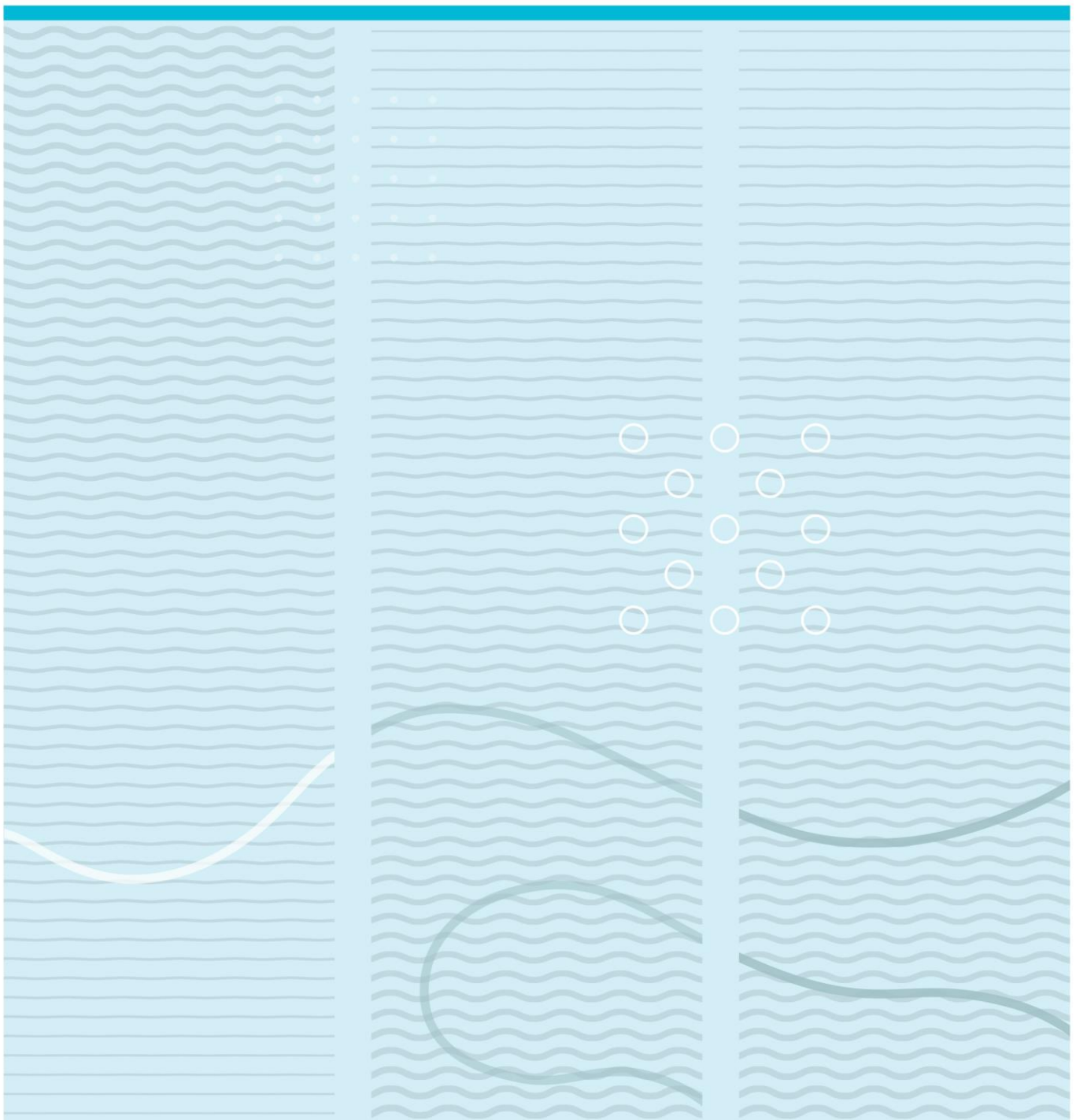


Kiarash S. Athari

Styrketrening med Cardioacceleration forbedrer VO_{2max} og 1RM.



Høgskolen i Sørøst-Norge
Fakultet for allmennvitenskapelige fag
Institutt for idretts- og friluftslivsfag
Postboks 235
3603 Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2017 Kiarash S. Athari

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

Abstract

Formål: Hensikten var å undersøke effekten av styrketrening med cardioacceleration på VO_{2max} og 1RM. Hypotese I er at 6 ukers styrketrening med cardioacceleration kan bedre VO_{2max} hos unge menn med erfaring innenfor styrketrening. Hypotese II er at deltagerne kan øke 1RM selv ved implementert cardioacceleration.

Metode: Studien var RCT med 18 treningsøkter i en periode på 6 uker. Intervensjonen besto av en intervensjonsgruppe og en kontrollgruppe. Intervensjonsgruppen utførte styrketrening med cardioacceleration, mens kontrollgruppen kun utførte styrketreningen. Intervensjonens populasjon var unge menn på 19-30 år med minimum 2 års erfaring innen styrketrening, og ingen erfaring med systematisk utholdenhetstrening det siste året. Inklusjonskriteriene var en relativ styrke på minimum 1,6 i knebøy og 1,2 i benkpress. Kravet for godkjent VO_{2max} baseline lå på $<4,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Resultat: Intervensjonsgruppen økte VO_{2max} i $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ med 4,1%, kontrollgruppen viste ingen endringer. Intervensjonsgruppen hadde signifikant større endringer sammenlignet med kontrollgruppen, ($P<0.001$). Kontrollgruppen økte 1RM i knebøy med 4%, som var signifikant høyere sammenlignet med intervensjonsgruppens 2,2%, ($P<0.05$). Intervensjonsgruppen økte 1RM i benkpress med 2,8%, mens kontrollgruppen økte 1RM i benkpress med 3,1%, med ingen signifikant forskjell mellom gruppene.

Konklusjon: Intervensjonsgruppen økte både VO_{2max} , 1RM i benkpress og knebøy med implementering av CA i styrketrening gjennom 6 uker. Kontrollgruppen viste ingen endringer i VO_{2max} , og hadde en høyere økning av 1RM i knebøy sammenlignet med intervensjonsgruppen, med ingen signifikant forskjell mellom gruppens endringer i benkpress.

Ordliste

ATP - adenosintrifosfat

CA - Cardioacceleration

CP - kreatinfosfat

CT – Concurrent training

FFM - fettfri masse

H_b - hemoglobin

HF – hjertefrekvens

HF_{max} – maksimal hjertefrekvens

HIIT – Høy-intensiv intervalltrening

LT – laktatterskel

MBI – body mass index

MET – metabolic equivalent

MV – minuttvolum

O₂ – oksygen

RER – respiratorisk utvekslingsratio

ROM – Range of motion

SV – slagvolum

VO_{2max} – maksimalt oksygenopptak

1RM – 1 repetisjon maksimum

Innhold	
Abstract	3
Ordliste	4
1.0. Introduksjon	7
1.1. Bakgrunn for studien	7
1.2. Avgrensning av oppgaven.....	8
1.3. Problemstilling.....	8
2.0. Teori	9
2.1. Styrketrening	9
2.1.1. Fysiologiske faktorer for kraftutvikling.....	9
2.1.2. Fysiologiske tilpasninger ved styrketrening	11
2.1.3. Treningsmotstand, treningsvolum og treningsfrekvens	12
2.2. Utholdenhetstrening.....	13
2.2.1. Aerob utholdenhet	13
2.2.2. HIIT (Høy-intensiv intervall trening).....	15
2.2.3. Tilbud & etterspørsel.....	16
2.2.4. Fysiologiske tilpasninger ved utholdenhetstrening	18
2.3. Concurrent Training (CT)	19
2.3.1. Konkurrerende tilpasninger	19
2.3.2. Implementering av CA.....	21
3.0 Metode	22
3.1. Utvalg	22
3.2. Design	23
3.2.1. Test Protokoll for VO _{2max} og 1RM.....	23
3.2.2. Treningsprotokoll	24
3.3. Etske aspekter	24
3.4. Rammer for inklusjon.....	25
3.5. Statistisk behandling av data	25
4.0. Resultat	26
5. Diskusjon	28
5.1. Diskusjon av resultater.....	28
5.1.1. VO _{2max}	28

5.1.2. 1RM	29
5.1.3. VO _{2max} & 1RM fra CT.....	30
5.2. Diskusjon av metode.....	31
5.2.1. Styrketrening.....	31
5.2.2. Aerob kapasitet.....	32
5.2.3. Implementering av CA.....	34
5.3. Ernæring.....	38
5.4. Utvalg.....	39
5.5. Styrker og svakheter	40
5.5.1. Styrker.....	40
5.5.2. Svakheter	40
5.6. Praktiske implikasjoner.....	41
5.7. Videre forskning.....	41
6.0. Konklusjon.....	43
7.0. Referanseliste.....	44
8.0. Vedlegg	63

1.0. Introduksjon

1.1. Bakgrunn for studien

De fysiologiske effektene fysisk aktivitet medbringer har i dag gjennom studier dannet et godt grunnlag (Folland & Williams, 2007). For å oppnå disse ulike formålene er treningen bestemt av spesifiseringsprinsippet, altså hva slags fysisk aktivitet kroppen påføres (Glowacki et al., 2004). Styrketrening medfører tilpasninger som økt maksimal styrke, eksplosivitet, muskulær hypertrofi, imens utholdenhetstrening blant annet øker muskulaturens oksidative kapasitet (Milanovic et al., 2015).

Både styrke- og utholdenhetstrening blir utført av mange i håp om å oppnå disse ulike treningstilpasningene (Shaw et al., 2009), der en metode har vært å kombinere de to treningsformene sammen i et treningsregime (Wilson et al., 2012). Flere studier har beskrevet et slikt treningsregime som «Concurrent Training» (CT) (Souza et al., 2013). American College of Sports Medicine fremmer CT i sine anbefalinger ved å både kombinere styrke- og utholdenhetstrening for å forbedre generell helse (Garber et al., 2011; Murach & Bagley, 2016). Denne treningsformen blir også implementert av profesjonelle trenere og atleter for forbedret idrettsprestasjon (Cantrell et al., 2014), ettersom at flere idretter som ishockey, basketball og kampsport også stiller høyere krav til prestasjon i både muskulær styrke og aerob utholdenhet (Wilson et al., 2012; de Araujo et al., 2014; James et al., 2016).

