała, M. (2009). *Physical Endurance, Somatic Indices and Swimming Technique Parameters as Determinants of Front Crawl Swimming Speed at Short Distances*

in Young Swimmers. Medicina Sportiva, 13(2), 99-107. <https://doi.org/10.2478/v10036-009-0016-3>

Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R., Vilas-Boas, J. P. & Didier, C. (2010). *Comparison of Grab Start between Elite and Trained Swimmers. International journal of sports medicine, 31, 887-893. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1265150>*

West, D. J., Owen, N. J., Cunningham, D. J., Cook, C. J. & Kilduff, L. P. (2011). *Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. J Strength Cond Res, 25(4), 950-955. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c8656f>*

Yanai, T. J. J. o. B. (2004). *Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming, 37(5), 605-612.*

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. J Strength Cond Res, 22(4), 1298-1307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a597b>*

Figuroversikt

Figur 1: De 4 hovedkreftene som virker på en svømmer i vann.....	8
Figur 2: Semi-tethered butterflysvømming, hvor utøveren påvirkes av en ekstern motstand gjennom snoren festet til livet.....	15
Figur 3: Eksempel på en load-velocity profil, dannet ved å plotte oppnådd hastighet ved 1, 5 og 9kg. V_0 og L_0 er teoretiske maksimale verdier av hastighet og motstand, ved kryssningspunktet mellom regresjonslinjen og y- og x-aksen, henholdsvis. R^2 er determinasjonskoeffisienten til regresjonslinjen.....	16
Figur 4: Oppsettet av 1080 Sprint ved load-velocity profileringen. L_w - lengden på snoren, v_{Lv} – hastigheten målt av 1080 Sprint, v_{LVH} – den horisontale hastigheten estimert fra v_{Lv}	23

Forkortelser

a	Akselerasjon (m/s²)
AE	Absolute error
CMJ	Svikthopp
CV	Variasjonskoeffisient
D	Vannmotstand/drag
F	Kraft (N)
FINA	Federation internationale de natation (det internasjonale svømmeforbundet)
ICC	Intra-class correlation coefficient
K	Faktor for hvordan vannmotstand påvirker en kropp som beveger seg gjennom vann
L₀	Teoretisk maksimal motstand hentet fra hvor regresjonslinjen mellom hastighet og motstand krysser motstandsaksen (kg)
rL₀	Relativ teoretisk maksimal motstand gitt som prosent av vekt (%)
L_w	Lengden på snoren fra 1080 Sprintmaskinen (m)
m	Masse (kg)
MDC	Minimal detectable change
NIH	Norges Idrettshøgskole
p	Mål på signifikansnivå
r	Korrelasjonskoeffisient
R²	Determinasjonskoeffisient for regresjonslinjen mellom hastighet og motstand
S	Distanse/strekning (m)
SD	Standardavvik
SEM	Standard error of measurement
SF	Frekvens av armtak (tak/min)
SJ	Squat jump
SL	Tilbakelagt strekning per armtak (m/tak)
Slope	Helning på regresjonslinjen mellom hastighet og motstand (m/s/kg)
t	Tid (s)
TE	Typical error
V	Hastighet (m/s)
v₀	Teoretisk maksimal hastighet hentet fra hvor regresjonslinjen mellom hastighet og motstand krysser hastighetsaksen (m/s)
v_{gj}	Gjennomsnittlig hastighet (m/s)
VL_v	Rådata om hastighetene på load-velocity testingen (m/s)
VL_{vH}	Hastigheten fra load-velocity testingen i horisontal retning (m/s)

RELIABILITY OF LOAD-VELOCITY PROFILING IN FRONT CRAWL SWIMMING

Brief running head: Load-velocity swimming

Research conducted at: Norwegian School of Sport Sciences, Human Swimming Laboratory

Written for the National Journal of Strength and Conditioning Research

Bjørn H. Olstad^{1*}, Tomohiro Gonjo¹, Nikolai Njøs¹, Kathrin Abächerli², Ola Eriksrud¹

¹*Department of Physical Performance, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway*

²*Department of Health Professions, Bern University of Applied Sciences, Bern, Switzerland*

***Corresponding author**

E-mail: b.h.olstad@nih.no

Telephone: +47 930 61 946

Fax: NA

Disclosure of funding received: No funding was received for this study

Word count: 1998

Number of tables: **2**

Number of figures: **1**

Submission Type: Research note

Abstract

The purpose of this study was to establish test-retest reliability of load-velocity profiling in front crawl swimming and to compare reliability between conditions using five and three different loads. Sixteen well-trained competitive swimmers (eight females and eight males) participated in this study and performed semi-tethered swimming with maximal effort with five progressive loads on two different days. The mean velocity during three stroke cycles in mid-pool was calculated and plotted as a function of the external load. Relationship between the load and velocity was expressed with a linear regression line and established for each swimmer. The intercepts between the axes of the plot and the established line were defined as theoretical maximum velocity (V_0) and load (L_0). In addition, L_0 was also expressed as a percentage of body mass (rL_0), and coefficient of determination (R^2) and the slope (S_{1v}) of the linear load-velocity relationship were calculated. The intra-class correlation coefficient showed good agreement for V_0 with three loads (ICC = 0.878). Excellent agreement (ICC \geq 0.911) was found for the remaining variables. The coefficient of variation was $< 5\%$ and typical error was rated as “good” in all variables. In conclusion, the load-velocity profile for front crawl swimming can be calculated with high reliability both from five and three different loads. This method can be used to monitor performance and parameters over time and enables practitioners to investigate and compare swimmers’ velocity and strength capabilities allowing individualized training recommendations for improving the performance.

Keywords: accuracy; semi-tethered; strength; performance testing; ICC; multiple trial method

INTRODUCTION

Force-velocity profiles of cyclic locomotion such as sprint running has been used to understand how these two performance indicators interact and used to monitor and prescribe individualized training programs (9,16,17). Such an approach can also be applied to sprint swimming; however, measuring the forces generated by and imposed on a swimmer in the water is complex (23). Consequently, employing the multiple trial method using different external resistive loads instead of force (9,10) with a series of semi-tethered swim tests is a simpler alternative (15). Outcome variables such as maximum load at zero velocity (L_0), maximum velocity at zero force (V_0), slope (S_{lv}) can be used to understand (8), monitor (16,17) and prescribe training programs (9).

Despite the potential, there is only one study employing the swimming load-velocity profiling (15), and the reliability of the method has not been investigated. Establishing the reliability of swimming load-velocity profiling is essential to utilize the method as a test to understand individual and group level performance, monitoring performance over time, and prescribe training programs as done in sprint running (8,9,16). Ensuring the reliability would also expand possibilities for researchers to conduct biomechanical or physiological investigation with the method. The number of trials to be used should also be considered carefully to minimize the effect of fatigue, which can lead to an overestimation of V_0 (15), especially when performing a heavy load trial (14). However, it is unclear if different number of trials affect the reliability of the measurement. The purpose of this study was therefore to explore test-retest reliability of load-velocity profile outcome variables in front crawl swimming and to compare reliability between calculations using five and three different loads.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

This study used a multiple-observation, within-subject, counterbalanced design. Subjects were familiarized with load-velocity testing through an orientation practice session. On two separate

days, national level swimmers (males and females) performed 25-m front crawl sprints with variable resistive loads. The two experimental days were separated by at least one day and no more than five days.

Subjects

Sixteen competitive swimmers (eight females and eight males, mean \pm SD: 17.2 \pm 1.5 y, 177.7 \pm 8.5 cm, 68.9 \pm 7.7 kg, 568.0 \pm 62.2 FINA Points) who trained at least seven times and 15 hours per week volunteered for the study. The study was approved by the local Ethical committee and the National Data Protection Agency for Research in accordance with the Declaration of Helsinki. Prior to participation, all subjects completed a questionnaire including details on training activity, injuries, sicknesses and family history. The subjects were given detailed verbal and written explanation of the purpose, procedures and risks associated with participation. Subjects or the legal guardian (for minors) provided written informed consent prior to participation.

Procedures

The experiment was performed in a 25 m indoor swimming pool with water and air temperature of 27°C and 28°C, respectively.

The subjects first performed their individual warm-up procedure on land and in water as they usually do before a competition for approximately 45 min. Following a 10-20 min rest, subjects were required to perform five 25 m sprints with maximal effort with different loads. The loads for the female swimmers were 1, 2, 3, 4 and 5 kg, while the loads for the male swimmers were 1, 3, 5, 7 and 9 kg (assessed in ascending order). Each sprint was initiated from a push-off start followed by surface swimming at the 5 m mark. Recovery time between each sprint was

approximately 6 min. To provide data for the reliability calculations, the same procedures was undertaken one to five days later at the same time of the day.

A portable robotic resistance device 1080 Sprint (1080 Motion AB, Lidingö, Sweden) featuring a servo motor (200 RPM OMRON G5 Series Motor, OMRON Corporation, Kyoto, Japan) was used to measure the swimming velocity and to add an external load on swimmers. The device was positioned on the starting block 1 m above the water surface to minimize the disruption of swimming technique (especially kicking) by a fibre cord connecting the device and swimmer (1). Subjects were instructed to wear a S11875BLTa swim belt (NZ Manufacturing, OH, USA) around their pelvis to connect the cord (15). The settings for the 1080 Sprint were; isotonic resistance mode, gear 1, eccentric and concentric velocity of 0.05 and 14 m/s, and load parameters (kg) presented previously. Data was acquired with a sampling frequency of 333 Hz from the 5.0 to the 20.4 m mark for each 25 m trial.

Data was imported to MATLAB R2019b (MathWorks, Natick, MA, USA) as text files for further processing. Three stroke cycles were used to calculate the parameters of the load-velocity profile (12). Since the cord that was used for the velocity measurement was not aligned with the swimming direction, the following equation was used to obtain the horizontal velocity component (15).

$$V_{adj} = V \times \cos [\sin^{-1}(1.00/L_w)]$$

V and V_{adj} are the measured velocity by the machine and the horizontal component of the velocity, respectively. 1.00 is the height (m) above the water surface where the cord is stretched out from the device, and L_w is the length of the cord (m) from the device to the swimmer at each sampling time. The mean V_{adj} from the three stroke cycles was plotted as a function of the corresponding external load (kg). A linear regression line was established for each subject based on the load-velocity plot for three and five trials (11). V_0 and L_0 were predicted from the regression line by obtaining the intercepts of the line with the vertical and horizontal axes,

respectively. Coefficient of determination (R^2) and S_{IV} of the linear load-velocity relationship, computed as $S_{IV} = -V_0/L_0$, were calculated. L_0 was also expressed as a percentage of body mass (rL_0).

Statistical Analyses

The Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 24.0 (IBM Corp, Armonk, NY, USA) and Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp, Redmond, WA, USA) were used for all statistical computations.

The Shapiro-Wilk test was used to check the normal distribution of the data, which was met for all variables. Descriptive analysis of the load-velocity profile parameters (L_0 , V_0 , rL_0 , R^2 , and S_{IV}) is reported as mean and standard deviation. Test-retest reliability of each parameter was assessed using intra-class correlation (ICC) with a two-way random single-measure model (2), absolute error (AE), typical error (TE), coefficient of variation (CV), standard error of measurement (SEM), and minimal detectable change based on a 95% confidence interval (MDC). The ICC was classified as < 0.5 : poor, $0.5-0.75$: moderate, $0.75-0.9$: good, and > 0.9 excellent agreement (18). A SEM smaller than, similar to or larger than the MDC was rated as "good", "ok", or "marginal", respectively (4). To estimate any systematic bias, Bland-Altman analysis was used to test the agreement between the parameters obtained from the two testing sessions: bias (mean difference), standard deviation (SD) and upper and lower limits of agreement (LOA, defined as $MD \pm 1.96 \times SD$) were calculated (3).

RESULTS

Test-retest reliability for load-velocity profiling parameters from five and three different load conditions are displayed in Table 1 and 2, respectively. The ICC showed good agreement for

V_0 with three loads. Excellent agreement was found for the remaining variables with the five and three loads calculations. TE was rated as “good” in all variables.

Table 1. Mean variables from the load-velocity profiling (five different loads).

Variable	Test (mean \pm SD)	Retest (mean \pm SD)	AE	TE	CV (%)	ICC	CI _{lower95%}	CI _{upper95%}	SEM	MDC
L ₀ (kg)	14.43 \pm 4.57	14.29 \pm 4.31	1.08	0.54	3.74	0.959	0.887	0.985	0.89	2.47
rL ₀ (%)	20.68 \pm 4.82	20.56 \pm 4.72	1.57	0.79	3.81	0.926	0.802	0.974	1.31	3.63
V ₀ (m/s)	1.71 \pm 0.15	1.68 \pm 0.16	0.05	0.03	1.70	0.911	0.731	0.970	0.04	0.11
S _{lv} (-m/s/kg)	-0.13 \pm 0.03	-0.13 \pm 0.03	0.01	0.01	4.60	0.921	0.793	0.971	0.01	0.02
R ²	0.99 \pm 0.01	0.98 \pm 0.02								

Note: L₀ = estimated maximum load from the load-velocity slope; rL₀ = estimated maximum load as a percentage of body mass; V₀ = estimated maximum velocity from the load-velocity slope; S_{lv} = steepness of load-velocity regression line; R² = coefficient of determination of the load-velocity regression line; SD = standard deviation; AE = absolute error; TE = typical error; CV = coefficient of variation; ICC = intra-class correlation coefficient; CI_{upper95%} = upper bound of 95% confidential interval of Mean; CI_{lower95%} = lower bound of 95% confidential interval of Mean; SEM = standard error of measurement; MDC = minimal detectable change

Table 2. Mean variables from the load-velocity profiling (three different loads).