En negativ faktor ved kombinerings av styrketrening og utholdenhetstrening, er at de ulike treningstilpasningene også kan ha en hemmende effekt på hverandre (Balabinis et al., 2003; Wilson et al., 2012). Mange publiserte artikler har definert denne motvirkende effekten som «The Interference Phenomenon» (Glowacki et al., 2004). Hickson (1980) publiserte den første eksperimentelle studien om CT, med funn om en såkalt motvirkende effekt ved at utholdenhetstreningen hemmet optimal økning i maksimal styrke. Til dags dato er det usikkerhet rundt optimalisering av CT, i tillegg til hvilke spesifikke mekanismer som forårsaker denne hemmende effekten. Studier har til dags dato funnet varierende data med treningsformens effekt på variabler som maksimal styrke, hypertrofisk effekt og aerob utholdenhet, med såkalt synergisk til hemmende effekt (Hakkinen et al., 2003; Baar, 2006; Davis et al., 2008a). Til dags dato er det i tillegg lite

forskning på hva slags effekt en samtidig utføring av styrke- og utholdenhetstrening har på VO_{2max} og 1RM. Det er funnet kun to studier som har utforsket hva slags muskulære tilpasninger som oppnås når styrketrening kombineres med Cardioacceleration (CA) (Davis, (2008a/2008b)).

1.2. Avgrensning av oppgaven

Fokuset i denne intervensjonen er å utforske hypotesen på styrkeerfarne individer som ikke er høylig sensitiv til all type styrketrening de påføres. Det vil dermed være mer praktisk å utforske om styrkeerfarne individer fortsatt kan øke maksimal styrke når de samtidig påføres utholdenhetstrening. Utvalget i denne studien ble avgrenset til unge menn i alderen mellom 19-30år, som i tillegg hadde minimalt 2 års erfaring med styrketrening og ingen systematisk utholdenhetstrening det siste året. Av begrenset kapasitet ble denne hypotesen kun utforsket på variablene VO_{2max} og 1RM.

1.3. Problemstilling

Formålet med denne intervensjonen var å undersøke effekten av styrketrening med Cardioacceleration på VO_{2max} og 1RM. Hypotese I er at 6 ukers styrketrening med Cardioacceleration bedrer VO_{2max} hos unge menn med styrketreningserfaring. Hypotese II er at deltagerne fortsatt kunne øke 1RM selv ved implementert Cardioacceleration.

2.0. Teori

2.1. Styrketrening

Teorikapittelet tar utgangspunkt i fokus på hvilke fysiologiske faktorer som er avgjørende for muskulær kraftutvikling, og deretter hvilke fysiologiske tilpasninger som oppstår under styrketrening med hovedfokus på maksimal styrke.

2.1.1. Fysiologiske faktorer for kraftutvikling

Den maksimale kraften en muskel eller muskelgruppe evner å utvikle i en bevegelse med riktig teknikk, beregnes som maksimal styrke (Seo et al., 2012). Innenfor styrketrening blir den maksimale styrken oftest målt som 1RM, forkortelsen for «1 repetisjon maksimum» (Buckner et al., 2016). 1RM testing blir oftest beskrevet som gullstandarden for testing av maksimal muskelstyrke, mens andre metoder som testing av lavere ekstern belastning mot 10RM også har blitt benyttet, for så å regne ut en estimert 1RM (Reynolds, 2006). Testing av 1RM i benkpress og knebøy som blir benyttet i denne studien har vist å være to øvelser som gir reliable målinger (Seo et al., 2012).

Muskelens arkitektur som senefeste, utspringsfeste, antall sarkomerer og sammensetning av muskelfibre påvirker evnen til maksimal kraftutvikling (Folland & Williams, 2007; Narici et al., 2016). Evnen til høyest mulig kraftproduksjon, avhenger spesielt i stor grad av muskelens tverrsnitts-areal (Goldspink, 1985; Bandy et al., 1990; Aagaard et al., 2001; Hoff & Helgerud, 2004). Muskelmassen har evnen til å generere en kraft på 16-30 Newton per cm² av tverrsnitts-areale, og evnen til maksimal kraftgenerering øker i takt med økning i muskelens tverrsnitts-areal (Goldspink, 1985; Komi, 1986).

For maksimal kraftproduksjon må muskelen kontrahere raskest mulig, noe som avhenger av myosin- og aktinfilamentenes evne til å overlape hverandre (Goldspink, 1985; Fitts & Widrick, 1996; Huxley, 2000b). Når muskelen strekkes fører det til at filamentene også er strukket lengre fra hverandre, noe som reduserer muskelens evne for maksimal overlapping og kraftproduksjon (Huxley, 2000a). For optimal overlapping er filamentene avhengig av kalsium (Ca²⁺) tilførselen som transporteres fra sarkoplasmatiske retikulum til myosinhodet, som aktiverer overlapping og skaper muskelkontraksjon (Westerblad et al., 1991; Allen et al., 2008). Mengden av Ca²⁺ som frigjøres fra sarkoplasmatiske

retikulum avhenger av aksjonspotensialets hyppighet, og høyere hyppighet fører til høyere konsentrasjon av Ca^{2+} i cytoplasma samt større muskelkontraksjon (Allen et al., 2008).

Skjelettmuskulaturen er hovedsakelig sammensatt ved tre ulike hovedgrupper av muskelfibertyper; Type-I fibre, type-IIA fibre og type-IIX fibre (Smerdu et al., 1994). Muskelens inndeling i type-I, type-IIA eller type-IIX bestemmes av 3 isoformer av myosin heavy chain (MHC), som da definerer fibernes kontraktile egenskaper (Goldspink, 1985; Andersen & Aagaard, 2000; Folland & Williams, 2007). Sammensetningen av de 3 fibertypene avgjør dermed muskelens evne til maksimal kraftproduksjon ettersom at type-I fibre er langsomme og mer utholdende, mens Type-IIA og IIX er mindre utholdende men raskere (Pette & Staron, 2001; Allen et al., 2008). Naturligvis vil et forhold av høyere innhold type-IIA og type-IIX fibre dermed ha større potensial til høyere kraftutvikling, sammenlignet med høyere innhold av type-I fibre (Bandy et al., 1990).

Prosessen for maksimal muskelaktivering begynner i nervesystemet, som gjør aktiveringen av motoriske enheter en viktig faktor for muskelens evne til maksimal kraftproduksjon (Hoff & Helgerud, 2004). En motorisk enhet er en nervecelle som er knyttet til bestemte fibre i en muskel, der en enkelt nevron kan koble seg til flere muskelfibre og helt opp til 2000-3000 muskelfibre ved aktivering av store muskelgrupper (Sale, 1987; Bandy et al., 1990; Enoka & Fuglevand, 2001). Alle muskelfibre i en motorisk enhet har samme kontraktile egenskaper, mens fibertypen varierer mellom de ulike motoriske enhetene (Sand et al., 2011, s. 266).

Når en motorisk enhet aktiveres frigjøres aksjonspotensial, med innhold av acetylcholine, gjennom neuronene som aktiverer muskulaturen. Aksjonspotensialets fyringsfrekvens i enheten påvirker musklens evne til raskere kontraksjon og kraftproduksjon, og denne prosessen kalles «force-frequency relationship» (Enoka & Fuglevand, 2001; Allen et al., 2008). Muskelen øker dermed hastigheten på muskelkontraksjonen når fyringsfrekvensen øker, noe som gjør det avgjørende å aktivere alle tilgjengelige enheter samt økning i fyringsfrekvens for maksimal kraftutvikling (Enoka & Fuglevand, 2001; Kraemer & Ratamess, 2004; Crewther et al., 2005; Schoenfeld et al., 2015b).

Styrketrening som utføres med høy belastning øker muskelens krav for ATP-CP (Adenosin Trifosfat-Kreatinfosfat) fra det anaerobe energisystemet (Kraemer & Ratamess, 2004). Skjelettmuskulaturens innhold av ATP-CP reduseres betydelig under høyintensive arbeidsperioder, ettersom det kun eksisterer en begrenset mengde i muskulaturen (Allen et al., 2008; Fiedler et al., 2016). Som en følge av et begrenset innhold, må den tilgjengelige ATP mengden kontinuerlig omdannes ved at den anaerobe splittingen tilfører et fosfat direkte til ATP omdannelsen. Dette fører til at den anaerobe splittingen av kreatinfosfat er en direkte energikilde til ATP omdanningen (Huxley, 2000a; Fiedler et al., 2016).

2.1.2. Fysiologiske tilpasninger ved styrketrening

Under styrketrening påføres muskulaturen et mekanisk drag og metabolsk stress som fører til at myofibrillenes volum og lengde i muskelfiberne øker, og signaliseringen av denne anabolske prosessen kalles for hypertrofi (Komi, 1986; Goldspink, 1985; Bandy et al., 1990; Schoenfeld et al., 2015a). Styrketrening påvirker muskelfiberforholdet mellom type-II og type-IIX, med at type-IIX fibre produserer myosin i form av Type-IIA i stedet for type-IIX (Fitts & Widrick, 1996; Andersen & Aagaard, 2000; Campos et al., 2002). Det fører til at Type-IIX fibre i muskulaturen reduseres mens type-IIA øker (Campos et al., 2002; Folland & Williams, 2007; Fitts & Widrick, 1996; Pette & Staron, 2001). I tillegg har type-IIA fibre større vekstpotensial i volum enn type-I fibre (Campos et al., 2002; Hakkinen et al., 1985; Hoff & Helgerud, 2004).

Rekruttering og aktivering av motoriske enheter følger et rekrutteringshierarki ved at muskelen kun aktiverer antall motoriske enheter som er nødvendig under et arbeid (Sale, 1987). Ved lavt muskellarbeid aktiveres de få nødvendige motoriske enhetene, mens flere motoriske enheter aktiveres når muskellarbeidet øker (Sale, 1987). I rekrutteringshierarkiet blir Type-I fibre aktivert først ved lav kraftproduksjon, når belastningen og kraftproduksjon øker blir flere type-II fibre aktivert, med størst andel av type-II fiber aktivering ved høy belastning og kraftproduksjon (Sale, 1987; Hoff & Helgerud, 2004). Muskelen aktiverer alle de nødvendige motoriske høyterskelenhetene når den jobber opp mot 80% av 1RM, mens hyppigheten av aksjonspotensialet øker når belastningen overstiger 80% av 1RM (Crewther et al., 2005). For optimal treningstilpasning i nervesystemet og maksimal styrke er det fundamentalt med maksimal

aktivering av motoriske enheter, som følge at kun de aktiverte motoriske enhetene som utvikler kraft også adapterer og utvikler seg (Hamada et al., 2000).