Variable	Test (mean \pm SD)	Retest (mean \pm SD)	AE	TE	CV (%)	ICC	CI _{lower95%}	CI _{upper95%}	SEM	MDC
L ₀ (kg)	14.45 \pm 4.66	14.45 \pm 4.42	1.12	0.56	4.03	0.962	0.894	0.986	0.89	2.46
rL ₀ (%)	20.68 \pm 4.87	20.77 \pm 4.78	1.66	0.83	4.10	0.926	0.802	0.974	1.32	3.67
V ₀ (m/s)	1.71 \pm 0.14	1.66 \pm 0.15	0.06	0.03	1.81	0.878	0.537	0.962	0.04	0.12
S _{lv} (-m/s/kg)	-0.13 \pm 0.03	-0.12 \pm 0.03	0.01	0.01	4.82	0.911	0.765	0.968	0.01	0.03
R ²	0.99 \pm 0.01	0.99 \pm 0.01								

Note: L₀ = estimated maximum load from the load-velocity slope; rL₀ = estimated maximum load as a percentage of body mass; V₀ = estimated maximum velocity from the load-velocity slope; S_{lv} = steepness of load-velocity regression line; R² = coefficient of determination of the load-velocity regression line; SD = standard deviation; AE = absolute error; TE = typical error; CV = coefficient of variation; ICC = intra-class correlation coefficient; CI_{upper95%} = upper bound of 95% confidential interval of Mean; CI_{lower95%} = lower bound of 95% confidential interval of Mean; SEM = standard error of measurement; MDC = minimal detectable change

Distribution of the load-velocity profile variables is presented in Figure 1. Biases ($_{diff}$) were small across all resistance conditions for five loads, L_0 : -0.14 kg, rL_0 : -0.12%, V_0 : -0.03 m/s, and S_{IV} : 0.00 -m/s/kg and for the three loads conditions, L_0 : 0.00 kg, rL_0 : -0.09%, V_0 : -0.05 m/s, S_{IV} : 0.01 -m/s/kg.

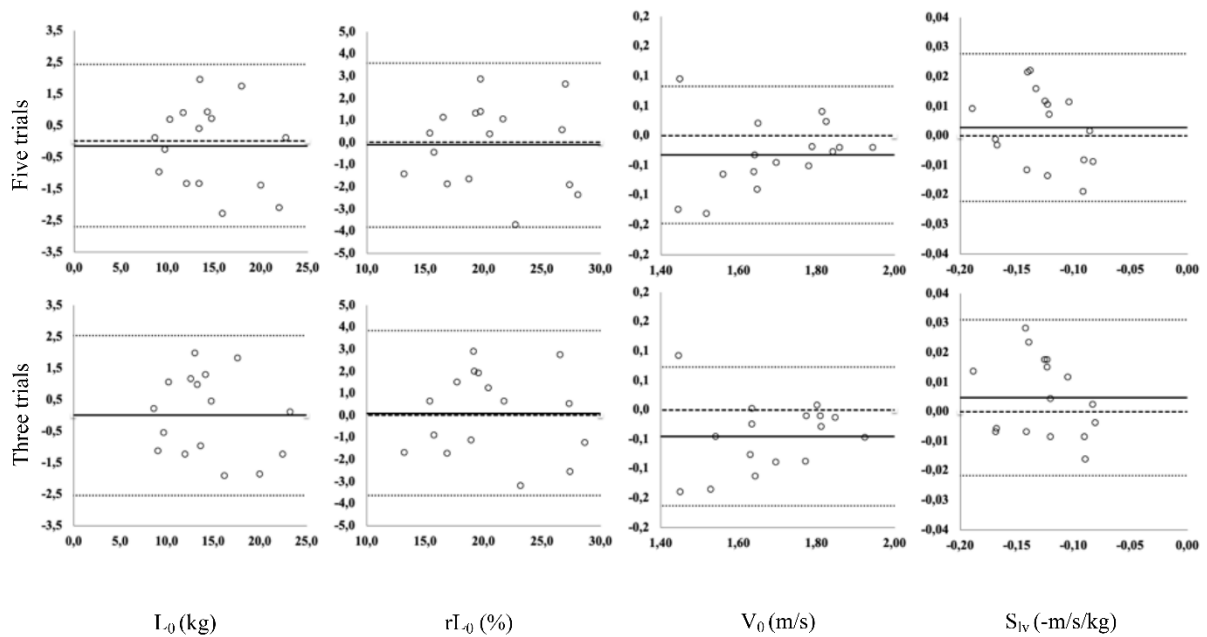


Figure 1. Bland-Altman plots of load-velocity profile parameters L_0 , rL_0 , V_0 and S_{IV} with bias (thick-black line) and with lower and higher values of agreement (dotted lines). The sample size for each Bland-Altman plot is $n=16$.

Note: L_0 = estimated maximum load from the load-velocity slope; rL_0 = estimated maximum load as a percentage of body mass; V_0 = estimated maximum velocity from the load-velocity slope; S_{IV} = steepness of load-velocity regression line.

DISCUSSION

The aim of this study was to determine the test-retest reliability of load-velocity profile outcome measurements derived from front crawl semi-tethered swimming with five and three different loads. Overall, the method has good to excellent reliability for both the three and five trial approach.

The observed reliability of the load-velocity variables obtained in the present study are similar or better to those observed in multiple trial resisted sprints (5-7) and cycling (13,19). The observed ICC values were good to excellent (range 0.845 to 0.948) for both the three and five trial calculations, which are greater than those reported for multiple trial resisted sprinting (5-7). The observed CV (range: 1.7 to 4.8) are comparable to what has been reported in resisted sprinting (5-7) and slightly greater than those observed in cycling (13). Considering the marginal influence on reliability outcome variables from the calculations with five and three trial method, the three-trial method is sufficient to assess load velocity profiles of semi-tethered freestyle swimming.

The heaviest load (5 kg for women and 9 kg for men) gave a reduction in velocity ($\%v_{dec}$) compared with the lightest load (1 kg) by $46 \pm 13\% v_{dec}$, which is categorized as heavy resistance ($>30\%v_{dec}$) (21). One could argue that using heavier loads might be better for some subjects to ensure assigning trials with a load close to L_0 . However, use of up to 5 or 9 kg load in the present study is justified by the average R^2 values of the load-velocity profiles ranged from 0.98 to 0.99 depending on the conditions. They are comparable to findings from resisted sled sprints (0.99) with $<60\%v_{dec}$ (7), and other studies using multiple trial method on semi-tethered swimming (0.97-0.99) (11,15). This shows a clear and robust linear relationship between the velocity and load parameters in semi-tethered swimming, indicating that more than three loads with extremely heavy loads are unnecessary. A reduction in the number of trials is also important as it could minimize the effect of fatigue when predicting L_0 and V_0 (14). For example, failing to perform with maximal swimming velocity at a heavy load due to fatigue would lead to a steeper S_{IV} than it should be, and therefore causes an overestimation of V_0 (15).

Given the excellent ICC for both five and three load calculations (0.921 and 0.911, respectively) and a CV < 5%, S_{lv} can be used as an index of the individual balance between velocity and load (strength) capabilities of each swimmer. A steep S_{lv} , expressed by a large negative value, would indicate that the swimmer is “velocity oriented”, and vice versa (20). While there is currently no optimal load-velocity profile established for front crawl swimming as there is for ballistic movements (22), this value could be utilized to identify swimmers who are velocity or load dominated (range in this study: -0.08 to -0.20) and thereafter describe training recommendations for improving the imbalance and enhance the swimming performance.

In all variables obtained in this study, V_0 , L_0 , rL_0 and S_{lv} showed smaller TE than MDC. This demonstrates lower error in the measurement compared to detecting actual change in performance or the parameter of interest. However, this study had a heterogenous population including both women and men at different performance levels and therefore MDC should be interpreted carefully. For example, the interpretation of MDC of 2.46 kg for L_0 would be quite different for subjects scoring L_0 of around 9 kg or over 23 kg. The MDC value in this study should foremost be understood as a variable used to assess the reliability, and further studies are necessary to establish MDC value to predict changes in performance for subjects of different genders, ages and performance levels.

In conclusion, the load-velocity profile for front crawl swimming can be calculated with high reliability using both from five and three different loads. Future research should examine the load-velocity profile relationship with swimming performance for different distances and genders. Attempts should also be made for establishing optimal S_{lv} to determine the velocity and strength requirements for swimmers.

PRACTICAL APPLICATIONS

Load-velocity profiling with three different loads is a practical and time efficient method that allows coaches and practitioners to investigate and compare their swimmers' velocity and strength capabilities. This will allow describing individualized training recommendations for improving the swimming performance. This reliable performance test will also be of help to establish requirements for performance at different levels.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank all study participants and their coaches for their contribution. Ola Eriksrud is a shareholder in 1080 Motion AB.

REFERENCES

1. Amaro NM, Morouço PG, Marques MC, Fernandes RJ, and Marinho DA. Biomechanical and bioenergetical evaluation of swimmers using fully-tethered swimming: A qualitative review. *2017* 12: 15, 2017.
2. Bartko JJ. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. *Psychol Rep* 19: 3-11, 1966.
3. Bland JM and Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310, 1986.
4. Buchheit M, Lefebvre B, Laursen PB, and Ahmaidi S. Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 Intermittent Ice Test in young elite ice hockey players. *J Strength Cond Res* 25: 1457-1464, 2011.
5. Cahill MJ, Oliver JL, Cronin JB, Clark KP, Cross MR, and Lloyd RS. Sled-Pull Load-Velocity Profiling and Implications for Sprint Training Prescription in Young Male Athletes. *Sports (Basel)* 7, 2019.
6. Cahill MJ, Oliver JL, Cronin JB, Clark KP, Cross MR, and Lloyd RS. Sled-Push Load-Velocity Profiling and Implications for Sprint Training Prescription in Young Athletes. *J Strength Cond Res*, 2020.
7. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, and Morin JB. Optimal Loading for Maximizing Power During Sled-Resisted Sprinting. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1069-1077, 2017.
8. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, and Morin JB. Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review. *Sports Med*, 2016.
9. Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P, Eriksrud O, and Morin JB. Training at maximal power in resisted sprinting:

Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PloS one* 13, 2018.

10. Cross MR, Samozino P, Brown SR, and Morin JB. A comparison between the force-velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: single vs. multiple trial methods. *Eur J Appl Physiol* 118: 563-571, 2018.
11. Dominguez-Castells R and Arellano R. Effect of different loads on stroke and coordination parameters during freestyle semi-tethered swimming. *Journal of human kinetics* 32: 33-41, 2012.
12. Dominguez-Castells R, Izquierdo M, and Arellano R. An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl. *Int J Sports Med* 34: 324-329, 2013.
13. Dore E, Duche P, Rouffet D, Ratel S, Bedu M, and Van Praagh E. Measurement error in short-term power testing in young people. *J Sports Sci* 21: 135-142, 2003.
14. Driss T and Vandewalle H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *Biomed Res Int* 2013: 589361, 2013.
15. Gonjo T, Eriksrud O, Papoutsis F, and Olstad BH. Relationships between a Load-velocity Profile and Sprint Performance in Butterfly Swimming. *Int J Sports Med*, 2020.
16. Jimenez-Reyes P, Cross M, Ross A, Samozino P, Brughelli M, Gill N, and Morin JB. Changes in mechanical properties of sprinting during repeated sprint in elite rugby sevens athletes. *European journal of sport science* 19: 585-594, 2019.
17. Jimenez-Reyes P, Garcia-Ramos A, Parraga-Montilla JA, Morcillo-Losa JA, Cuadrado-Penafiel V, Castano-Zambudio A, Samozino P, and Morin JB.

- Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 2020.
18. Koo TK and Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15: 155-163, 2016.
 19. McCartney N, Heigenhauser GJ, Sargeant AJ, and Jones NL. A constant-velocity cycle ergometer for the study of dynamic muscle function. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 55: 212-217, 1983.
 20. Morin JB and Samozino P. Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 267-272, 2016.
 21. Petrakos G, Morin JB, and Egan B. Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 46: 381-400, 2016.
 22. Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, and Morin J-B. Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 44, 2012.
 23. Sanders RH, Gonjo T, and McCabe CB. Reliability of Three-Dimensional Linear Kinematics and Kinetics of Swimming Derived from Digitized Video at 25 and 50 Hz with 10 and 5 Frame Extensions to the 4(th) Order Butterworth Smoothing Window. *Journal of sports science & medicine* 14: 441-451, 2015.

Swimming load-velocity profile is a useful tool to examine 50 m front crawl performance

Nikolai Njøs, Tomohiro Gonjo, Ola Eriksrud, Bjørn Harald Olstad

Department of Physical Performance, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway

Written for the National Journal of Strength and Conditioning Research

Running head

Front crawl sprint and a load-velocity profile

Corresponding author

Bjørn Harald Olstad, PhD.

Department of Physical Performance,

Norwegian School of Sport Sciences

Postboks 4014 Ullevål Stadion, 0806 Oslo, Norway

Phone: +47 23 26 23 57

e-mail: b.h.olstad@nih.no

Swimming load-velocity profile is a useful tool to examine 50 m front crawl performance

ABSTRACT

The purpose of the present study was to establish relationships between sprint front crawl performance and a swimming load-velocity profile. Fourteen male national elite level competitive swimmers participated in this study and performed 50 m front crawl and semi-tethered swimming with three progressive loads. The 50 m performance was recorded with a multi-camera system with which two-dimensional head displacement and the start of each arm-stroke motion were quantified. Forward velocity (v_{50}), stroke length (SL) and frequency (SF) were quantified for each cycle, and the mean value among all cycle data was used for the analysis. From the semi-tethered swimming test, the mean velocity during three stroke cycles in mid-pool was calculated and plotted as a function of the external load, and a linear regression line expressing the relationship between the load and velocity was established for each swimmer. The intercepts between the established line and the axes of the plot were defined as theoretical maximum velocity (v_0) and load (L_0). Correlation analyses between variables derived from the 50 m and semi-tethered swimming tests exhibited large-to-very large correlations between v_{50} and L_0 ($R=0.632$, $p=0.015$), L_0 normalized by the body mass ($R=0.743$, $p=0.002$), v_0 ($R=0.698$, $p=0.006$), which suggest that the load-velocity profiling is a useful approach to assess sprint front crawl performance. On the other hand, there were no significant relationships of SF and SL observed neither with v_{50} nor the variables related to the load-velocity profile, suggesting that each swimmer has his own strategy to achieve a large swimming velocity. (249 words)

INTRODUCTION

Swimming race performance is determined by the ability to produce and maintain velocity in the forward direction (29). The production of velocity in swimming is achieved through maximizing propulsive force production in the forward direction and minimizing resistive forces in the opposing direction (29). Accurate measurements of the propulsive and resistive forces would potentially allow for better explanatory models of swimming performance. Currently, no such methods exist; however, several methods allow for estimates of these forces (17, 20, 26, 27, 31, 34).

The water resistance (drag) is the main limitation on a swimmer's ability to produce a large velocity, where the drag is thought to be a product of factors such as the swimmer's anthropometry and fluid characteristics and the square, or possibly cube, of the swimming velocity (4, 34). A recent study suggested that minimizing resistive forces is of greater importance than maximizing propulsive forces at higher velocities, as the main goal after a large initial acceleration, due to the on-land start or wall push-off, is to maintain velocity and not to further increase it (40). Minimizing water resistance is mainly achieved through proper swimming technique, proper body alignment, and specialized swimwear (7).

The front crawl stroke is widely considered to be the fastest swimming stroke (29), as well as being the stroke most commonly studied. The fastest competitive swimming event is the 50 m freestyle, where the best swimmers finish in less than 22 seconds with front crawl (3), and the time decreases further in a short course (25 m pool) (23). A 50 m short course freestyle performance is divided into five phases; the start, the first free-swimming phase, the turn, the second free-swimming phase, and the finish (30). All phases are important, as a race is the sum of them all. Previous studies have clearly

shown the importance of the start, turn and finishing phases, highlighting their large contributions to overall performance (8, 30). However, the free-swimming phases should not be underestimated. Analysis of the XV World Swimming Championships suggested that the overall contribution of the free-swimming phases to the 50 m front crawl was 65.6 % (1), even though the contribution would probably decline to around 50 % in a 25 m pool. This means that the free-swimming phases have a larger contribution to the overall performance than any of the other phases.

During front crawl free-swimming phases, the main source of propulsion is the upper body (13). The propulsion is determined by the swimmer's ability to generate force with proper technique – meaning how much and how well the swimmer is able to apply forces to the water to generate forward motion (29). Thus, upper body strength and power should be important for the overall performance; however, the literature is quite divided. It appears that correlations between strength and power exercises to swimming performance are greater in movements specific to swimming (e.g., lat pulldown and swim bench) than those that are non-specific (e.g., bench press) (2, 11, 12, 32, 36). One of the main critiques of the strength and power literature is that most of the exercises studied lack specificity. In other words, the movements tested are not similar enough to the movements performed during swimming (e.g. bench press and squats).

The tethered swimming approach somewhat mitigates the lack of specificity by testing how much force a swimmer can produce while swimming at a fixed position. This approach has shown moderate-to-high correlations with a 50 m front crawl performance (28, 31-33). However, water resistance is very little because the swimmer is not moving forward, and the swimming technique is slightly different from an actual free-

swimming performance (38). One approach that has been applied for assessing front crawl swimming power (24) and load-velocity profiling in butterfly swimming (18) is the semi-tethered approach. Unlike tethered swimming, the swimmer is moving forward in the water while being subjected to an external load through a cord attached to their waist. The forward motion introduces water resistance making the test more specific to swimming than the tethered approach.

Measuring the velocity during semi-tethered swims with different external loads allow for establishing a load-velocity profile, where the velocity represents how well a swimmer can generate propulsion and minimize drag at a given external load. Similar profiles, using force instead of load, in other cyclic movement patterns such as running and cycling have provided useful information for coaches and athletes of how to improve performance (16, 22, 37). As measuring the forces generated by and imposed on a swimmer in the water is extremely complex, substituting force with load has shown promising results in a recent paper studying semi-tethered butterfly swimming (18). Load is also easier for practitioners to relate to and simpler to implement. This approach has yet to be applied to front crawl swimming – the fastest and most commonly investigated stroke. Thus, the purpose of this study was to link the load-velocity profiling approach with front crawl swimming, leading to the hypothesis that there would be strong correlations between 50 m front crawl parameters and load-velocity profile parameters.

METHOD

Experimental approach to the problem

This cross-sectional study assessed individual load-velocity profiles in front crawl swimming of national elite male swimmers. The testing consisted of a maximal performance of 50 m front crawl, load-velocity profiling using a semi-tethered swimming approach, and collection of anthropometric data.

Subjects

14 male swimmers who qualified for the senior national championship in the 50 m front crawl (19.9 ± 3.2 years, 187.1 ± 7.1 cm, 80.8 ± 9.8 kg, personal best records for 50 m front crawl of 23.8 ± 0.8 s, FINA points of 632 ± 48) participated in this study. All subjects gave their written informed consent and legal guardian (for minors) prior to participation in the study. Exclusion criteria included past and current medical conditions as follows: heart disease (high blood pressure and high cholesterol), diabetes, vertigo, balance disorders and sick or injured during the week prior to testing. The study was approved, according to the Declaration of Helsinki, by the local ethical committee (approval number 47 - 060218 – 200318), and the National Data Protection Agency for research (approval number 58608).

Procedures

Testing environment and anthropometric data collection

Testing was conducted at an indoor 25 m pool, and the temperature of the pool and the air were respectively 28 ± 1 °C and 27 ± 1 °C. Anthropometric data were collected on the pool deck in accordance with the International Standards of Anthropometric Assessment (39) prior to testing in the water. Height was measured using the Seca 213 (Seca Deutschland, Hamburg, Germany), body mass was measured using the Seca 876 (Seca Deutschland, Hamburg, Germany), and arm span (distance between the tips of the

middle fingers) was obtained using the Segmometer (HaB International Ltd., Warwickshire, United Kingdom).

50 m front crawl performance

The 50 m front crawl performance was preceded by warm-up. The subjects performed their own specific pre-competition warm-up of approximately 45 min for the test to be as close to a regular competition as possible. A 10-20 min active recovery followed the warm-up (35), where the subjects put on their competition swimsuits. The subjects then performed an all-out 50 m front crawl with a diving start. The entire 50 m race was recorded by the AIM race analysis system (AIMsys Sweden AB, Lund, Sweden) . The AIM system includes 11 cameras, five Axis Q3505-VE Mk II Network Camera (Axis AB, Lund, Sweden) on land, and six Axis Q1635 Network Camera (Axis AB, Lund, Sweden) placed behind windows below water level, with an integrated timing system (Omega, Bienne, Switzerland) that provides the finishing time of the 50 m front crawl (t_{50}). This system allows for automatic detection of the two-dimensional head displacement and the timing of the beginning of each arm pull motion based on an image processing technique, with a sampling frequency of 50 Hz. See Haner et al. (19) for detailed calibration algorithm of the system. The mean velocity (v_{50}), stroke length (SL), and stroke frequency (SF) were calculated for all stroke cycles using the bespoke head displacement and stroke timing data, and the mean of respective variables was used for further data analysis.

Load-velocity profiling

After 10-20 min recovery after the 50 m front crawl performance test (35), the subjects performed three 25 m semi-tethered front crawl swims at maximal intensity, starting in the water, with an incremental load protocol of 4 kg (1, 5 and 9 kg) based on

preliminary testing. Three trials were deemed sufficient for the purpose of swimming load-velocity profiling (18) and to avoid fatigue. The load was applied using the 1080 Sprint (1080 Sprint, 1080 Motion, Lidingö, Sweden). The 1080 Sprint is a robotic resistance device using a servo motor (2000 RPM OMRON G5 Series Motor, OMRON Corporation, Kyoto, Japan) with a recording frequency of 333 Hz. The motor is connected to a composite fiber cord that can extend up to 90 m. The cord was attached to the subjects with a S11875BLTa swim belt (NZ Manufacturing, OH, USA) (Figure 1). The cord was fastened on the swimmer's back in order to avoid the wire disturbing the kicking motion. Data recording started at 5.1 m from the starting block in order to minimize interference of the push-off start and continued for the subsequent 15.3 m interval for all loaded conditions. The settings were based on preliminary testing and a previous study using the 1080 Sprint in swimming (18). The subjects were instructed to swim the entire length of the pool, and recovery periods between trials were 5-10 min.

Mean velocity (v_{Lv}) achieved at a given load (L) was calculated using the velocity curve that was generated by the 1080 Sprint software. Three stroke cycles around 7-15 m from the starting wall from the three 15.3 m front crawl trials were used for the calculation, and the mean velocity at each load condition was used to generate load-velocity profiles (15). To assess the mean horizontal velocity, the following equation was used to adjust the v_{Lv} because the 1080 Sprint was positioned 1 m above water level on a starting block.

$$v_{LvH} = v_{Lv} \times \cos [\sin^{-1}(1.00/Lw)] \quad (18)$$

The v_{Lv} and v_{LvH} are the average velocities pre and post horizontal correction respectively, 1.00 is the height (m) of the device from the water level, L_w is the length (m) of the wire from the device to the swimmer (Figure 1). The average velocities during the three cycles were adjusted and plotted as functions of the corresponding loads (kg). A linear regression line was established for each load-velocity plot (14). R^2 values, theoretical maximal values of v_{LvH} (v_0) and L (L_0) were calculated using the regression line for each swimmer, and the L_0 was also expressed as a percentage of body mass (rL_0). v_0 represents the theoretical maximal velocity of each swimmer, whereas L_0 represents the theoretical maximal load the swimmer can pull with front crawl swimming. Figure 2 shows an example of a load-velocity profile of a single swimmer.

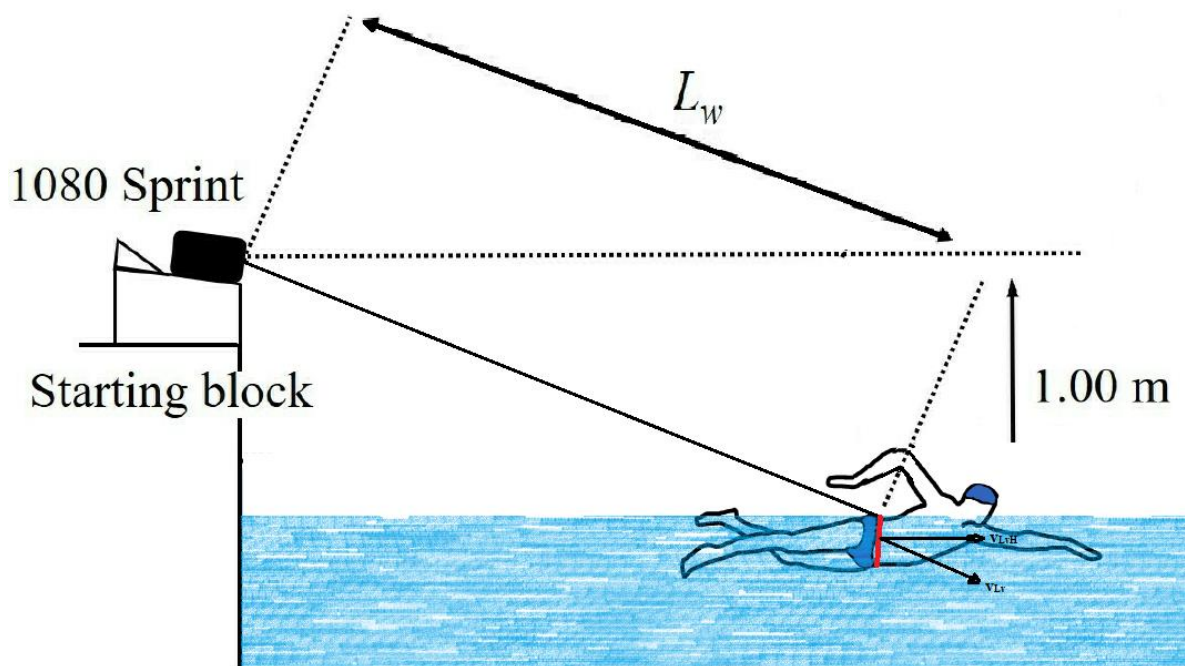


Figure 1. The assembly of the 1080 Sprint and the settings for adjusting the velocity during the load-velocity profiling. L_w – length of wire, v_{Lv} – velocity measured by the 1080 Sprint, v_{LvH} – the horizontal velocity estimated from the v_{Lv} .