Nevrale tilpasninger fører også til forbedret evne til å kontrollere musklene bedre under arbeid, spesielt gjeldende under flerledds øvelser som stiller krav til kompleks nevralt tilpasning, samt god koordinasjon og teknikkutførelse (Folland & Williams, 2007; Kraemer & Ratamess, 2004). Når kroppen effektivt samordner agonister, synergister og antagonist under komplekse bevegelser, fører det til at kroppen kan arbeide under et høyere ekstern belastning (Hoff & Helgerud, 2004). Muskelens økning i maksimal styrke som følge av nevralt tilpasning, og kraftutvikling avhenger også i hvilket "Range of motion" (ROM) muskelen arbeider i, som beskriver muskelens kontraksjonslengde (Kraemer & Ratamess, 2004/Bloomquist et al., 2013). Når muskelen kun arbeider til halvparten av sin maksimale ROM, utvikles mesteparten av styrken kun i denne bestemte kontraksjonslengden. Den samme tilpasningen vil ikke eksistere når muskelen jobber ved maksimal ROM (Bloomquist et al., 2013). Muskelarbeid gjennom en bredere kontraksjonslengde fører til høyere mekanisk drag og forbedret nevro-muskulær adaptasjon (Zajac et al., 2015).

2.1.3. Treningsmotstand, treningsvolum og treningsfrekvens

Individ med lengre erfaring innen styrketrening trenger en mer spesifisert treningsprotokoll for å kunne optimalt øke 1RM, som følge av at de er mindre sensitive til hva slags type stimulering muskulaturen påføres (Rhea et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2004; Crewter et al., 2005). Den maksimale styrken en oppnår ved styrketrening avhenger i stor grad av treningsbelastningen, treningsfrekvensen og treningsvolum (Izquierdo-Gabarren et al., 2010). Under styrketrening beskrives treningsmotstanden som den belastningen muskelen tilføres og motarbeider (Kraemer & Ratamess, 2004). For erfarne individer er det viktig å trene med høy motstand på 80-100% av 1RM som da skaper høy spenning i den arbeidende muskulaturen, for å kunne øke 1RM og videre rekruttere motoriske høyterskelenheter (Mazzetti et al., 2000; Rhea et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2004; Kraemer & Ratamess, 2004; Crewther et al., 2005). Treningsvolum beskriver mengden stimulering som påføres muskelen under en økt, som følge av antall serier og repetisjoner, mens treningsfrekvens beskriver hvor ofte en trener den samme muskelen eller muskelgruppen (Kramer & Ratamess, 2004; Peterson et al., 2004; Peterson et al,

2005). Antall repetisjoner med hovedfokus på økning i 1RM ha vist å være mest effektiv rundt 5RM (Mangine et al., 2015). Antall serier ligger på 3-8 for hver muskelgruppe (Berger, 1961a; Berger, 1961b; Peterson et al., 2004; Peterson et al., 2005). Godt trente individer kan trenge et høyere treningsfrekvens for effektiv stimulering av hver muskelgruppe, der en treningsfrekvens på rundt 2 økter per muskelgruppe i uken kan bidra til optimal økning i 1RM (Rhea et al., 2003; Peterson et al., 2004; Peterson et al., 2005).

Tabell 1: Framgang som er oppnådd i 1RM gjennom ulike studier basert på styrketrening.

<i>Studie</i>	<i>Intervensjon</i>	<i>Populasjon</i>	<i>Økter/uke</i>	<i>Ekstern belastning (Serier x repetisjoner)</i>	<i>1RM Δ% (kg)</i>
Nicholson et al., 2016	styrke	Trente menn	2/6	4x 6RM	↑ 12,6% Knebøy
Gonzalez-Badillo et al., 2005	styrke	Junior styrkeløftere	4-5/10	2-3x 2-5RM	↑ 4,2% knebøy
Gonzalez-Badillo et al., 2005	styrke	Junior styrkeløftere	4-5/10	2-3x 1-6RM	↑ 4,6% knebøy
Mangine et al., 2015	styrke	Trente menn	2/8	4x 3-5RM	↑ 13,7% benkpress

Verdiene presenterer endringer fra pre- og posttest test med Δ = differanse mellom pre- og posttest.

2.2. Utholdenhetstrening

Videre tar teorikapittelet for seg utholdenhetstrening og fysiologiske faktorer som er avgjørende for aerob kapasitet, etterfulgt med hvilke av disse faktorene som tilpasser seg ved trening.

2.2.1. Aerob utholdenhet

Aerob utholdenhet blir som oftest beskrevet synonymt med fysisk arbeid over lenger tid (Chandler, 1994), og den påvirkes av tre bestemmende faktorer; VO_{2max} , laktat terskel (LT) og arbeidsøkonomi (C) (Helgerud et al., 2007). VO_{2max} er kroppens maksimale evne til å omsette oksygen (O_2) over en bestemt periode eller tidsenhet, og blir oftest fremvist som $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ eller $L \cdot min^{-1}$ (Helgerud et al., 2007; Bouchard et al., 2011). Innenfor dagens forskning beregnes VO_{2max} som gullstandarden for testing og måling av aerob kapasitet (Bouchard et al., 2011). Tidligere forskning har også avdekket at VO_{2max} er korrelert til generelle helsetilstand, og ofte brukt som en sterk prediktor for hjerte-karsykdommer og dødelighet (Bouchard et al., 2011; Scribbans et al., 2016). Økning i

VO_{2max} med 1 MET (metabolic equivalent ($3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)) øker sjansen for å overleve med 10-25% (Scribbans et al., 2016; Astorino et al., 2017). Høyere nivå av VO_{2max} og kontinuerlig opprettholdelse er også beskyttende mot ulike helseutfordringer (Bacon et al., 2013; Milanovic et al., 2015). For optimal helsetilstand er det dermed avgjørende å både trene utholdenhet i tillegg til styrketrening.

VO_{2max} blir begrenset av hjertets minuttvolum (MV) som er en kombinasjon av slagvolum (SV) og hjertefrekvens (HF), samt perifer oksygentilførsel og transporter når kroppen trener ved maksimal intensitet (Wagner, 1996; Helgerud et al., 2007; Bacon et al., 2013). Graden av begrensningen MV har på VO_{2max} , estimeres å være på 70-85% (Basset & Howley, 2000). Hos godt aerob trente individer stagnerer HF ved maksimalt arbeid mens SV fortsetter å stige til VO_{2max} er oppnådd (Zhou et al., 2001; Helgerud et al., 2007). Hos nybegynnere eller moderat trente så stagnerer SV ved 50% av VO_{2max} mens HF fortsetter å stige til makspuls (Helgerud et al., 2007).

VO_{2max} testes med ulike måleparametere og utsyr, mens noen testprotokoller viser å ha høyere reliabilitet og validitet enn andre. Den vanligste metoden som har vist å ha høyest reliabilitet er VO_{2max} test på tredemølle med motbakke, mens antatt VO_{2max} på step-kasse, ergometersyssel eller Cooper test har vist å ha lavere reliabilitet (Keren et al., 1980/Grant et al., 1995). Høyere HF_{max} verdier har også vist å bli oppnådd på tredemølle med motbakke, sammenlignet med stepkasse og ergometersyssel (Keren et al., 1980).

Laktatterskelen (LT) er grensen mellom når muskelens produksjon av laktat ved en viss treningsintensitet er lik eliminasjonen, og når produksjonen overstiger eliminasjonen så øker konsentrasjonen av blodlaktat (La^-) i blodet (Støren et al., 2014). Forskning viser også at LT er knyttet til forholdet av muskelfibertype i muskulaturen som forklarer at LT i VO_{2max} muligens er genetisk og ikke påvirkes av trening (Støren et al., 2014). LT ved VO_{2max} viser seg å være høyere hos eliteutøvere sammenlignet med individer som er utrente eller moderat trente (Støren et al., 2013).

Arbeidsøkonomi (C) beskriver forholdet mellom kroppens oksygenforbruk ved en gitt arbeidsintensitet, altså den mengden energi kroppen må forbruke for å utføre et visst mekanisk arbeid (Bassett & Howley, 2000; Sunde et al., 2009). C påvirkes av flere faktorer som muskulære og nevralferdigheter i tillegg til muskelens elastiske energi

(Helgerud et al., 2007). En forbedret C reduserer mengden av kjemisk energi som kreves for å utføre det mekaniske arbeidet.

2.2.2. HIIT (Høy-intensiv intervall trening)

55-60% av HF_{max} har vist å være den laveste intensiteten under fysisk aktivitet for forbedringer i VO_{2max} for utrente individer (Helgerud et al., 2007), mens individer med høyere VO_{2max} bør trene på en høyere intensitet for å oppnå forbedringer i VO_{2max} (Helgerud et al., 2007). For å forbedre aerob kapasitet er det anbefalt av ACSM å utføre høy-intensiv utholdenhetstrening 3 ganger i uken for å tilfredstille anbefalt ukentlig volum av utholdenhetstrening (Garber et al., 2011). Ved utholdenhetstrening blir treningsvolumet oftest beskrevet som øktens varighet kombinert med treningsfrekvensen (Wilson et al., 2012). High-intensity interval training som forkortes til HIIT har vist å være en effektiv metode for forbedring av helsen og spesifikt VO_{2max} (Helgerud et al., 2007; Roxburgh et al., 2014; Menz et al., 2015; Wood et al. 2016), som følge av treningsformens effektivitet på kort arbeidstid (Foster et al., 2015).

Flere studier har også vist at HIIT er mer effektiv enn moderat intensitet for å øke VO_{2max} både hos trente og inaktive (Menz et al., 2015; Milanovic et al., 2015), ettersom at HIIT legger mer stress på maksimale kapasiteten til SV, samt forbedrer både aerob og anaerob utholdenhet (Østerås et al., 2005; Milanovic et al., 2015). Tradisjonell utholdenhetstrening som varer over lenger tid viser å aktivere stort sett type I muskelfibre, som er de mest utholdende fiberne i muskulaturen (Booth et al., 2015). HIIT bidrar til høyere aktivering av motoriske høyterskelenheter som type-II fibre, og øker den metabolske evnen til disse fiberne som ligger høyere i rekrutteringshierarkiet (Gibala & Jones, 2013). Rekrutteringen av motoriske enheter i utholdenhetstrening forholder seg også til intensitetsnivå, med høyere aktivering av type-II fibre under HIIT sammenlignet med lavere aktivering ved redusert intensitet (MacInnis & Gibala, 2016).

HIIT består vanligvis av korte til lange drag på nærmaksimal til supramaksimal intensitet (85-95% av HF_{max}) med korte aktive pauser mellom arbeidsperiodene (Billat, 2001; Østerås et al., 2005; Menz et al., 2015). Et populært HIIT protokoll brukt i flere studier er 4x4 metoden, som består av 4 gjentakende arbeidsperioder på 4 minutter med 85-95% av HF_{max} etterfulgt av en 3-4 minutters aktiv hvileperiode på 60-70% av HF_{max} (Helgerud

et al., 2007; Menz et al., 2015). Formen for HIIT som brukes i denne intervensjonen beskrives som Cardioacceleration (CA) med arbeidsperiode på 30-60sek i nærmaksimalt til supramaksimalt intensitetsnivå (85-95% HF_{max}) (Davis et al., 2008a; Davis et al., 2008b; Stoppioni, 2015, s. 270; Wood et al., 2016). Med CA kan en implementere 20-30min med HIIT inn i styrketreningsøkten, i samme tidslengde med andre HIIT protokoller som har en varighet på omtrent 20-30 minutter (Gibala & Jones, 2013; Wood et al., 2016).