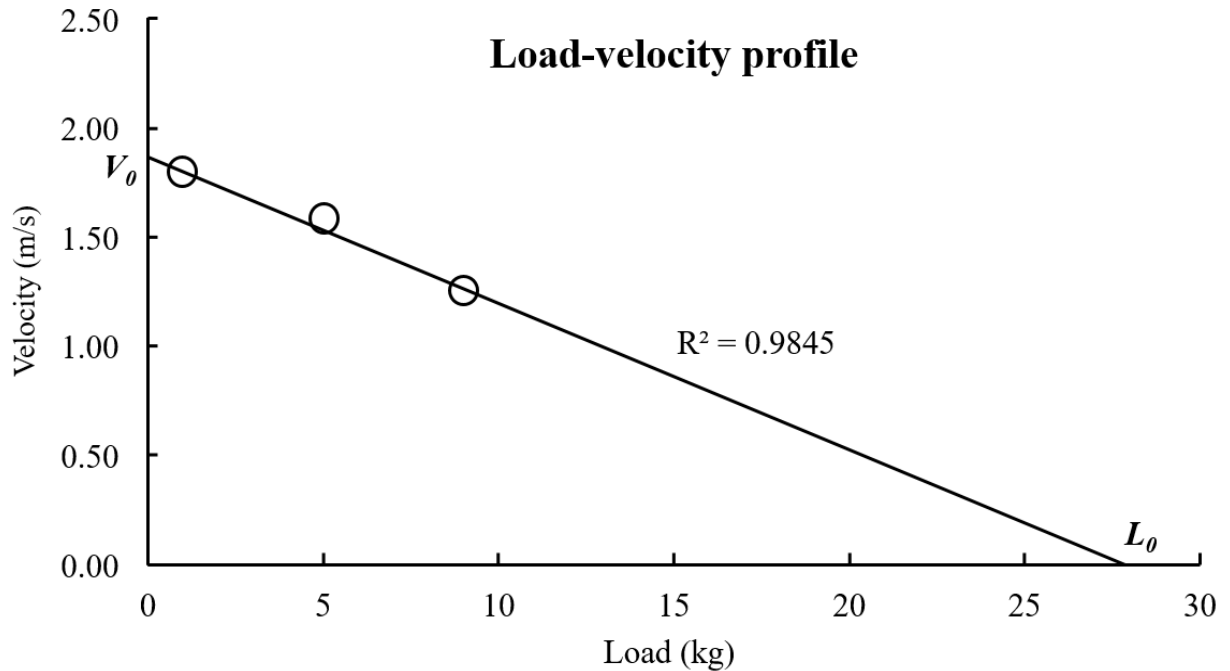


Figure 2. Example of a load-velocity profile with theoretic maximal values of velocity (v_0) and load (L_0), and the coefficient of determination (R^2) of the slope.

Statistical analyses

The Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 24 (IBM Corp, Armonk, NY, USA) was utilized to perform all statistical analyses, and the alpha level for significance was set to $p \leq 0.05$. Normal distribution of variables was assessed using the Shapiro-Wilk test. Confidence intervals were calculated for the assessed variables in accordance with common statistical methods (6). To show the level of agreement between the v_0 and the v_{50} , a Bland-Altman plot was utilized (5). Pearson's correlation coefficient was used to calculate all correlations for normally distributed data, while correlations between non-normally distributed data (age and arm span) and with other variables were assessed using the Spearman's rank correlation coefficient. Correlations threshold values of 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, and 0.9 were interpreted as small, moderate, large, very large, and extremely large correlations respectively (21).

RESULTS

An overview of the distribution of load-velocity profiles for all subjects is presented in Figure 3. The mean (solid line) and range (dotted lines) show the distribution of observed v_0 , L_0 and maximum swimming velocities observed at the different external loads for all subjects. Specifically, the L_0 ranges from less than 15 kg to over 34 kg, while the v_0 ranges from less than 1.7 m/s to almost 1.9 m/s. Numerical results for all variables obtained from the 50 m front crawl test and the load-velocity profiling are also shown in Table 1.

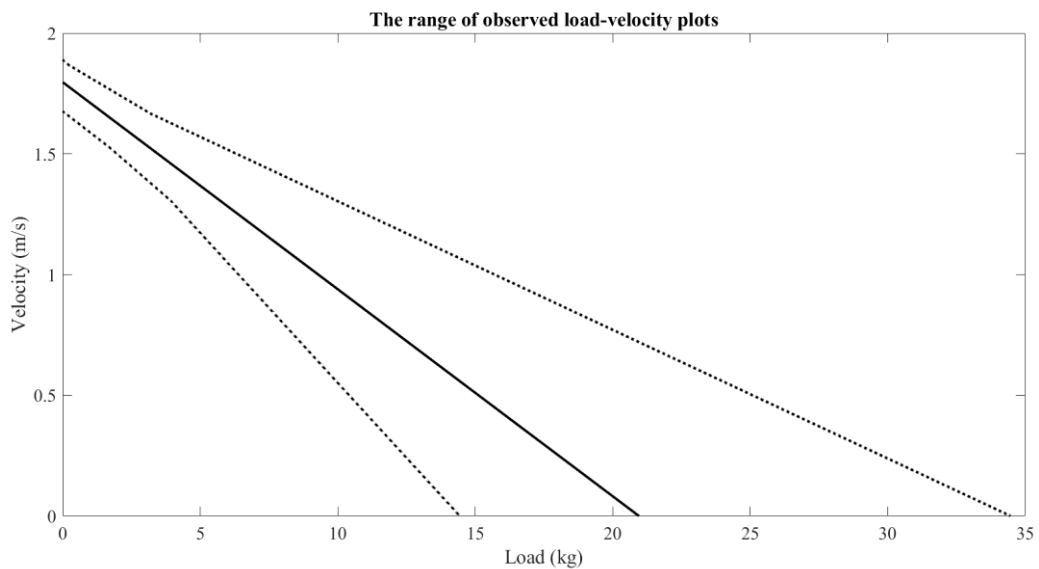


Figure 1. Range plot of the load velocity profiles. The middle line is the mean values for the 14 subjects, while the two dotted lines show the range of achieved values for load and velocity estimated by the slopes of the individual load-velocity profiles.

Table 1. Variables obtained from the load-velocity profiling and the 50m front crawl tests.

	L_0 (kg)	rL_0 (%)	v_0 (m/s)	Slope (m/s/kg)	R^2	t_{50} (s)	v_{50} (m/s)	SF (cycles/min)	SL (m/cycle)
Mean ± SD	21.83 ± 5.69	26.74 ± 4.99	1.80 ± 0.07	-0.09 ± 0.02	0.96 ± 0.03	24.26 ± 0.93	1.86 ± 0.06	55.76 ± 3.25	2.02 ± 0.12
CI _{upper} 95%	24.81	29.45	1.83	-0.08	0.98	24.75	1.89	57.46	2.08
CI _{lower} 95%	18.84	24.22	1.76	-0.10	0.95	23.77	1.83	54.05	1.96

Note: SD = standard deviation; CI_{upper95%} = upper bound of 95% confidential interval of Mean; CI_{lower95%} = lower bound of 95% confidential interval of Mean; L_0 = estimated maximum load from the load-velocity slope; rL_0 = estimated maximum load as a percentage of body mass; v_0 = estimated maximum velocity from the load-velocity slope; Slope = slope load-velocity curve; R^2 = adjusted R^2 of the load-velocity slope; t_{50} = time for the 50 m front crawl; v_{50} = mean free-swimming velocity during 50 m front crawl; SF = stroke frequency for the 50 m front crawl; SL = stroke length for the 50 m front crawl.

Correlation coefficients of the variables analyzed are presented in Table 2. Several significant correlations between variables from the 50 m front crawl and the load-velocity profile were observed: t_{50} had large negative correlations with L_0 (-0.554, $p=0.000$), rL_0 (-0.677, $p=0.008$), and v_0 (-0.677, $p=0.008$), while v_{50} had large correlations with L_0 (0.632, $p=0.015$), v_0 (0.698, $p=0.006$) and slope (0.541, $p=0.046$), and very large correlations with rL_0 (0.743, $p=0.002$).

Table 2. Correlations between 50m front crawl performance, load-velocity profile and anthropometric measurements. Numbers in plain font and *italics* show correlation coefficients and *p-value*, respectively.

	SF	SL	v ₅₀	L ₀	rL ₀	V ₀	Slope	Height	Body mass	Arm span
t ₅₀	-0.378 <i>0.183</i>	-0.179 <i>0.541</i>	- <i>0.894**</i> <i><0.001</i>	-0.554* <i>0.040</i>	- <i>0.677**</i> <i>0.008</i>	- <i>0.677**</i> <i>0.008</i>	-0.468 <i>0.092</i>	-0.327 <i>0.254</i>	-0.115 <i>0.696</i>	-0.455 <i>0.102</i>
SF		- <i>0.825**</i> <i><0.001</i>	0.353 <i>0.216</i>	-0.146 <i>0.617</i>	0.104 <i>0.725</i>	0.436 <i>0.119</i>	-0.22 <i>0.449</i>	-0.268 <i>0.354</i>	-0.467 <i>0.092</i>	-0.411 <i>0.144</i>
SL			0.223 <i>0.444</i>	0.498 <i>0.070</i>	0.301 <i>0.295</i>	0.002 <i>0.994</i>	0.505 <i>0.065</i>	0.526 <i>0.053</i>	0.568* <i>0.034</i>	0.714** <i>0.004</i>
v ₅₀				0.632* <i>0.015</i>	0.743** <i>0.002</i>	0.698** <i>0.006</i>	0.541* <i>0.046</i>	0.426 <i>0.129</i>	0.167 <i>0.569</i>	0.481 <i>0.081</i>
L ₀					0.898** <i><0.001</i>	0.335 <i>0.241</i>	0.951** <i><0.001</i>	0.774** <i>0.001</i>	0.706** <i>0.005</i>	0.789** <i>0.001</i>
rL ₀						0.513 <i>0.061</i>	0.833** <i><0.001</i>	0.527 <i>0.053</i>	0.330 <i>0.249</i>	0.710** <i>0.004</i>
V ₀							0.141 <i>0.630</i>	0.389 <i>0.169</i>	-0.128 <i>0.664</i>	0.253 <i>0.383</i>
Slope								0.692** <i>0.006</i>	0.745** <i>0.002</i>	0.763** <i>0.002</i>
Height									-0.068 <i>0.816</i>	0.569* <i>0.034</i>
Body mass										0.499 <i>0.069</i>

Note: t₅₀ = time for the 50 m front crawl; SF = stroke frequency for the 50 m front crawl; SL = stroke length for the 50 m front crawl; v₅₀ = mean free-swimming velocity during 50 m front crawl; L₀ = estimated maximum load from the load-velocity slope; rL₀ = estimated maximum load as a percentage of body mass; v₀ = estimated maximum velocity from the load-velocity slope; Slope = slope in the load-velocity curve; * = p<0.05; ** = p<0.01.

Absolute agreement between v_0 from the load-velocity profile and v_{50} from the race analysis is shown in Figure 4. All points were within 1.96 SD levels, and the mean difference was around 0.06.

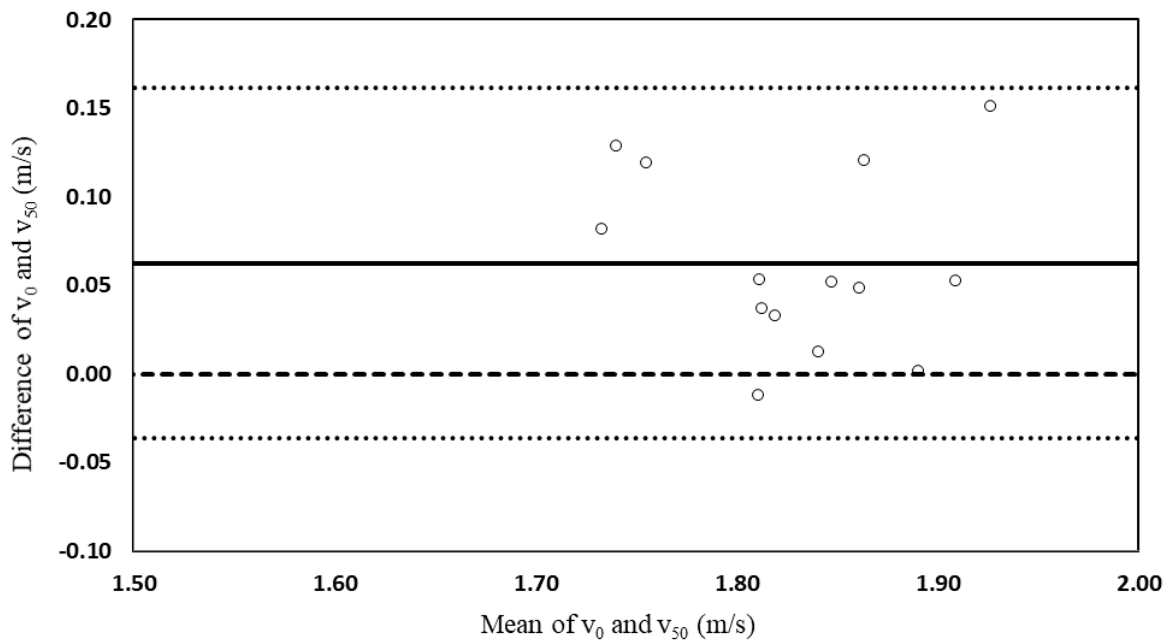


Figure 4. Bland-Altman plot showing absolute agreement between maximal theoretical velocity (v_0) from the load-velocity slope and mean free swimming velocity (v_{50}) during the 50 m front crawl performance. The solid line is the mean difference, the dashed line represents 0.00, and the dotted lines are $1.96 \times$ standard deviation (SD) limits.

DISCUSSION

The purpose of this study was to assess the relationship between parameters derived from a 50 m front crawl performance and a semi-tethered swim in the form of load-velocity profiling. The main findings were large-to-very large correlations between the 50 m front crawl parameters t_{50} and v_{50} and the load-velocity profile parameters L_0 , rL_0 , v_0 , and slope.

The large-to-very large positive and negative correlations between front crawl and load-velocity parameters suggest that variables such as L_0 , v_0 and slope from a load-velocity profile are good indicators of a 50 m front crawl performance, especially for performance in the free-swimming phases. These observations are supported by the average R^2 values of the load-velocity profiles (0.96) which are comparable to those found in other studies on semi-tethered swimming (0.97-0.99) (14, 18), and clearly show a robust linear relationship between the velocity and load parameters in semi-tethered swimming.

An interesting finding of the present study was the difference between mean velocity in the free-swimming phase of the front crawl (v_{50}) and the theoretical maximal velocity in the load-velocity test (v_0), which were 1.86 m/s and 1.80 m/s, respectively. A similar observation was reported in a recent study of load-velocity profiling and performance in butterfly swimming (18), and as that study suggested, the explanation might be the influence the start phase, and potentially the turns, have on performance in the subsequent free-swimming phase (41). This is supported in this study by the lack of correlation between free-swimming performance in 50 m front crawl (v_{50}) with SL and SF, which suggest that there are other variables influencing the free-swimming performance than the stroke kinematics. This could result in an overestimation of free-swimming velocity in the 50 m front crawl. Nevertheless, this does not depreciate the large-to-very large correlations in the present study. What those results imply is that the load-velocity profile is a useful tool to monitor the performance of swimmers, but this should not be used as a method to predict the absolute velocity.

There is one difference worth noting between the present study and the butterfly study (18). In the present study, almost all swimmers showed a faster v_{50} than v_0 , as clearly shown in the Bland-Altman plot (Figure 4). On the other hand, only fast swimmers exhibited this trend in the butterfly study. A possible explanation for this difference is the potential underestimation of v_0 due to the reported increase in the index of coordination (IdC) with heavier external loads in front crawl swimming (14). An increase in IdC means more effective propulsion – a higher v_{LVH} – and thereby a somewhat underestimated v_0 because the slope would be flatter. However, this study did not analyze starts, turns, or IdC, and can therefore not provide much insight into these mechanisms, which are interesting topics for future studies.

The lack of correlation between the load-velocity parameters L_0 and v_0 was also reported in the butterfly study (18). The first possible explanation for this lack of correlation is that it reflects the importance of minimizing drag on swimming performance. The importance of minimizing drag for swimming performance has been reported (4, 20, 26, 29) and it has also been suggested that it might be more important to minimize drag than to maximize propulsion of the stroke for achieving maximal mean velocity (40). L_0 indirectly shows a fully tethered swimming ability of swimmers that is related to propulsive force production. Therefore, a lack of L_0 and v_0 might support the importance of drag minimization over the large propulsive force production. However, if this was the case, there should have been a negative correlation between the slope and v_0 , which was not the case. Therefore, there should be another explanation for the lack of correlation between L_0 and v_0 . A likely possibility is that the non-significant correlation shows the different individual strategies for achieving velocity in swimming.

Different ways of achieving velocity in swimming are clearly seen in the range of load-velocity profiles among the subjects (Figure 3), which shows a range of 92% of the mean for L_0 , but only a range of 12% for v_0 . This suggests that being able to swim with a heavy load does not necessarily mean that one is able to achieve a high swimming velocity, even though both may be important for a 50 m front crawl performance as shown by their large negative correlations to t_{50} .

L_0 was very largely correlated with arm span, body mass and height. The correlation with arm span could be explained by the fact that longer arms mean longer levers and more surface area facing the water flow, which cause large propulsion. The very large correlations between L_0 and body mass and height, however, are more difficult to explain. One explanation could be that both height and body mass are often associated with longer and more muscular arms, and both of these can increase the capacity for propulsion (25). A complementary observation is the high-to-very high correlations observed between SL and arm span, SL and body mass, and the almost significant correlations of SL with both height ($p=0.053$) and L_0 ($p=0.070$). This suggests that arm span might be inextricably linked with height and body mass, showing the importance of arm span for propulsion in front crawl.

This leads to two interesting differences between what was found in this study and in the previously mentioned semi-tethered butterfly study (18). The butterfly study observed a significant large correlation between SF and L_0 , and a very large correlation between SL and v_0 , while no such correlations were observed in this study. The explanation for these differences may be due to the inherent differences of the swimming styles - the front crawl has alternating limb actions, optimally achieving no

time lag between propulsive actions, whereas the butterfly style has a longer time lag between propulsive arm strokes, and an undulating trunk movement (29). This difference between swimming styles is also evident in the lack of correlations between L_0 and anthropometric variables such as height and body mass observed in the butterfly study as opposed to the large correlations found in this study, as well as the link between SL and propulsion mentioned in the last paragraph. This suggests that anthropometric characteristics are more important for performance in front crawl than it is for performance in butterfly.

One limitation is potential changes in the swimming technique and unsteady flow around the limbs in a semi-tethered swimming condition. Evidence shows that front crawl technique does change in a semi-tethered swim (14); however, the difficulty lies in ascertaining how the changes in technique affects the resulting performance. Another limitation is the usage of load versus force. In land-based sports, e. g. running, cycling and jumping, researchers usually measure force instead of load (10, 16), partly due to the proven relationship between force and power. However, measuring all of the forces affecting and exerted by a swimmer is not practically feasible. Using load instead of force makes the approach simpler to implement and easier to relate to for practitioners and coaches. A related limitation is the question of whether the semi-tethered test used enough load; it may be important to test subjects up to a load where the velocity production is reduced to 50 % of maximal velocity, which only occurred in about half of our subjects. The theoretical maximal power output in other cyclic sprint performances, such as running, has been shown to occur at loads where the velocity is at 50% of maximal velocity (9). However, the observed R^2 values in the present study

show the robust linear relationship between load and velocity, suggesting that testing at higher loads would have little effect on the load-velocity profiles, and therefore little change in the observed relationships between the load-velocity and the 50 m front crawl variables.

In conclusion, this study found good relationships between the parameters for load-velocity profiling and parameters of a 50 m front crawl performance in swimmers competing at the national elite level, which indicate that load-velocity profiling can be a useful swimming specific assessment strategy for swimmers and coaches.

PRACTICAL APPLICATIONS

Load-velocity profiling can be a useful tool for trainers from three perspectives – a) to monitor performance over time, b) to compare with other athletes, and c) to establish requirements for performance at different levels.

Monitoring development of a swimmer over time with load-velocity profiles will give insight into what causes change in swimming performance, whether it might be a change in propulsion capabilities and/or capabilities to minimize drag. A hypothetical case could be of a swimmer who shows a large increase in v_0 and unchanged L_0 after several months of training. This change suggests that there is an improvement in drag minimizing capabilities for this athlete, but little change in propulsion capabilities.

Another aspect of monitoring development over time is the ability to monitor training programs – to observe the effects of specific training programs on propulsion and drag minimization. This would allow for improved training programs, which in turn would improve performance for practitioners.

Comparing load-velocity profiles provides additional insight into performance. In the present study, for example, one of our participants had an average v_0 and was at the lowest end of the spectrum in terms of L_0 . His overall performance (t_{50}) was a little slower than the average, which implies that this swimmer is good at minimizing drag but has potential in terms of improving propulsion compared with the other swimmers. Another participant was at the other end of the spectrum in L_0 , while his v_0 and t_{50} were slightly better than average. Compared to the other swimmers this athlete has an advantage in terms of propulsion, so he would probably have a benefit in focusing on minimizing drag.

Load-velocity profiling may also be used for establishing requirements for performance at different levels for the 50 m front crawl, e.g., between national and international levels of performance. FINA points are a common way to differentiate between performance levels. While this approach is good at standardizing performance level among different events, it cannot explain performance determinants. Supplementing this approach with load-velocity profiling could provide practitioners and coaches with feedback on areas of potential improvement pertaining to propulsion and drag minimization. Combining these three applications could lead to individualized training programs designed to elevate the abilities of the swimmers to the highest levels of performance.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all study participants and their coaches for their contribution. We thank Kathrin Abächerli and Rebecca Karlsson for their help during testing. The only conflict of interest is that Ola Eriksrud is a shareholder in 1080 Motion AB. The results of the

present study do not constitute endorsement of the equipment used by the authors or the NSCA.

REFERENCES

1. Argüelles-Cienfuegos J and De La Fuente-Caynzos B. XVth World Swimming Championships: race phases' contribution to the overall performance and the gender differences. Presented at IV NSCA International Conference 2014 Human Performance Development through Strenght and Conditioning, 2014.
2. Aspenes ST and Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Med* 42: 527-543, 2012.
3. Barbosa AC, Valadão PF, Wilke CF, Martins FdS, Silva DCP, Volkers SA, Lima COV, Ribeiro JRC, Bittencourt NF, and Barroso R. The road to 21 seconds: A case report of a 2016 Olympic swimming sprinter. *International Journal of Sports Science & Coaching* 14: 393-405, 2019.
4. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, and Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport* 13: 262-269, 2010.
5. Bland JM and Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)* 1: 307-310, 1986.
6. Calder K. Statistical inference. *New York: Holt*, 1953.
7. Cortesi M, Fantozzi S, Di Michele R, Zamparo P, and Gatta G. Passive drag reduction using full-body swimsuits: the role of body position. *J Strength Cond Res* 28: 3164-3171, 2014.
8. Cossor JM and Mason BR. Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *Biomechanics Symposia*, 2001.
9. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, and Morin JB. Optimal Loading for Maximizing Power During Sled-Resisted Sprinting. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1069-1077, 2017.
10. Cross MR, Samozino P, Brown SR, and Morin JB. A comparison between the force-velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: single vs. multiple trial methods. *Eur J Appl Physiol* 118: 563-571, 2018.
11. Crowe S, Babington J, Tanner D, and Stager J. The relationship of strength to dryland power, swimming power, and swim performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31: S255, 1999.
12. Crowley E, Harrison AJ, and Lyons M. The Impact of Resistance Training on Swimming Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 47: 2285-2307, 2017.
13. Deschodt VJ, Arsac LM, and Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80: 192-199, 1999.
14. Dominguez-Castells R and Arellano R. Effect of different loads on stroke and coordination parameters during freestyle semi-tethered swimming. *J Hum Kinet* 32: 33-41, 2012.
15. Dominguez-Castells R, Izquierdo M, and Arellano R. An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl. *Int J Sports Med* 34: 324-329, 2013.