2.2.3. Tilbud & etterspørsel

Suppleringen av O_2 til muskulaturen følger en transporteringskjede med sentrale og perifere faktorer som påvirker evnen til optimal transportering, blant annet diffusjonskapasitet, MV, blodets evne til O_2 transportering og musklens evne til å motta oksygenet (Wagner, 1996; Basset & Howley, 2000). Under vanlige forhold når kroppen ikke er utsatt for fysiologiske begrensninger som diverse sykdommer, er det enkelt for kroppen å mette det arterielle blodet med O_2 (Basset & Howley, 2000). Den arterielle gassdiffusjonen viser seg å bli negativt påvirket ved signifikant høyde over havnivå og hos godt utholdenhetstrete individer med høy MV (Wagner, 1995; Basset & Howley, 2000).

Etter inspirasjon av luft fra lungene til alveolene diffunderer oksygenmolekylene gjennom kapillærer som dekker alveolene, og binder seg til hemoglobinet (H_b) i de røde blodcellene etter diffusjonen gjennom den tynne alveolemembranen (Wagner, 1995; Wagner, 1996). H_b har med sine 4 jerngrupper, kapasiteten til å transportere 4 oksygenmolekyler gjennom arterieblodet (Wagner, 1995; Richardson & Swietach, 2016). Når H_b transporterer og avløser oksygenmolekylene gjennom cytoplasma, tar H_b opp karbondioksidmolekyler fra muskulaturen som transporteres videre gjennom den venøse blodstrømmingen mot lungene (Richardson & Swietach, 2016). H_b -konsentrasjonen i blodet har vist å være viktig for oksygentransporteringen, og når H_b nivåene i blodet øker, vil transporteringskapasiteten av O_2 også øke (Wagner, 1996; Menz, 2015). Tidligere forskning har også vist en signifikant økning i aerob prestasjon og VO_{2max} , ved kunstig økning i H_b konsentrasjon gjennom infusjon av røde blodceller (Coyle, 1999).

Oksygenmolekylene diffunderer videre gjennom muskelens kapillærer og blir oksidert av mitokondrier som dekker muskulaturen (Wagner, 1996). Mitokondrietettheten som kan

utgjøre 4-7% av muskelvolumet, beskrives som musklens kraftkjerner og omdanner karbohydrater og fett til ATP ved tilførsel av O₂ (Coyle, 1999; Eynon et al., 2011; Booth et al., 2015; Lundby & Jacobs, 2016).

Hjertet står i sentrum for blodstrømning i kroppen, og hjertets MV er en bestemmende faktor for hvor mye oksygenmettet blod som pumpes gjennom hjertets ventrikler (Basset & Howley, 2000). En tidligere studie på hunder har vist at hjertets perikardium er en signifikant begrensende faktor, som følge av at både hjertets minuttvolum og VO_{2max} økte signifikant når hjertets perikardium ble fjernet (Levine, 2008). Det viser seg at begrensingen av O₂ opptak kan ligge primært i sentrale faktorer og ikke perifere. Mitokondrienes O₂ opptak viser seg å ikke være begrenset av O₂ tilførselen fra sentrale faktorer som MV og O₂ transporteringen (Basset & Howley, 2000). Fullkroppsarbeid reduserer den totale oksygentransporteringen til hver enkelt arbeidende muskel som følge av begrensninger i MV i tillegg til å transportere metabolske avfallsstoffer (Secher & Volianitis, 2006; Booth et al., 2015). Ved enkeltledds arbeid vises det en tilstrekkelig tilførsel av O₂ til muskulaturen i det arbeidende leddet (Secher & Volianitis, 2006). Ved inkludering av flere ledd eller fullkroppsarbeid med økt arbeidsintensitet, reduseres den totale O₂ tilførselen når kroppen fordeler O₂ til alle arbeidende muskler (Secher & Volianitis, 2006).

Tidligere forskning har vist at total blodtilførsel i arbeidene bein ikke ble redusert når armene arbeidet på en lavere intensitet, men når intensiteten økte i armene førte det til ca. 10% reduksjon i blodtrykket til beina (Secher & Volianitis, 2006). Det antydes til at O₂ begrensningen derfor ligger i hjertets kapasitet til å transportere oksygenmettet blod til musklene (Saltin, 1985). Under en jevn arbeidsintensitet kan et stabilt O₂ forbruk oppnås etter omtrent 3 minutter, mens kravet til O₂ tilførsel stiger ved økning i intensitet og forlenget arbeidsperiode (Gosselin et al., 2012).

De første minuttene under en treningsøkt tar vanligvis i bruk av anaerob energiomsetning, ved hurtig nedbryting av ATP, CP og glykogen (Gosselin et al., 2013). Over lengre perioder øker kravet for aerob energiomsetning og økt O₂ tilførsel (Gosselin et al., 2012). Type-I fibre har mindre kapasitet for lagret CP enn motoriske høyterskelenheter som type-II fibre, men større grad av kapillærtetthet og arteriell elastisitet som gir økt blodtilførsel (Booth et al., 2015; Christensen et al., 2016). Det

medfører hurtigere utmattelse under aerob trening hos muskulatur med større andel av type-II fibre (Astorino et al., 2012).

2.2.4. Fysiologiske tilpasninger ved utholdenhetstrening

Aerob trening fører til forbedring i kroppens sentrale og perifere transporteringskomponenter i den metabolske tilpasningen, som økt mitokondrie tetthet, økt kapillærtetthet, økning i oksidative enzymer og muskelens oksidative kapasitet (Bacon et al., 2013; Gibala & Jones, 2013; Wang et al., 2013; Bækkerud et al., 2016). Utholdenhetstrening stimulerer til økning i hjertets diastolske trykk, samt øker hjertets evne til å pumpe mer blod gjennom ventriklene, som fører til økt blodstrømning og oksygentilførsel til arbeidende muskler (Booth et al., 2015; Ramos et al., 2015). Forbedringer i VO_{2max} som følge av kun SV alene kan allerede forekomme 1 uke etter starten på et treningsregime (MacInnis & Gibala, 2016). Når blodstrømningens hastighet gjennom årene og kapillærene øker, kan det føre til redusert transittid i kapillærblodet, dette kan hemme optimal gassdiffusjon. Økning i muskelkapillærtetthet og alveolkapillærtetthet opprettholder diffusjonens transitt-tid for optimal gassdiffusjon (Wagner, 1996; Coyle, 1999; Richardson & Swietach, 2016).

Økt mitokondrietetthet fører til redusert karbohydrat-oksidering og erstattes med økning i fett-oksidering, som øker laktatterskelen, slik at en kan trene lengre ved en høy intensitet (MacInnis & Gibala, 2016). Mitokondrietettheten har vist å oppnå høyere økning ved høyere intensitetsnivå, samt en raskere økning hos individer med lavere aerob kapasitet (Christensen et al., 2016; MacInnis & Gibala, 2016). På en annen side har økningen i mitokondrietettheten vist seg å kunne stagnere etter allerede 5 treningsdager når intensitetssonen er lik gjennom alle øktene (MacInnis & Gibala, 2016).

Tabell 2: Framgang som er oppnådd i VO_{2max} fra utholdenhetsstudier

Studie	Intervensjon	Populasjon	Økter/uker	Treningsform (serier x min)	%HF max	Δ %
Helgerud et al., 2007	HAIT	friske menn	3/8	4x4	90-95	↑ 7,2
Helgerud et al., 2007	HAIT	friske menn	3/8	15x15	90-95	↑ 5,5
Hickson, 1980	HIIT/kont	Aktive menn/kvinner	6/10	6x5min intervaller/ kontinuerlig jogging	nær Vo2max	↑ 19,4
Menz et al., 2015	HIIT	Trente atleter	11 økter på 3 uker	4x4	90-95	↑ 3,5

Verdier presenterer resultater i ulike studier fra pre til post med Δ = differanse fra pre- til post-test i ml·kg⁻¹·min⁻¹

2.3. Concurrent Training (CT)

Her tar teorikapittelet for seg kombinerings av styrke- og utholdenhets trening, med hva slags fysiologiske tilpasninger som oppstår ved CT

2.3.1. Konkurrerende tilpasninger

Ved kombinerings av styrketrening og utholdenhets trening har flere studier vist at CT hemmer optimal økning i maksimal styrke, men fortsatt forbedrer aerob kapasitet (McCarthy et al., 2002; Wilson et al., 2012). Skjelettmuskulaturens vev tilpasser seg ulikt når den enten tilføres styrketrening eller utholdenhets trening (Glowacki et al., 2004). Hypertrofi øker andelen av type-II fibre, glykolytisk enzymer aktivitet og intramuskulær ATP/kreatinfosfat lagre (Balabinis et al., 2003; Glowacki et al., 2004). Utholdenhets trening kan på en annen side kan motvirke optimal hypertrofisk respons i muskelen (Balabinis et al., 2003; Glowacki et al., 2004). Det oksidative stresset som påføres muskulaturen, kan føre til redusering av hypertrofi i Type-I fiberne ettersom kroppen kan tilpasse seg ved å forbedre muskelens oksidative kapasitet fremfor det hypertrofiske (Bell et al., 2000).

Kombinert trening kan også redusere glykogenlagre i musklene til høyere grad sammenlignet med styrketrening eller utholdenhets trening alene, noe som kan redusere evnen til optimal prestasjon (Nader, 2006; Knuiman et al., 2015). Den nevralt tilpasningen under frivillig muskelkontraksjon kan også påføres ulike tilpasninger i de nevralt aktiveringsmønstre som kan inhiberer hverandre (McCarthy et al., 2002; Levertitt

et al., 2003; Wilson et al., 2012). Maksimal nevralt aktivering i korte intervaller oppstår vanligvis under løftene i styrketrening, motsatt til hyppigere men lavere nevralt aktivering under utholdenhetstrening som eksempelvis løping (McCarthy et al., 2002; Levertitt et al., 2003; Wilson et al., 2012). En annen hypotese er at de ulike treningsmetodene innfører to konkurrerende intracellulære prosesser som motvirker hverandre (Hawley, 2009; Souza et al., 2013; Psilander et al., 2015). mTORC1 aktiveres under styrketrening, og har ansvaret for aktivering av proteinsyntesen og volumvekst i cellene. AMPK proteinet aktiveres når energinivåene reduseres under utholdenhetstrening ved å aktivere prosesser som krever ATP. AMPK vil da til en grad inaktivere mTORC1 og redusere hypertrofisk og anabolsk respons (Baar, 2006; Hawley, 2009; de Souza et al., 2012).

Tidligere forskning har vist at kombinert trening med en treningsfrekvens på >3 økter i uken kan redusere den totale økningen som oppnås i maksimal styrke (Jones et al., 2013), som følge av utmattelse i det nevro-muskulære systemet (Izquierdo et al., 2005; Davis et al., 2008a). Det er også vist at utføring av utholdenhetstrening før styrketrening på samme dag påvirker evnen til optimal økning i 1RM (Levertitt et al., 2003). Utmattelse underveis i styrketrening kan forekomme raskere når utholdenhetstrening utføres først, som også påvirker evnen til maksimal kraftproduksjon, og øker sannsynligheten for overtrening (Levertitt et al., 2003). Dette er i kontrast med andre intervensjoner som ikke viser negativ påvirkning når styrketreningsøktene og utholdenhetstreningsøktene utføres på ulike dager (Levertitt et al., 2003). Over en kortere periode antas det at CT ikke har en negativ påvirkning på en allerede trenings påført økning i maksimal styrke, muskelhypertrofi og nevralt aktivering ved tidligere styrketrening (Hakkinen et al., 2003). I tillegg antydes det at en begrensning på 2-3 økter med CT per uke er optimalt for en såkalt synergisk effekt (Izquierdo et al., 2005; Jones et al., 2013), med tidligere studier som har funnet en synergisk effekt i muskulære tilpasninger ved CT (Hakkinen et al., 2003; Davis et al., 2008a).

Noen studier har vist at styrketrening kombinert med utholdenhetstrening kan ha en negativ effekt på økning av VO_{2max} (Bell et al., 2000). Styrketrening alene øker ikke VO_{2max} , som da kan medføre en reduksjon i aerob kapasitet hos friske individer som ikke utfører aerob trening (Allen et al., 1976; Gettman et al., 1978; Hurley et al., 1984; Balabinis et al., 2003). Det er også vist at aerob kapasitet ikke øker til enda større grad hos aerobtrente individer når styrketrening suppleres inn i et utholdenhetstreningsregime,

eller at en økning i aerob kapasitet blir negativt påvirket (Reed et al., 2013; Psilander et al., 2015).

2.3.2. Implementering av CA

Styrketrening alene fører ikke til en jevnlig økt HF over en lengre arbeidsperiode, kun i korte perioder (Davis et al., 2008b). Økt HF med aerob arbeidsperiode før hver styrkeserie fører til akutt økning i SV, og dermed øker O₂ transporterering til arbeidende muskulatur (Davis, 2008b). Suppleringen av næringsstoffer og O₂ øker, samt raskere transporterering av avfallsstoffer fra arbeidende muskulatur (Davis et al., 2008b). Akutt økning i HF (60-84% HF_{max}) gjennom hele styrketreningsøkten har vist å kunne øke muskelrestitusjon underveis i økten (Davis et al., 2008b).

Tabell 3: Framgang som er oppnådd i både VO_{2max} og 1RM i studier som kombinerte styrke- og utholdenhetstrening.

Studie	Populasjon	Økter/uke	Utholdenhetstrening	Styrketrening (Serier x repetisjoner)	%HF max	Vo2max Δ %	1RM Δ %
Cantrell et al., 2014	Aktive menn	2/12	4-6 set med 20s Wingate tester	3x 4-6RM	>90	↑ 3,4	↑ 12,9% benkpress ↑ 29,4% knebøy
Hickson, 1980	Aktive menn/kvinner	6/10	6x5min intervall/kontinuerlig løping i 30 min.	≥80% 1RM, 3-5xRM	Nær Vo2max	↑ 17,7	↑ 22% knebøy
Dolezal & Poteiger, 1998	Aktive menn	3/10	Jogging/løping	3x 4-15RM	65-85	↑ 7	↑ 19% knebøy ↑ 12% benkpress

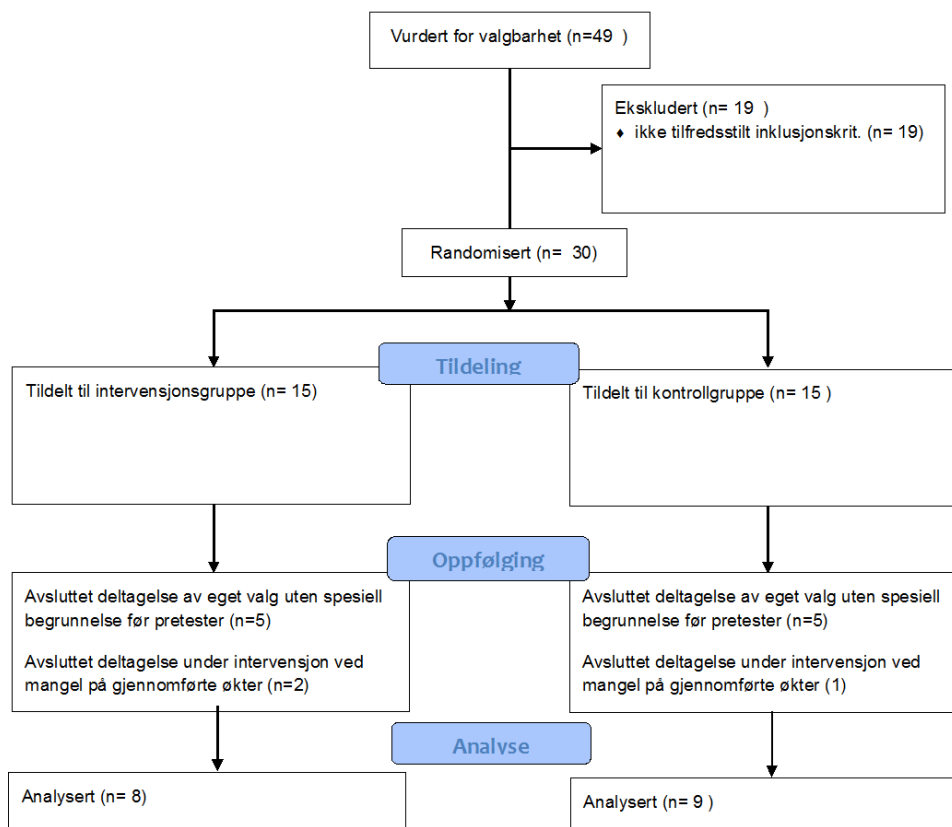
Verdier presenterer resultater i ulike studier fra pre til post med Δ = differanse fra pre- til post-test i ml·kg⁻¹·min⁻¹ og 1RM

3.0 Metode

3.1. Utvalg

Intervensjonens fremgangsmåte var utført i henhold til retningslinjer fra Consort guidelines statement (Concort statement). Utvalget av deltagere fra populasjonen var stratifisert i forhold til kriterier for inkludering i intervensjonen. Intervensjonens populasjon var unge menn mellom 19-30 år med minimum 2 års erfaring med styrketrening, og ingen systematisk utholdenhetstrening det siste året. Minimumskrav for godkjent relativ styrke var på 1,6 i knebøy og 1,2 i benkpress, i likhet med Mangine et al. (2015). Makskravet for godkjent VO_{2max} baseline var $<4,5 L \cdot min^{-1}$. Bruk av dopingspreparater var en klar ekskluderingskriterie. Etter en styrkeberegning var det nødvendig med rekruttering av 15 deltagere i hver gruppe for å oppnå med mulighet for generalisering. Styrkeberegningen på 15 deltagere var også inkludert for mulig forfall av deltagere i studien.

Tabell 4: Fremgangen i rekrutteringsfasen er fremvist gjennom et flyt-diagram (Concort-statement)



3.2. Design

Intervensjonen var en RCT studie med mål om å undersøke den antatte årsaksfaktorens påvirkning på VO_{2max} og 1RM. Intervensjonen besto av en intervensjonsgruppe og en kontrollgruppe. For randomisering ble deltagerne tilfeldig trukket inn i intervensjonsgruppen eller kontrollgruppen ved loddtrekning. Intervensjonsgruppen ble eksponert for den antatte årsaksfaktoren som var CA, mens kontrollgruppen kun utførte styrketreningen. Intervensjonen inneholdt totalt 18 treningsøkter med 3 treningsøkter per uke i en periode på 6 uker, inkludert pre- og posttestene var den totale varigheten for hver deltager på 7 uker. For kvalitetsforbedring av det endelige datamateriale ble det satt kriterier om at kun deltagere som hadde fullført >80% av treningsøktene ble inkludert i den statistiske analysen.

3.2.1. Test Protokoll for VO_{2max} og 1RM

Vo₂max testingen foregikk på tredemølle (Woodway), mens O₂-opptaket ble registrert med (Cortex, Metalyzer II). Etter rolig oppvarming på 10 minutter opp mot 70% HF_{max} fikk deltageren noen minutter med hvile før testen startet. VO_{2max} testen begynte hastigheten på omtrent 8km/h og steg med 0,5km/h etter hvert 30 sekund, med en konstant motbakke på 5% stigning gjennom hele testen. Stigningen i km/h fortsatte til deltageren var utmattet eller signaliserte for å stoppe økningen av hastigheten. Når deltageren nådde utmattelse og testen var avsluttet, ble gjennomsnittet av de tre høyeste registrerte VO_{2max} verdiene satt som VO_{2max} baseline i Pretesten. R-verdien (respiratorisk utvekslingsratio) måtte også være over 1.0 for godkjent test. HF_{max} ble registrert med pulsbelte og pulsklokke (Polar RS100 BLK, US). Hele testprotokollen er fremvist i vedlegg.

Pre- og posttest protokollen for 1RM var identisk og ble utført dagen etter VO_{2max} testen. Testprotokoll for 1RM ble utført med parallel knebøy i smith-maskin etterfulgt av benkpress med fristang. Både knebøy og benkpress hadde samme oppsett med løft på 2x10 reps på 50% av 1RM, 1 rep på 70% av 1RM, 1 rep på 80% av 1RM, 1 rep på 90% av 1RM og 1 rep på 100% av 1RM. På de lettere løftene ble det gitt maks 3 minutters pause mens nærmere 1RM løftene var det anbefalt at deltagerne fullførte 5 minutter. I tilfelle hvor den estimerte 1RM ikke var den virkelige 1RM, ble det gitt pause på 5 minutter før det ble utført et nytt løft med økt eksternt belastning. Hvis 1RM løftet mislyktes, ble det gitt en ekstra mulighet til å løfte samme belastning. Ved enda et

mislykket maksløft ble det forrige godkjente maksløftet satt som baseline verdi i pretest. Posttestene gjennomgikk den samme prosedyren.