16. Dorel S, Couturier A, Lacour JR, Vandewalle H, Hautier C, and Hug F. Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1174-1183, 2010.
17. Formosa DP, Mason B, and Burkett B. The force-time profile of elite front crawl swimmers. *J Sports Sci* 29: 811-819, 2011.
18. Gonjo T, Eriksrud O, Papoutsis F, and Olstad BH. Relationships between a Load-velocity Profile and Sprint Performance in Butterfly Swimming. *Int J Sports Med*, 2020.
19. Haner S, Svärm L, Ask E, and Heyden A. Joint Under and Over Water Calibration of a Swimmer Tracking System. Presented at Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods - Volume 2: ICPRAM, 2015.
20. Hollander AP, de Groot G, van Ingen Schenau GJ, Toussaint HM, de Best H, Peeters W, Meulemans A, and Schreurs AW. Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Sciences* 4: 21-30, 1986.
21. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, and Hanin J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41, 2009.
22. Jimenez-Reyes P, Samozino P, Garcia-Ramos A, Cuadrado-Penafiel V, Brughelli M, and Morin JB. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ* 6: e5937, 2018.
23. Keskinen OP, Keskinen KL, and Mero AA. Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming. *Int J Sports Med* 28: 407-413, 2007.
24. Kimura T, Ohba M, and Shionoya A. Construction of a Multiple-regression Model for Estimating the Force in Tethered Swimming, and Power in Semi-tethered Swimming for Males. *Procedia Engineering* 60: 275-280, 2013.
25. Kjendlie P-L and Stallman RJWBoSFSStPNYN. Morphology and swimming performance. 203-222, 2011.
26. Kolmogorov SV and Duplishcheva OA. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J Biomech* 25: 311-318, 1992.
27. Kudo S, Sakurai Y, Miwa T, and Matsuda Y. Relationship between shoulder roll and hand propulsion in the front crawl stroke. *Journal of Sports Sciences* 35: 945-952, 2017.
28. Loturco I, Barbosa AC, Nocentini RK, Pereira LA, Kobal R, Kitamura K, Abad CC, Figueiredo P, and Nakamura FY. A Correlational Analysis of Tethered Swimming, Swim Sprint Performance and Dry-land Power Assessments. *Int J Sports Med* 37: 211-218, 2016.
29. Maglischo EW. *Swimming fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003.
30. Mason BR and Cossor JM. What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships? International Symposium on Biomechanics in Sports (2000), 2000.
31. Morouco P, Keskinen KL, Vilas-Boas JP, and Fernandes RJ. Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *J Appl Biomech* 27: 161-169, 2011.
32. Morouco P, Neiva H, Gonzalez-Badillo JJ, Garrido N, Marinho DA, and Marques MC. Associations between dry land strength and power measurements with

- swimming performance in elite athletes: a pilot study. *J Hum Kinet* 29A: 105-112, 2011.
33. Nagle Zera J, Nagle EF, Nagai T, Lovalekar M, Abt JP, and Lephart SM. Tethered Swimming Test: Reliability and the Association to Swimming Performance and Land-based Anaerobic Performance. *J Strength Cond Res*, 2018.
 34. Narita K, Nakashima M, and Takagi H. Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities. *Journal of Biomechanics* 54: 123-128, 2017.
 35. Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, Izquierdo M, and Marinho DA. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med* 44: 319-330, 2014.
 36. Perez-Olea JI, Valenzuela PL, Aponte C, and Izquierdo M. Relationship Between Dryland Strength and Swimming Performance: Pull-Up Mechanics as a Predictor of Swimming Speed. *J Strength Cond Res* 32: 1637-1642, 2018.
 37. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, and Morin JB. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 26: 648-658, 2016.
 38. Samson M, Monnet T, Bernard A, Lacouture P, and David L. Comparative study between fully tethered and free swimming at different paces of swimming in front crawl. *Sports Biomechanics* 18: 571-586, 2019.
 39. Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, and De Ridder J. *International Standards for Anthropometric Assessment*. 2011.
 40. Takeda T, Ichikawa H, Takagi H, and Tsubakimoto S. Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming? *Journal of Sports Sciences* 27: 1449-1454, 2009.
 41. Vantorre J, Seifert L, Fernandes R, Vilas-Boas JP, and Didier C. Comparison of Grab Start between Elite and Trained Swimmers. *International journal of sports medicine* 31: 887-893, 2010.

Vedlegg

Vedlegg 1 – Forespørsel om deltakelse

FORESPØRSEL OM DELTAKELSE I FORSKNINGSPROSJEKTET

PRESTASJONSBESTEMMENDE FAKTORER I SVØMMING

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt for å kartlegge hvilke faktorer som bestemmer prestasjonen i svømming.

Prestasjonen i svømming vil avhenge av mange forskjellige faktorer, blant annet fysiske kapasiteter (styrke, utholdenhet og bevegelighet), antropometri, mentale faktorer, tekniske ferdigheter (svømmeteknikken din) og taktiske valg. Hvordan flere av disse endrer seg med alder, kjønn og treningstilstand, hvordan disse faktorene henger sammen og påvirker hverandre og hvilke faktorer som er viktigst i forskjellige distanser og svømmearter ønsker vi å forske mer på.

Vi søker til denne studien gutter, jenter, menn og kvinner i alderen 16-80 år som driver med konkurransesvømming og som er vant til å trene og konkurrere med maksimal belastning. Om du har lest denne informasjonen og ønsker å delta som forsøksperson ber vi deg skrive under og returnere den siste siden til oss. Du kan når som helst i etterkant trekke deg fra studien uten å oppgi grunn.

Bjørn Harald Olstad (b.h.olstad@nih.no, 930 61 946) er prosjektleder og ansvarlig for studien er Norges idrettshøgskole.

HVA INNEBÆRER PROSJEKTET?

I prosjektet vil vi innhente og registrere opplysninger om deg; alder, kjønn, vekt, høyde, antropometri (f.eks. arm- og benlengde, omkrets rundt bryst og midje, fettprosent) klubbtilhørighet og personlige rekorder.

I dette prosjektet vil forsøkspersonene møte til testing ved flere anledninger over flere år. Dette skjer når de, klubben eller laget er på avtalt testing i svømmelaboratoriet ved Norges idrettshøgskole. Testingen består av en eller flere tester og du velger selv hvor mange du vil delta på.

1. Konkurranselanalyser foregår ved at svømmeren skal svømme et konkurranseløp med maksimal innsats der vi måler hastighet, takfrekvens, taklengde, start og vending, undervannsarbeid og andre parametere i løpet, med videoanalyse (bilde 1). Et konkurranseløp i din svømmearter med 50 til 1500m distanse starter med en konkurransesstart og gjennomføres i 25m bassenget ved Norges idrettshøgskole etter at du har gjennomført din standardiserte konkurranseoppvarming.

Hvor sterk du er på forskjellige hastigheter vil testes ved flere gjentakelser hvor du er festet til en vinsj (bilde 2) der vi kan måle styrken som utvikles på forskjellige hastigheter. Vi kan også måle hastighets- og styrkevariasjoner innenfor en og mellom svømmesykluser og hvor mye styrke som utvikles fra bensparket og armtaket hver for seg og ved vanlig svømming. I disse testene får du et belte rundt magen/livet og i beltet er det festet en snor som går til vinsjen (bilde 3). Testene gjennomføres ved svømming med maksimal innsats i ca. 20 meter. Det er minimum 2 minutters pause mellom hvert forsøk og til sammen gjennomføres det 3-9 forsøk.

3. *Vannmotstanden vil også måles med samme apparatur ved sleping gjennom vannet. Liggende i linjeholdning vil vinsjen dra deg gjennom vannet i 20m, mens du holder pusten. Til sammen 8 slepinger skal gjennomføres.*

4. *Styrke på land vil også måles med styrketester der du skal løfte så tungt du klarer en eller flere ganger samt etterligne svømmetaket på land i en svømmebenk/apparat der vi måler styrken i armene og bena dine. Disse resultatene kan sammenlignes med målingene gjort i test 2 for å se hvor godt den styrken du har på land blir overført til svømmebevegelsene dine i vannet.*

MULIGE FORDELER OG ULEMPER

Ved å delta i dette prosjektet vil du få et innblikk i hvordan forskning bedrives og få mulighet til å gjennomføre flere avanserte tester og målinger som vanligvis er kostbare. Du vil få et vitenskapelig innblikk i hvordan din svømmeprestasjon påvirkes av forskjellige faktorer, og du vil kunne følge disse målingene over tid for å registrere forbedring. Du kan også bruke disse resultatene til å jobbe med de viktigste faktorene i din daglige trening slik at du kan bli en bedre svømmer. Fra konkurranseanalysen vil du også kunne få med filmen din som viser din teknikk både over og under vann fra siden og forfra under vann.

Testene er ikke spesielt tidkrevende eller vanskelige å gjennomføre, men ved flere tester på samme dag, kan det gå med noe tid. Flere av testene krever at deltakerne svømmer til utmattelse, og tar i maksimalt, og vil kunne oppfattes som anstrengende. Testen er derimot relativt kort, og vil for friske personer normalt ikke medføre noen risiko.

FRIVILLIG DELTAKELSE OG MULIGHET FOR Å TREKKE SITT SAMTYKKE

Det er frivillig å delta i prosjektet. Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke. Dersom du trekker deg fra prosjektet, kan du kreve å få slettet innsamlede prøver og opplysninger, med mindre opplysningene allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål til studien, kan du kontakte Bjørn Harald Olstad (b.h.olstad@nih.no, 930 61 946). Han vil gjennomføre testingen i prosjektet sammen med ansatte og studenter ved Norges idrettshøgskole. Ansvarlig for studien er Norges idrettshøgskole.

HVA SKJER MED INFORMASJONEN OM DEG?

Informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Du har rett til innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg og rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene som er registrert.

Alle opplysningene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennende opplysninger. En kode knytter deg til opplysninger gjennom en navneliste. Dette betyr at denne informasjonen er aidentifisert. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres.

Prosjektleder har ansvar for den daglige driften av forskningsprosjektet og at opplysninger om deg blir behandlet på en sikker måte. Informasjonen om deg vil bli oppbevart i 5 år etter prosjektslutt (31.12.2033) for etterprøvnbarhet og kontroll før det slettes. Informasjonen om deg vil bli slettet innen 31.12.2038.

UTLEVERING AV OPPLYSNINGER TIL ANDRE

Ved å delta i prosjektet, samtykker du også til at opplysninger (resultater og målinger fra testene) kan utleveres til utlandet. Koden som knytter deg til dine personidentifiserende opplysninger vil ikke bli utlevert.

FORSIKRING

Alle deltakerne er forsikret ved at NIH som statlig institusjon er selvassurandør.

GODKJENNING

Studien er godkjent av Personvernombudet for forskning, NSD - Norsk senter for forskningsdata AS (prosjektnummer 58650) og av intern etisk komite ved Norges idrettshøgskole (saksnummer 47 - 060218).

SAMTYKKE TIL DELTAKELSE I PROSJEKTET

Jeg har mottatt informasjon om studien, og er villig til å delta

Sted og dato

Deltakers signatur

Deltakers navn med trykte bokstaver

Vedlegg 2 – Egenerklærings skjema



Egenerklærings skjema fysisk testing

Skjemaet fylles ut av alle som skal delta i fysisk tester og skjemaet returneres utfylt til følgende adresse så snart som mulig:

*Norges idrettshøgskole
v/ Bjørn Harald Olstad
b.h.olstad@nih.no
Postboks 4014 Ullevål stadion, 0806 Oslo*

Etternavn:	Fornavn:	Født:
Hjemmeadresse:		
Tlf (hjem):	E-mailadresse:	
Tlf (mobil):		
Navn nærmeste pårørende:		
Tlf nærmeste pårørende:		
Dine idretts- og mosjonsvaner:		
JA NEI		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Mosjonerer du regelmessig med lettere kondisjonsaktiviteter (f.eks gåturer, lett jogging)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Driver du regelmessig hardere kondisjonstrening og/eller konkurrer i kondisjonsidretter?

JA	NEI	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Kjenner du til at du har en hjertesykdom?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Hender det du får brystmerter i hvile eller i forbindelse med fysisk aktivitet?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Kjenner du til at du har høyt blodtrykk?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Bruker du for tiden medisiner for høyt blodtrykk eller hjertesykdom (f.eks. vanndrivende tabletter)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Har noen av dine foreldre, søsken eller barn fått hjerteinfarkt eller dødd plutselig (før fylte 55 år for menn og 65 for kvinner)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Røyker du?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Kjenner du til om du har høyt kolesterolnivå i blodet?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. Har du besvimt i løpet av de siste 6 måneder?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. Hender det du mister balansen på grunn av svimmelhet?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. Har du sukkersyke (diabetes)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11. Har du vært skadet eller syk i løpet av den siste uken?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12. Kjenner du til <u>noen annen grunn</u> til at din deltakelse i prosjektet kan medføre helse- eller skaderisiko?

Gi beskjed straks dersom din helsesituasjon forandrer seg fra nå og til undersøkelsen er ferdig, f.eks. ved at du blir forkjølet, får feber, eller blir gravid.

Dine eventuelle kommentarer til spørsmålene eller andre relevante opplysninger om egen helsesituasjon med tanke på å gjennomføre fysiske tester: _____

Sted og dato

Underskrift

Vedlegg 3 – Oppsett av software for 1080 Sprint for load-velocity testing Test protocol swimming

Load velocity profile

Purpose: generate load-velocity profile for different swimming techniques

Equipment: 1080 Sprint and belt

Position 1080 Sprint: Secure 1080 Sprint on top of starting block.

Preparation: Make sure 1080 sprint is connected to power source and and that the emergency button is plugged in (green light). Start tablet and connect tablet to 1080 Sprint. Start the application (1080 motion) and log on. Select or create client to be tested > create new session > add exercise (swimming technique to be tested) (Figure 1) > view exercise.

The screenshot shows the software interface for a swimmer named Swimmer 107. The interface is divided into several sections:

- ACTIVE CLIENTS:** A list of clients including Swimmer 106, Swimmer 107 (selected), Swimmer 108, Swimmer 109, Swimmer 110, and Swimmer 111.
- Session overview:** A table showing performance data for Swimmer 107. The table has columns for Set, No, Dist, Time, Speed, Force, and Power. The data is as follows:

Set	No	Dist	Time	Speed	Force	Power
1	15.4	14.5	1.72 / 1.06	25.7 / 15.5	37.4 / 17.9	
2	15.4	17.7	1.42 / 0.87	45.3 / 36.7	61.3 / 33.2	
1	3	15.9	23.1	1.29 / 0.69	69.5 / 36.2	82.6 / 39.7
4	16.5	33.3	1.24 / 0.5	79.5 / 53.6	89.4 / 31.6	
5	13.2	26.5	1.2 / 0.5	90.2 / 66	96.2 / 36.4	
2	1	15.9	7.7	2.57 / 2.07	107 / 85.7	257 / 202
- Add exercise:** A panel with a search bar and a list of exercises. The exercises listed are 'Armtak bryst', 'Backstroke', and 'Beinspark bryst'. 'Backstroke' is currently selected.

Figure 1. Client selected, session created and exercise added (in this case backstroke)

Calibration: set load to 0 kg and pull line out to 5 m away from the Sprint. Then hit the set position button (Figure 2)

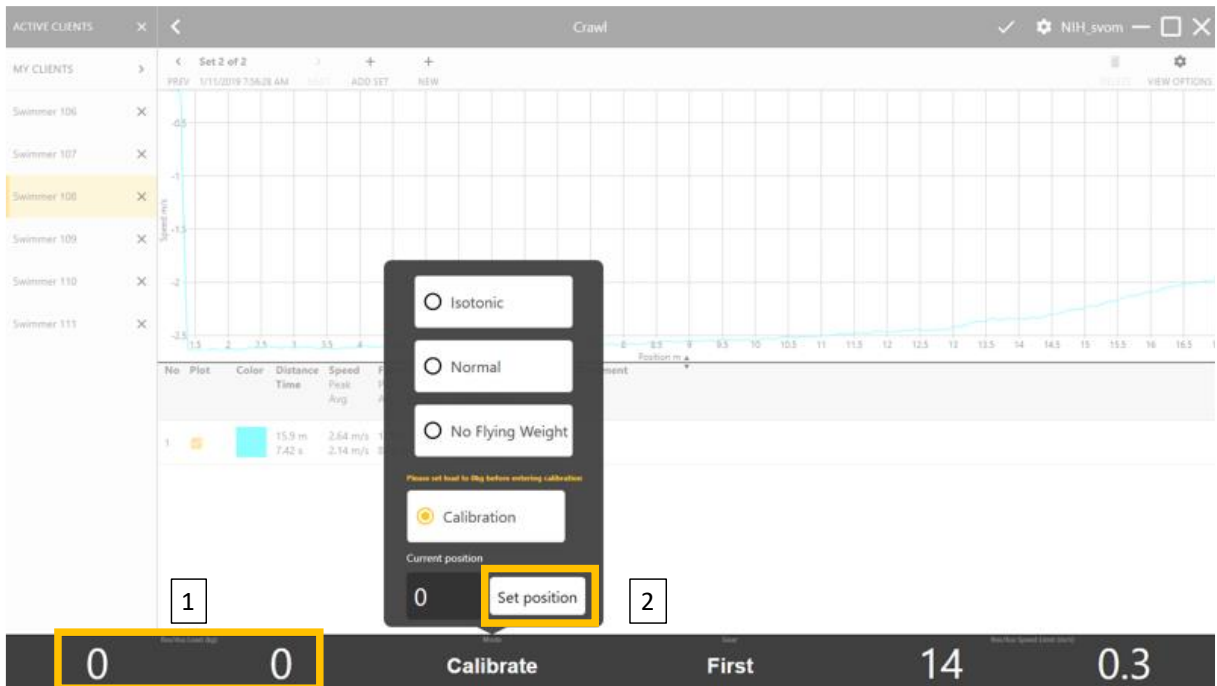


Figure 2. Set load to 0kg (1), under resistance setting select calibration and the pull line out to 5 m (shown in current position) and then select set position (2).

Settings:

- Mode: Isotonic resistance is default when starting up the system. How to change resistance mode is shown in Figure 3.

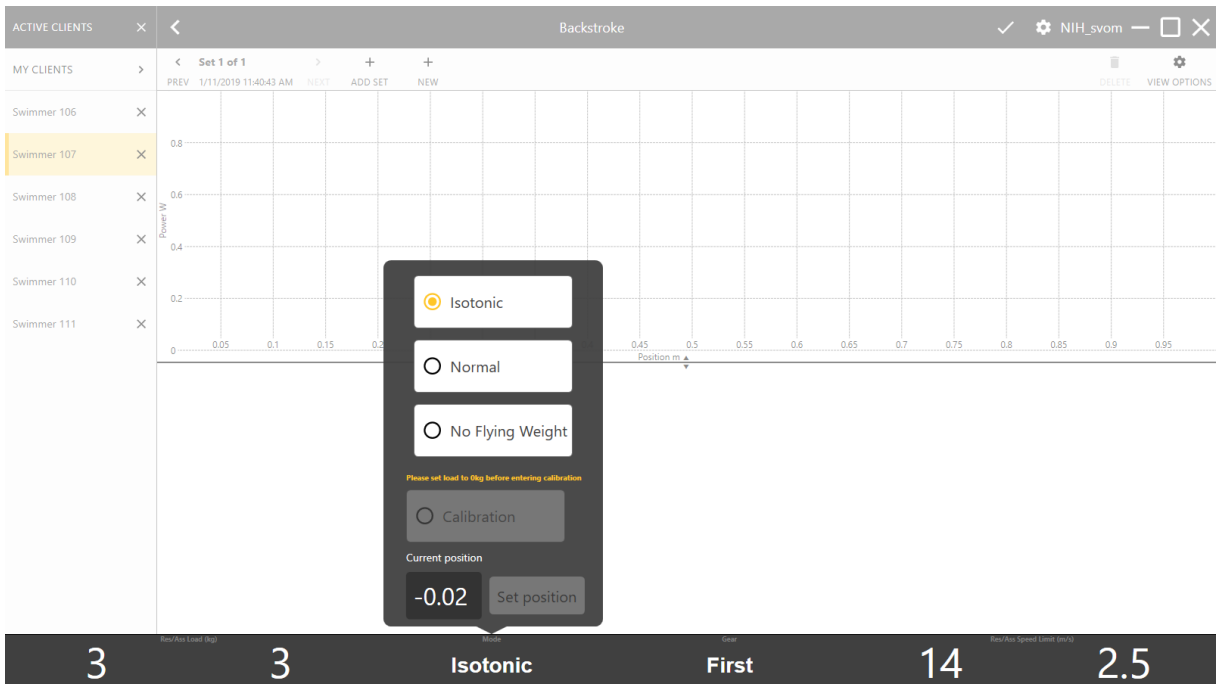


Figure 3. How to select isotonic resistance. Resistance setting is shown at the bottom.

- Gear: First. The is default when logging on. How to select gear (first or second) is shown in Figure 4.

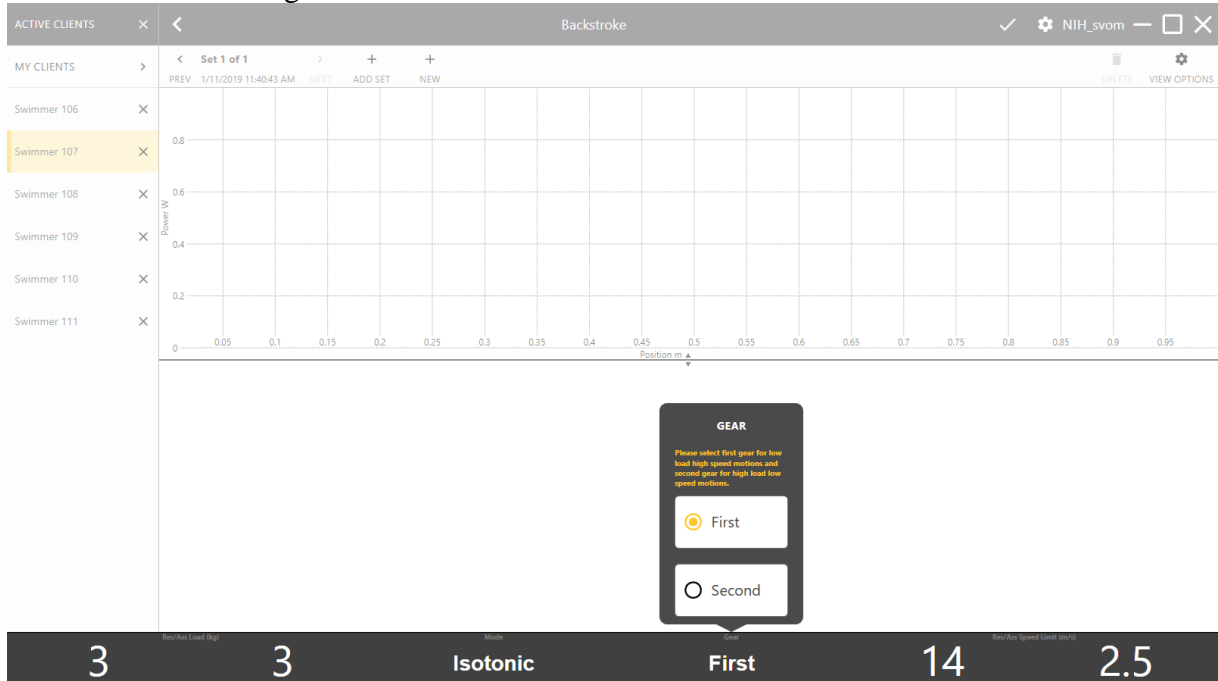


Figure 4. How to select first gear. Gear selected is shown at the bottom.

- Concentric load (Figure 5)
 - Start with 1 kg and progress at follows for each resisted swim:
 - Reliability, female: 1 kg increments
 - Reliability, male: 2 kg increments
 - Load-velocity: 3 kg increments
- Eccentric load (Figure 5)
 - Same as concentric load for all tests



Figure 5. How to set resistance with resistance selected shown at the bottom.

- Assisted/concentric speed: 0.05 m/s (Figure 6)
- Resisted/eccentric speed: 14 m/s (Figure 6)



Figure 6. How to set speed with speed selected shown at the bottom. Note: Assisted was set to 0.05, not 0.1.

Instructions athlete:

- Explain that measurements takes place from the 5 m to the 20 m mark
- Start from the wall and glide into the resistance and then “all out” swim to the opposite wall.