3.2.2. Treningsprotokoll

Treningsøktene ble utført på følgende dager; mandag, onsdag og fredag eller tirsdag, torsdag og lørdag. Treningsøkten begynte med 5 minutters oppvarming med jevnlig økning i intensitet opp mot 80% av HF_{max} på enten stepp-kasse eller hoppetau, etterfulgt med treningsprotokollen. Før hver styrkeserie ble det utført 1.0 minutt med CA. CA øvelsene besto av step-up på stepkasse, hoppetau eller løping på plass av for treningsdag 1 og 3, med skyggeboksing, battleropes eller boksesekk for dag 2. CA øvelsene ble utført i forhold til hvilke muskelgrupper som ble utført under styrketreningen, med CA intervaller utført på motsatt kroppsdelt til styrkeøvelsene. Alle deltagere brukte pulsklokke og pulsbelte (Polar RS100 BLK, US) for å registrering av HF. CA intervallene ble gjennomført på 85-95% HF_{max} , mens deltagerne i kontrollgruppen hadde hvileintervaller mellom styrkeseriene. Styrkeseriene ble utført på 5RM, med godkjent løft på minimalt 3RM hvis repetisjonsutvalget på 5RM ikke kunne opprettholdes gjennom seriene. Treningsøktene ble gjennomført på egenhånd. Deltagerne ble kontaktet gjennom intervensjonen for å bekrefte gjennomføringen av treningsøktene. Deltagerne ble også anbefalt å innta sukkerholdig drikke eller måltid etter treningsøktene.

Tabell 5: Visning av implementert styrketreningsprotokoll for de ulike treningsøktene.

Dag 1			Dag 2			Dag 3		
Øvelse	Serier	Repetisjoner	Øvelse	Serier	Repetisjoner	Øvelse	Serier	Repetisjoner
Benkpress	4	5-3RM	Knebøy	4	5-3RM	Markløft	4	5-3RM
Dips	4	5-3RM	Beinpress	4	5-3RM	Stående roing	4	5-3RM
Skråbenk	4	5-3RM	Utfall	4	5-3RM	Pullups	4	5-3RM
Smalgrep benkpress	4	5-3RM	Militærpress	4	5-3RM	Biceps preacher curls	4	5-3RM
Triseps Pulldown	4	5-3RM	Stående skulderpress	4	5-3RM	Stående biceps curl	4	5-3RM

Styrketreningsprotokollen som var implementert i intervensjonen for dag 1, dag 2 og dag 3

3.3. Ethiske aspekter

Ethiske regler som er satt av “WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects»” (World Medical Association, 2013) og “Lov om medisinsk og helsefaglig forskning” (Helse- og omsorgsdepartementet, 2008)

ble etterfulgt, i tillegg til at intervensjonen falt utenfor kravet til godkjenning av REK (Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk) (Vedlegg). Studien ble godkjent av NSD (Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste) (vedlegg).

3.4. Rammer for inklusjon

For inkludering i den statistiske analysen skulle deltagerne ikke utføre utholdenhetsdefinerte aktiviteter utenfor intervensjonen. Ved eget valg kunne de utføre sine egne styrketreningsregimer i tillegg hvis det var ønskelig.

3.5. Statistisk behandling av data

Den statistiske analysen ble utført i SPSS versjon 24 (Statistical package for Social Science, Chicago, USA) med paret T-test for analysering og sammenligning av gruppenes deltaverdi innen hver variabel, med ($P < 0.05$) for testenes signifikans. Pearsons korrelasjonstest ble brukt for analysering av mulige korrelasjoner mellom variablene. QQ-plot ble brukt for testing av utvalgets normalfordeling. Variablenes resultater blir fremvist som gjennomsnittsverdi og standardavvik (\pm), med alle tabeller og figurer laget i Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond Washington, USA).

4.0. Resultat

Selvoppfattet oppmøte hos deltagerne var på 100% i intervensjonsgruppen og 100% i kontrollgruppen. 8 deltagere i intervensjonsgruppen fullførte intervensjonen og ble godkjent til den statistiske analysen. 5 deltagere droppet ut før pretest, mens 2 deltagere droppet ut underveis i intervensjonen ved eget valg, som mangel på fullførte økter. 9 deltagere i kontrollgruppen fullførte intervensjonen og ble inkludert i statistiske analysen, mens 5 deltagere droppet ut før pretest og 1 deltager ikke ble godkjent til den endelige statistiske analysen etter å ha droppet ut av eget valg, ved mangel på antall fullførte treningsøkter. Registrert gjennomsnittspuls i intervensjonsgruppen var på 89% av HF_{max} , signifikant høyere enn kontrollgruppens 59% av HF_{max} ($t=22,5$) ($P<0,001$). Selvoppfattet deltagelse hos de ekskluderte lå under 50% oppmøte. Det oppsto ingen uheldige hendelser underveis i intervensjonen.

Tabell 6: Baselinekarakteristikk

	Baseline data		t	P verdi	d
	Intervensjonsgruppen n=8	Kontrollgruppen n=9			
alder	23 ± 2	22,2 ± 1,8	0,832	0,7	0,4
BMI	24,5 ± 0,8	24,6 ± 1,1	-0,239	0,8	0,1
vekt	79,8 ± 7,4	79,4 ± 5,6	0,134	0,8	0,06
MI'min'kg	52,7 ± 6,7	53,2 ± 4,7	-0,174	0,8	0,08
L'min	4,1 ± 0,1	4,2 ± 0,1	-0,562	0,5	1
knebøy 1RM	159 ± 9	154,8 ± 7,2	1	0,3	0,5
Benk 1RM	117,7 ± 8,3	121,1 ± 9,4	-757	0,4	0,3

Deskriptiv data av deltagerens baseline verdier, med analyser av ulikheter mellom gruppene med t verdi, P verdi og Cohen's d.

Tabell 7: Resultater

	Intervensjonsgruppen n = 8				Kontrollgruppen n = 9			
	Pre	Post	Δ (%)	t	Pre	Post	Δ (%)	t
Kroppssammensetning								
Vekt (kg)	79,8 ± 7,4	79,2 ± 6,9*#	-0,7	2,3	79,4 ± 5,6	79,5 ± 5,7	0,1	-1
BMI (kg/m ²)	24,5 ± 0,8	24,3 ± 0,7*#	-0,8	2,4	24,6 ± 1,1	24,6 ± 1,1	0	-1
Vo2max								
L'min-1	4,1 ± 0,1	4,3 ± 0,1***##	3,4	17,6	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1	0,1	-0,9
ml'kg ⁻¹ 'min-1	52,7 ± 6,7	54,9 ± 6,8***##	4,1	-23	53,2 ± 4,7	53,2 ± 4,5	0,1	-0,3
1RM								
Knebøy (kg)	159,0 ± 9,0	162,6 ± 7,4**	2,2	-5	154,8 ± 7,2	161,3 ± 7,1*#	4	-12,6
Benkpress (kg)	117,8 ± 8,3	121,2 ± 7,3***	2,8	-5,2	121,1 ± 9,4	125 ± 9,5*	3,1	-6,4

Verdier presentert med gjennomsnitt og ± SD, Δ = prosentvis differanse fra pre- til posttest. ***p<0.001; **p<0.002; *p<0.05 differanse sammenlignet med pretest innenfor samme gruppe; ## P<0.001, # P<0.05 differanse mellom intervensjons- og kontrollgruppe. Int/kon = t verdi mellom grupper

5. Diskusjon

I en periode på 6 uker har styrketrening med CA vist å bidra til økning i VO_{2max} og 1RM. Intervensjonsgruppen økte VO_{2max} , sammenlignet med ingen signifikant økning hos kontrollgruppen. Intervensjonsgruppen og kontrollgruppen økte i 1RM benkpress og knebøy, med signifikant høyere økning i knebøy hos kontrollgruppen og ingen signifikant forskjell mellom gruppenes endringer i benkpress.

5.1. Diskusjon av resultater

5.1.1. VO_{2max}

Intervensjonsgruppen økte VO_{2max} med 4,1% i $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ gjennom 18 treningsøkter, som tilsvarer en økning på 0,22 per økt. Deltagernes baselineverdier i VO_{2max} ligger likt sammenlignet med andre utvalg på friske individer, som kan indikere et likt utgangsnivå for potensiell økning i VO_{2max} (Helgerud et al., 2007). Deltagerne i dette studiet hadde en økning på 0,22% per økt, i samsvar med Helgeruds 15x15 metode. Helgerud et al. (2007) dokumenterte 5,5% økning i VO_{2max} over 24 treningsøkter med 15x15 som tilsvarer 0,2% økning per økt. Studiens resultater samsvarer ikke med 4x4 metoden i Helgerud et al. (2007), som dokumenterte 7,2% økning i VO_{2max} over 24 treningsøkter som tilsvarer 0,3% økning per økt.

Resultatene samsvarer heller ikke med Menz et al. (2015) som dokumenterte en økning på 3,5% i gjennom totalt 11 treningsøkter med 4x4 metoden, som tilsvarer 0,3% per økt. Baseline verdiene i utvalget til Menz et al. (2015) var også høyere ettersom utvalget var erfarne atleter innen utholdenhetstrening. Hickson (1980) dokumenterte en økning på 0,3% per økt ved en kombinasjon av både intervaller og kontinuerlig jogging. Resultatene samsvarer til en viss grad med Hickson (1980), men en tydelig forskjell er at gruppen utførte totalt 60 treningsøkter i en periode på 10 uker, ved kombinasjon av intervaller nær VO_{2max} og kontinuerlig jogging, sammenlignet med kun 18 treningsøkter i dette studiet. En viktig faktor som bør tas i betraktning er at sammenligningene skjer ved $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, ettersom at vekten har en betydning for verdien som oppnås i $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Ingul et al., 2010).

5.1.2. 1RM

Over 6 uker viste CA ingen negativ effekt på deltageres baseline verdier i 1RM, som gir en indikasjon for muligheten i å ivareta muskelstyrken som er oppnådd før starten på et slikt kombinert treningsregime (Hakkinen et al., 2003). Intervensjonsgruppen og kontrollgruppen viste ingen signifikant forskjell av endringene i benkpress, og økte 2,8% (0,46% per økt) og 3,1% (0,5% per økt). Kontrollgruppen hadde en signifikant høyere økning i knebøy med 4% (0,6% per økt) sammenlignet mot intervensjonsgruppens 2,2% (0,3% per økt). Flere styrketreningsstudier har i en periode på 6 uker dokumentert en økning på 4,6-12% i 1RM hos trente menn og hos styrkeløftere, med et variert repetisjonsutvalg fra 1-6RM. Intervensjonsgruppens og kontrollgruppens resultater i knebøy viser høyere endring sammenlignet med Gonzalez-Badillo et al. (2005), som dokumenterte 4,2 og 4,6% økning, med omtrent 0,1% økning per treningsøkt hos begge grupper. Utvalget i Gonzalez-Badillo et al. (2005) var junior styrkeløftere med høyere relativ styrke, som bør tas i betraktning ved sammenligningen. I teorien er utvalget til Gonzalez-Badillo et al. (2005) bedre trent enn utvalget i denne studien og har muligens mindre potensial til økning i 1RM.

Nicholson et al. (2016) dokumenterte signifikant høyere økning av 1RM i knebøy over 6 uker med 12,6% økning, med 1,0% økning per økt. Nicholson et al. (2016) utførte totalt 12 knebøy økter med 4x6RM, sammenlignet med 6 treningsøkter i denne studien. Mangine et al. (2015) dokumenterte også en høyere økning i benkpress med 13,7% ved bruk av 3-5RM over 8 uker, med 0,8% økning per økt. Utvalgets relative styrke var ganske likt med utvalget i dette studiet, i tillegg til et minimumskrav på 2 års styrketreningserfaring. Mangine et al. (2015) implementerte en høyere treningsfrekvens for benkpress med 2 økter i uken, i tillegg til 3min hvileintervaller mellom hver styrkeserie hos 3-5RM gruppen. Det kan ha hatt en viktig rolle i de muskulære tilpasningene (Schoenfeld et al., 2015c; Schoenfeld et al., 2016a; Schoenfeld et al., 2016b)

5.1.3. VO_{2max} & 1RM fra CT

Cantrell et al. (2014) dokumenterte økning i både maksimal styrke og VO_{2max} med 12,9% i benkpress, 29,4% i knebøy og 3,4% i Vo_{2max}. Intervensjonsgruppen oppnådde høyere endring i VO_{2max} per økt sammenlignet med Cantrell et al. (2014), med 2,22% mot 0,14%. Tydelige forskjellen her kan være treningsprotokollen til Cantrell et al. (2014) som kun inneholdt 4-6 serier med 20s sprint på >90% HF_{max}. Deltagerne i Cantrell et al. (2014) hadde også betydelig lavere ml·kg⁻¹·min⁻¹ opptak i VO_{2max} med gjennomsnittsvekt på 78kg, og gjennomsnittsbaseline verdi i VO_{2max} på 40,9 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Cantrell et al. (2014) dokumenterte høyere økning i 1RM per økt med 0,5% i benkpress og 1,2% i knebøy. Treningsprotokollen i det Cantrell et al. (2014) implementerte en treningsfrekvens på 2 økter i uken, i tillegg til at styrketreningen og utholdenhetstreningen ble utført på ulike dager, som kan ha spilt en betydelig positiv faktor for økningen i 1RM.

Dolezal & Poteiger (1998) dokumenterte en økning på 19% i knebøy og 12% i benkpress, med 0,9% og 0,6% per økt. Resultatene av VO_{2max} med 0,2% økning per økt i Dolezal & Poteiger (1998) samsvarer med dette studiet. En tydelig forskjell er at intensitetsnivå av utholdenhetstreningen i Dolezal & Poteiger (1998) varierte fra 65-85% av antatt HF_{max}, som kan forklare økningen på kun 7% i VO_{2max} gjennom 30 treningsøkter. Variasjonen av intensitetsnivået i utholdenhetstreningen kan også ha vært en viktig faktor i 1RM økningene de dokumenterte. Hickson (1980) dokumenterte en økning på 17,7% VO_{2max} gjennom totalt 60 utholdenhetsøkter, med 11% økning etter første 5 uker (0,37% per økt), med en tydelig flatning i de neste 5 ukene med kun 5,8% økning (0,19% per økt). Gjennom totalt 50 styrketreningsøkter i Hickson (1980) økte 1RM i knebøy med 0,44% per økt som samsvarer til en viss grad med intervensjonsgruppen i dette studiet. Hickson (1980) benyttet ulike intensitetsnivåer fra intervaller nær VO_{2max} til jogge intensitet.

Når man sammenligner disse studiene er det viktig å ta intervensjonenes varighet i betraktning, ettersom at dette studiet hadde en kortere tidsperiode sammenlignet med flere andre studier. Selv om resultatene i 1RM kan samsvare ved økning per økt, kan det være usikkert om den hele prosentvise økningen faktisk vil samsvare hvis tidsperiodene var like. Deltagerne i denne intervensjonen hadde kun 6 treningsøkter for hver muskelgruppe, som da setter spørsmålsteget om økningen i 1RM kun var en tidligfase-tilpasning som følge av maksimal styrketrening. Som vist i Hickson (1980), hadde kombinasjonsgruppen stagnert gjennom uke 7 og 8, samt redusert 1RM gjennom uke 9

og 10, som indikerer økning i 1RM kun gjennom de første 6 ukene. Ettersom at deltagerne i dette studiet kombinerte treningsformene samtidig, kan det i teorien være en større sannsynlighet for tidlig stagnering eller reduksjon i 1RM, sammenlignet med Hickson (1980).

5.2. Diskusjon av metode

5.2.1. Styrketrening

Alle deltagere trente med belastning på >80% av 1RM før intervensjonen, uten konkret periodisering eller treningsprotokoll, i likhet med mangelen på en periodisert treningsprotokoll i studiet. Periodisering av styrketrening over lengre perioder har vist å være en viktig faktor for å utsette stagnering i treningsadaptasjoner (Kraemer & Ratamess, 2004; Mann et al., 2010; Fleck, 2011; Miranda et al., 2011). Det er usikkert om mangelen på periodisering bør anses som en tydelig svakhet, ettersom at de kun gjennomførte 6 treningsøkter per muskelgruppe. På en annen side har periodisering i korte perioder på 6 uker vist seg å ikke utgjøre større forskjell, sammenlignet med ikke-periodiserte treningsprotokoller (Souza et al., 2014). I dette tilfelle er det usikkert om et periodisert treningsprotokoll muligens hadde utgjort en større forandring.

Alle deltagere hadde en selvoppfattet ukentlig treningsfrekvens på minimum 2 økter per muskelgruppe i egne treningsregimer før intervensjonen, mens intervensjonens treningsfrekvens var på en økt per uke. En høyere treningsfrekvens på 2 økter per uke har vist å gi høyere muskulære tilpasninger, sammenlignet med 1 økt per uke som ble brukt i studiens treningsprotokoll (Schoenfeld et al., 2015c; Schoenfeld et al., 2016a). Med intervensjonsgruppens kombinerte trening er det en mulighet for at en økt treningsfrekvens kunne bidratt til overtrening, og tidligere stagnering av treningstilpasninger etter mangel på optimal restitusjon mellom hver treningsøkt (Eichner, 1995; Izquierdo-Gabarron et al., 2010). Styrketrening med høy motstand har vist å kreve lenger restitusjonstid med opp mot 72 timer sammenlignet med lettere motstand, og det kan ta opp mot flere dager før sarkoplasmatiske retikulums evne til Ca²⁺-pumping normaliseres etter intensiv trening (Kraemer & Ratamess, 2004; Tupling, 2004). Deltagerne kunne også utføre sine egne styrketreningsøkter som før intervensjonen hvis ønskelig, som gjør det usikkert om de utførte et totalt større volum av trening i de 6 ukene.

Treningsvolumet med 3-5RM og 4 serier i treningsprotokollen var implementert basert på tidligere forskning, som har vist at belastning på 3-5RM har stimulert til høyere økning i 1RM sammenlignet med lettere motstand på 10-12RM (Mangine et al., 2015). Økningen i 1RM hos begge grupper kommer sannsynlig primært av nevralt tilpasninger enn økning i muskelvolum. 3-5RM har vist å skape høyere grad av påført mekanisk drag og nevro-muskulære tilpasninger, enn metabolsk stress og hypertrofisk respons (Mangine et al., 2015). De fleste øvelsene i treningsprotokollen var også flerleddet, noe som aktiverer prosentvis større muskelmasse samt øker kravet til nevralt tilpasning (Folland & Williams, 2007; Kraemer & Ratamess, 2004).

En hypertrofisk respons bør likevel ikke utelat som mulig ved maksimal styrketrening alene, men muligens ved kombinerer av treningsformene. Styrketrening i seg selv viser å øke tverrsnittsarealet i både type-I og II fibre, men ved kombinert trening er det dokumentert kun økning i type IIa fibrenes tverrsnittsareal, med ingen forandring i type I fibre (Bell et al., 2000; Putman et al., 2004). I teorien bør det samme tilfelle eksistere med intervensjonsgruppen i dette studiet, ettersom at de gjennomførte treningsformene samtidig i økten, i motsetning til andre studier som hadde de treningsformene på ulike dager (Bell et al., 2000; Putman et al., 2004). Med mangel på analyse av kroppssammensetning eller muskelbiopsi er dette kun spekulasjoner og kan ikke bekreftes eller videre diskuteres.

5.2.2. Aerob kapasitet

Utholdenhetstreningen var heller ikke periodisert gjennom intervensjonen, og i likhet med styrketrening er periodisering av utholdenhetstrening nødvendig over lengre perioder for å unngå stagnering av tilpasningene i det oksidative systemet (Sylta et al., 2016). Variabler som treningsintensitet, treningsvarighet og treningsfrekvens har vist en direkte påvirkning på forbedringer i VO_{2max} (Helgerud et al., 2007). I et scenario hvor deltagerne hadde god erfaring innen utholdenhetstrening, med krav til mer spesifikt utholdenhetstrening, kunne periodisering av CA intervallene i meso-syklus (3-6 uker) muligens ha spilt en større rolle for treningstilpasningene etter 6 uker (Sylta et al., 2016). Med deltageres mangel på tidligere erfaring innen utholdenhetstrening, er det usikkert om en periodisert CA protokoll i en kort periode på 6 uker hadde medført ytterligere økning i VO_{2max} .

I den første uken ved begynnelsen av treningsøktene følte deltagerne ubehag med å oppnå $>90\%$ HF_{max} under CA intervallene, som muligens kan komme av begrenset optimal VO_2 respons. VO_2 responsen kan allerede forbedres etter kun 2-6 økter med HIIT (Christensen et al., 2016). Deltagerne mente at det var mindre ubehag i å oppnå $>90\%$ HF_{max} under CA intervallene fra uke 2-6, ettersom at de ble bedre tilvendt til den høye intensiteten. Dette var basert på subjektive selvpoppfatninger og ble ikke målt, som kun gjør det til spekulasjoner.