Recording:

- Select new (Figure 7)

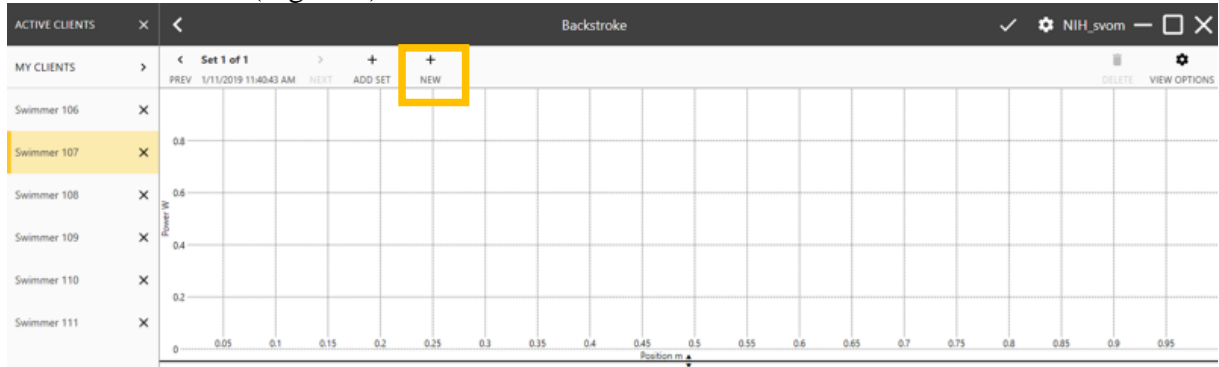


Figure 7. Select new prepare recording

- Select distance recording (Figure 8)

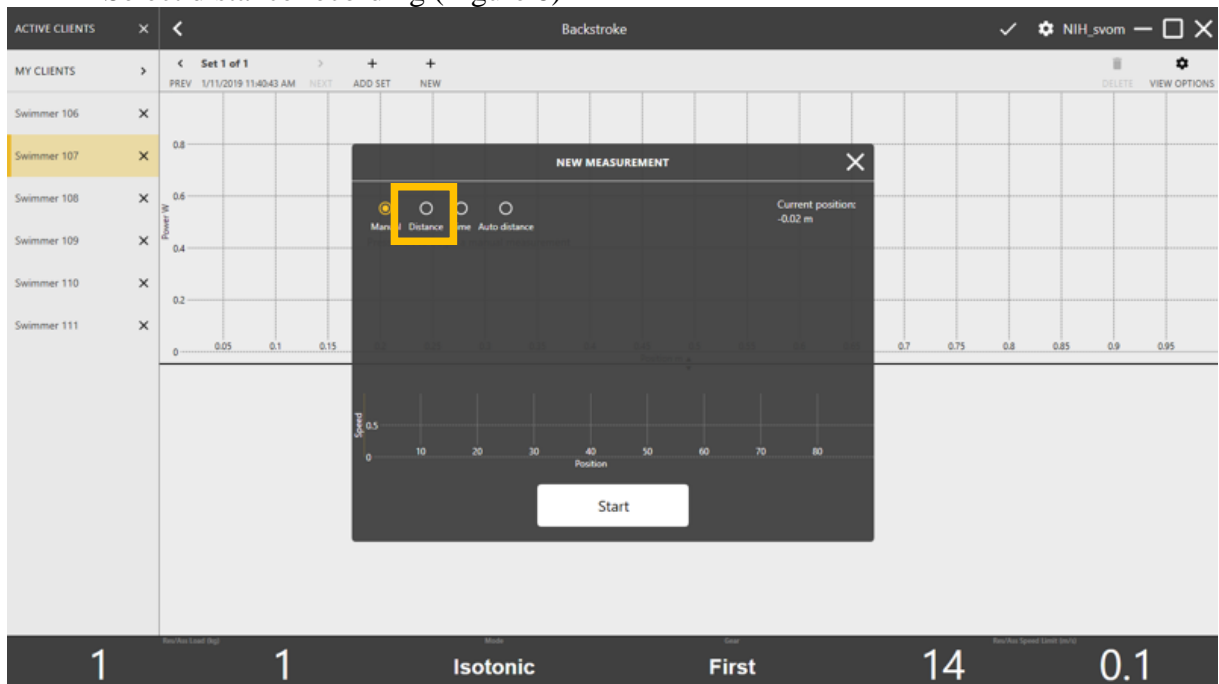


Figure 8. Distance recording. Manual is default.

- Then a new menu opens. In this menu select start recording at 0.1m, which is effectively 5.1m away from the sprint as the calibrated position was set to 5m. Then select recording distance 15.4 m to ensure that 15 m is measured (Figure 9)

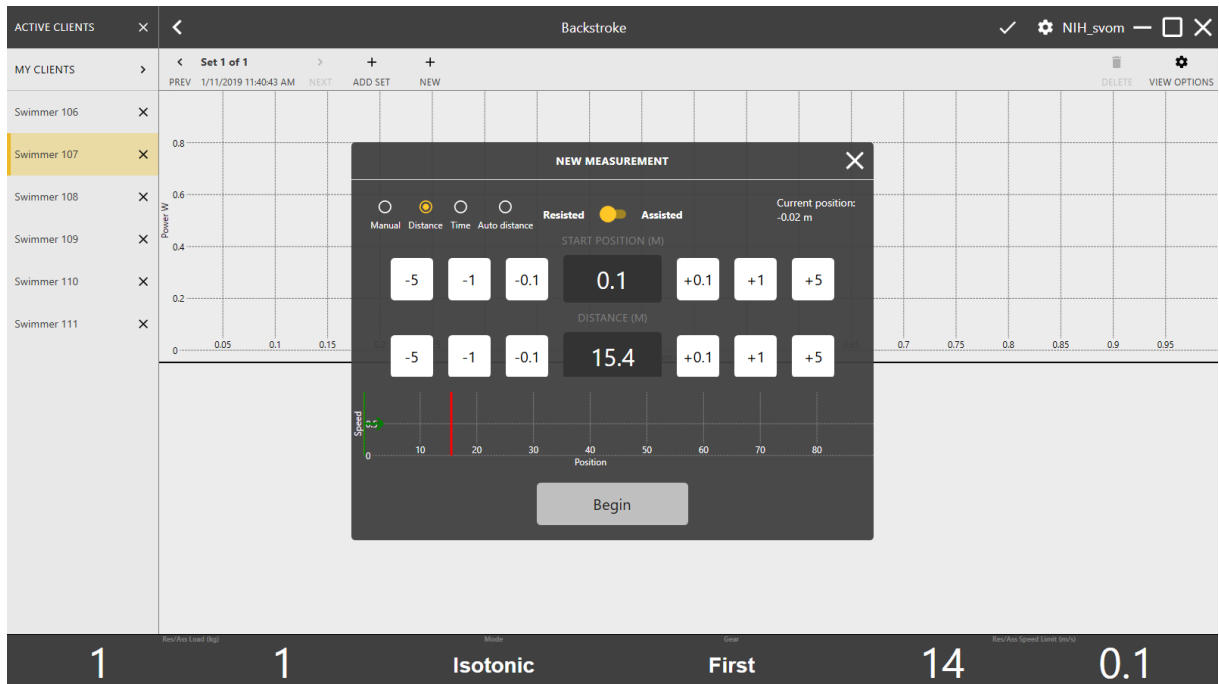


Figure 9. How to select position of starting recording (0.1m) and distance for measurement (15.4m)

- Hit begin button
- Instruct athlete to start swimming
- Make sure that athlete completes the whole distance and that the data is obtained and synchronized (check mark upper right corner). Figure 10 shows how recorded data should look after a trial is completed.



Figure 10. How one recorded repetition should look. Note: this figure shows an athlete that has completed multiple repetitions with one shown.

Protocol:

- Concentric and eccentric load progressions as identified above
- Continue load progression until athlete can no longer complete the test.

Vedlegg 4 – Godkjenning fra etisk komite på Norges Idrettshøgskole Søknad 47 - 060218 –200318 Longitudinell studie av prestasjonsfremmende faktorer i svømming

Vi viser til vedtak datert 10.2.2018 fra etisk komite, oppdatert søknad med prosjektbeskrivelse, herunder forskningsetiske betraktninger, samtykkeskjemaer, rutiner for fysisk testing, egenerklæringsskjema for fysisk testing og redegjørelse for databehandleravtale mottatt 6.3.2018.

I henhold til retningslinjer for behandling av søknad til etisk komite for idrettsvitenskapelig forskning på mennesker, har leder av komiteen på fullmakt konkludert med følgende:

Vurderinger

Etter leder av komiteens vurdering er forskningsprotokollen tilfredsstillende oppdatert. Den etiske vurderinger rundt intervensjon av barn og ungdom kombinert med mottatte rutiner for fysisk testing, oppdaterte samtykkeskjemaer og redegjørelse for databehandleravtale er også tilfredsstillende. Det anbefales at egenerklæringsskjema for fysisk testing også forelegges foresatte for deltakere uten samtykkekompetanse.

Vedtak

På bakgrunn av forelagte dokumentasjon finner leder av komiteen at prosjektet er forsvarlig og at det kan gjennomføres innenfor rammene av anerkjente etiske forskningsetiske normer nedfelt i NIHs retningslinjer. Til vedtaket er følgende forutsetning til grunn:

- *At eventuelle vilkår fra NSD følges*
- *At egenerklæringsskjema for fysisk testing forelegges foresatte for deltakere uten samtykkekompetanse*

Vi gjør videre oppmerksom på at vedtaket er avgrenset i tråd med fremlagte dokumentasjon. Dersom det gjøres vesentlige endringer i prosjektet som kan ha betydning for deltakernes helse og sikkerhet, skal dette legges fram for komiteen før eventuelle endringer kan iverksettes.

Vedtaket er fattet av komiteleder på fullmakt henhold til NIHs retningslinjer.

Med vennlig hilsen
Professor Sigmund Loland
Leder, Etisk komite, Norges idrettshøgskole

Vedlegg 5 – Godkjenning fra Norsk Senter for Forskningsdata

Bjørn Harald Olstad

Postboks 4014

0806 OSLO

Vår dato: 22.02.2018 Vår ref: 58608 / 3 / OASR Deres dato: Deres ref:

Tilråding fra NSD Personvernombudet for forskning § 7-27

58608	Longitudinell utvikling av prestasjonsbestemmende faktorer i svømming
Behandlingsansvarlig	Norges idrettshøgskole, ved institusjonens øverste leder
Daglig ansvarlig	Bjørn Harald Olstad

Personvernombudet for forskning viser til meldeskjema mottatt 23.01.2018 for prosjektet:

Vurdering

Etter gjennomgang av opplysningene i meldeskjemaet og øvrig dokumentasjon finner vi at prosjektet er unntatt konsesjonsplikt og at personopplysningene som blir samlet inn i dette prosjektet er regulert av § 7-27 i personopplysningsforskriften. På den neste siden er vår vurdering av prosjektopplegget slik det er meldt til oss. Du kan nå gå i gang med å behandle personopplysninger.

Vilkår for vår anbefaling

Vår anbefaling forutsetter at du gjennomfører prosjektet i tråd med:

- opplysningene gitt i meldeskjemaet og øvrig dokumentasjon
- vår prosjektvurdering, se side 2
- eventuell korrespondanse med oss

Meld fra hvis du gjør vesentlige endringer i prosjektet

Dersom prosjektet endrer seg, kan det være nødvendig å sende inn endringsmelding. På våre nettsider finner du svar på hvilke endringer du må melde, samt endringsskjema.

Opplysninger om prosjektet blir lagt ut på våre nettsider og i

Meldingsarkivet

Vi har lagt ut opplysninger om prosjektet på nettsidene våre. Alle våre institusjoner har også tilgang til egne prosjekter i Meldingsarkivet.

Vi tar kontakt om status for behandling av personopplysninger ved prosjektslutt

Ved prosjektslutt 01.01.2033 vil vi ta kontakt for å avklare status for behandlingen av personopplysninger.

Se våre nettsider eller ta kontakt dersom du har spørsmål. Vi ønsker lykke til med prosjektet!

Vennlig hilsen

Kontaktperson: Øivind Armando Reinertsen tlf: 55 58 33 48 /

Oivind.Reinertsen@nsd.no

Vedlegg: Prosjektvurdering

Personvernombudet for forskning

Prosjektvurdering - Kommentar

Prosjektnr: 58608

Formålet med prosjektet er å kartlegge hvordan ulike fysiske faktorer påvirker prestasjoner i svømming, og hvordan disse utvikles over tid. Du har opplyst i meldeskjema at utvalget vil motta skriftlig og muntlig informasjon om prosjektet, og samtykke skriftlig til å delta. Vår vurdering er at informasjonsskrivet til utvalget er godt utformet. Du må imidlertid opplyse om data for prosjektslutt slik at utvalget kan forutse hvor lenge personidentifiserende informasjon vil bli lagret. Selv om barnets foresatte samtykker til barnets deltakelse i prosjektet, må også barnet gi sin aksept til å delta. Vi anbefaler at barnet mottar tilpasset informasjon om hva deltakelse i prosjektet innebærer. Du må sørge for at barnet forstår at deltakelse er frivillig, og at det kan trekke seg om det ønsker det. Vi legger til grunn at det vil bli behandlet sensitive opplysninger om helseforhold (fysiske målinger).

Personvernombudet forutsetter at du behandler alle data i tråd med Norges idrettshøgskole sine retningslinjer for datahåndtering og informasjonssikkerhet. Vi legger til grunn at bruk av skylagring er i samsvar med institusjonens retningslinjer. Dersom det benyttes en ekstern leverandør av elektronisk spørreskjema, vil leverandøren være databehandler for prosjektet.

NIH skal inngå skriftlig avtale med leverandøren av spørreskjema om hvordan personopplysninger skal behandles, jf. personopplysningsloven § 15. For råd om hva databehandleravtalen bør inneholde, se Datatilsynets veileder:

<https://www.datatilsynet.no/regelverk-ogskjema/veiledere/databehandleravtale/?id=7361>

Prosjektslutt er oppgitt til 01.01.2033. Det fremgår av meldeskjema/informasjonskriv at du vil anonymisere datamaterialet ved prosjektslutt. Anonymisering innebærer vanligvis å:

- slette direkte identifiserbare opplysninger som navn, fødselsnummer, koblingsnøkkel
- slette eller omskrive/gruppere indirekte identifiserbare opplysninger som bosted/arbeidssted, alder, kjønn

- slette eller sladde bilde- og videoopptak.

For en utdypende beskrivelse av anonymisering av personopplysninger, se Datatilsynets veileder: <https://www.datatilsynet.no/globalassets/global/regelverk-skjema/veiledere/anonymisering-veileder-041115.pdf>