Fra en selvpoppfattet observasjon opplevde deltagerne reduksjon i evnen til å opprettholde samme tempoet under CA etter kun 0.5min gjennom de første ukene, uavhengig av intensiteten som fortsatt lå jevnt på 85-95% HF_{max} . I teorien kan de hatt høyere grad av type-II fibre som naturligvis øker muligheten for hurtigere utmattelse, samt reduksjon i evnen til å opprettholde tempoet i CA over lenger tid (Astorino et al, 2012). HIIT har vist å forbedre muskulaturens effektivitet i reguleringen av laktatproduksjon og -eliminering ved å redusere laktatproduksjonen, som utsetter tiden til utmattelse når treningsintensitet er den samme over en lenger periode (Gibala et al., 2012). Muskulaturen reduserer også forbruket av muskelglykogen ved å preservere glykogennivåene, og øker effektiviteten i oksidering av muskellipider (Gibala et al., 2012).

I teorien bør intensiteten under CA også aktivere større grad av type-II fibre i øvre del av rekrutteringshierarkiet, og stimulere til forbedring av oksidativ og anaerob kapasitet i type-II fibre (Gibala & Jones, 2013). Deltagerne mente at evnen til å opprettholde samme tempo gjennom CA intervallene var lettere gjennom de siste ukene i intervensjonen. Dette var selvfølgelig selvpoppfattet observasjoner, og ble ikke kvantifisert eller fysiologisk målt. Kapillærtetthet i type-II fibre har vist å øke signifikant ved HIIT, der 16% økning i VO_{2max} har resultert med 20% økning i kapillærtetthet (Andersen & Henriksson, 1977). Bell et al. (2000) fant også at kombinert trening muligens medfører høyere økning i muskelkapillærenes tetthet sammenlignet med enten utholdenhets- eller styrketrening alene.

Uavhengig av økning i VO_{2max} har H_b nivået vist å ikke øke i takt med VO_{2max} eller ha noen signifikant korrelasjon (Helgerud et al., 2007; Menz et al., 2015). Det samme tilfellet kan eksistere med mitokondrietettheten som kan øke tettheten etter kun en HIIT økt eller

stagnere tidlig uavhengig av forandringer i VO_{2max} (Basset & Howley, 2000; Burgomaster et al., 2005; Gibala et al., 2014; MacInnis & Gibala, 2016). MacInnis & Gibala. (2016) fant at mitokondrietettheten stagnerte etter kun 5 treningsøkter når intensitetssonen var lik gjennom alle øktene. I teorien kan det bety at mitokondrietettheten muligens allerede stagnerte etter 2 uker gjennom intervensjonen, men dette er igjen kun spekulasjoner som ikke kan bekreftes som følge av mangel på muskelbiopsi.

Med intervensjonens korte periode på 6 uker er det trolig at økningen i VO_{2max} primært kommer av økning i SV, når HIIT har vist å legge stress på den maksimale kapasiteten til SV. Økning i VO_{2max} er sterkt korrelert til økning i hjertets SV, som allerede kan forekomme etter kun 1 uke med HIIT (Helgerud et al., 2007; MacInnis & Gibala, 2016). Ved en økning på 18% i VO_{2max} har hjertets kapasitet i venstre ventrikkel vist å øke med 12%, i tillegg til en 13% økning i ventrikkelens kontraktile evner (Wisløff et al., 2009). Grunnet begrenset kapasitet ble ikke de fysiologiske mekanismene undersøkt, som gjør det usikkert til hvilken grad de ble påvirket gjennom intervensjonen.

5.2.3. Implementering av CA

I tillegg til re hydrering og regulering av ekstern belastning mellom styrkeseriene, skulle ikke deltagerne i intervensjonsgruppen ha noen form for hvileintervaller. Eneste formen for hvile mellom styrkeseriene var utførelsen av 1 minutts CA. Muskulaturens evne til optimal kraftproduksjon reduseres hurtig når de stimuleres ved en frekvens nær maksimal muskelaktivering (Allen et al., 2008). Mangel på optimal restitusjon responderes med reduksjon i evnen til antall utførte repetisjoner ved hver serie. Reduseringen i antall utførte repetisjoner fra den første til siste serien kan komme av redusert ATP omdanning. Høyintensiv trening reduserer CP nivået i muskulaturen, som er en viktig komponent i ATP omdannelsen under maksimal styrketrening (Huxley, 2000a; Allen et al., 2008; Fiedler et al., 2016). ATP-CP systemet kan trenge mot 3 minutter for optimal restitusjon, og kan ha blitt hemmet som følge av korte hvileintervaller kombinert med CA (Kraemer & Ratamess, 2004).

Flere studier innen styrketrening har dokumentert at korte hvileintervaller på 1 minutt mellom styrkeserier ikke er gunstig når målet er optimal økning i hypertrofisk respons og maksimal styrke (McKendry et al., 2016; Schoenfeld et al., 2016b). Hvileintervaller på

minimum 2-3 minutter viser seg å være mer gunstig for optimal hypertrofisk respons (Schoenfeld et al., 2016b), mens andre studier dokumenterer hvileintervaller nærmere 5 minutter som mer gunstig for optimal restitusjon under maksimal styrketrening (Behm et al., 2002; Richmond & Godard, 2004). Mange studier som dokumenterte signifikant økning i 1RM implementerte hvileintervaller på 2-5 minutter (Hickson, 1980; Gonzalez-Badillo et al., 2005; Mangine et al., 2015; Nicholson et al., 2016)

Ved implementering av CA før hver styrkeserie, kan en akutt økning i HF øke slagvolumet og blodstrømningen, som i teorien kan akselerere restitusjonen for muskulaturen som ikke brukes under CA (Davis et al., 2008b). Muskulaturen får hurtigere tilgang til O₂ og næringsstoffer, i tillegg til hurtigere transportering av avfallsstoffer som vanligvis forlenger restitusjonstiden (Davis et al., 2008b). Hurtigere O₂ transportering bør også i teorien medføre hurtigere ATP omdanning (Hepple et al., 2002), som reduserer restitusjonstiden for muskelgruppene som blir belastet under styrkeseriene. Dette er uavhengig av helkroppsarbeid som vanligvis reduserer maksimal blodtilførsel, ettersom at over- og underkroppen jobber individuelt (Secher & Volianitis, 2006). Dette er igjen diskutert basert på spekulasjoner og ble ikke målt på noen vis.

I likhet med Davis et al. (2008a) toppet HF under CA, med en reduksjon under styrkeseriene. Davis et al. (2008a) dokumenterte signifikant økning i nevro-muskulære tilpasninger når styrketrening ble kombinert med CA. En tydelig forskjell var at Davis et al. (2008a) registrerte en gjennomsnittspuls på 64,8% HF_{max} under styrkeseriene og $\geq 84\%$ HF_{max} under CA, mens gjennomsnittspulsen i denne studien var høyere på 89% HF_{max}. Deltagernes evne til å opprettholde høy HF selv under styrkeseriene kommer sannsynlig av mangelen på hvile mellom CA intervallene, i motsetning til effekten av styrketreningen alene. Kontrollgruppen hadde høyere gjennomsnittspuls sammenlignet med Davis (2008a) med 59% HF_{max}, trolig som følge av korte hvileintervaller på 1 min. Kontrollgruppen viste ingen endringer i VO_{2max}, i likhet med andre studier som utforsket effekten av styrketrening på VO_{2max} (Allen et al., 1976; Gettman et al., 1978; Hurley et al., 1984; Balabinis et al., 2003).

Det er usannsynlig at opprettholdelsen av HF under styrkeseriene utgjør en signifikant forskjell på SV. Selv ved økt HF vil intensive tunge kontraksjoner under styrketreningen begrense den perifere blodtilførselen til de arbeidende musklene samt redusere den

venøse blodstrømningen. Det intramuskulære trykket under styrkeseriene kan hemme optimal blodtilførsel til de arbeidende musklene uavhengig av økt blodtrykk, som hemmer optimale oksidative tilpasninger i muskelen (Allen et al., 1976). Mangelen på optimal tilbake strømming reduserer stimuleringen av maksimale kapasiteten til SV, som trolig reduseres under styrkeseriene uavhengig av høy HF (Allen et al., 1976/Hurley et al., 1984). Ettersom at denne mekanismen oppstår i muskulatur som blir benyttet under styrketrening er det usikkert om det har en effekt på muskulaturen som blir brukt under CA intervallene. Det er usikkert om det påvirker blodstrømningen under CA intervallene og muligens ha en hemmende effekt på fremgang i VO_{2max} .

CA intervaller på 85-95% HF_{max} , krever i teorien mye av det anaerobe energisystemet (Knuiman et al., 2015), i likhet med tung styrketrening (Kraemer & Ratamess, 2004). Selv om HIIT utnytter det anaerobe energisystemet i stor grad, vil det aerobe energisystemet bidra med 40-50% av energifrigjøringen under 30-60 sekunders intens trening til utmattelse (Medbø & Tabata, 1985). I teorien kan det være mulig å opprettholde repetisjonsutvalget på 5-3RM under anaerobt muskelarbeid, hvis CA intervallene primært består av aerob energifrigjørelse. Ved CA intervaller på 2 minutter ville det aerobe energisystemet teoretisk utgjort 65% av energifrigjøringen som muligens både kan preservere anaerobt muskelarbeid under CA til høyere grad, samt doble hvileintervallene og forbedre restitusjonen mellom styrkeseriene (Medbø & Tabata, 1985). Med deltagerens utgangsnivå i VO_{2max} samt en minimums sone på 55-60% HF_{max} for forbedring i Vo_{2max} , kan CA intervaller på 2min kombinert med lavere intensitetssone muligens favorisere bedre nevro-muskulære tilpasninger, samt fortsatt medføre økning i VO_{2max} (Helgerud et al., 2007; Tjønnå et al., 2008; Varela-sanz 2016). Redusering til en mer moderat intensitet kan igjen også redusere den totale økningen i VO_{2max} (Menz et al., 2015; Milanovic et al., 2015).

Fyfe et al. (2016) på en side fant at intensiteten som benyttes under utholdenhetstreningen, ikke utgjør en forskjell til hvilken grad økningen i maksimal styrke blir negativt påvirket. Det kan bety at det totale volumet av utholdenhetstreningen bør betraktes som en viktigere faktor (Fyfe et al., 2016). Det skaper usikkerhet om en lavere intensitetssone under CA intervallene hadde utgjort noen positiv forskjell på 1RM resultatene. McCarthy et al. (2002) har foreslått at CT ikke bør utføres mer enn tre ganger i uken, for å unngå for høy volum av utholdenhetsrening, som kan negativt påvirke

muskelstyrken. Baar (2014) mener også at fremgangen i muskelstyrke blir negativt påvirket når treningsfrekvensen og treningsintensiteten av utholdenhetstrening i kombinert trening er høy, ved eksempelvis bruk av treningsprotokollen i Hickson (1980) og Kraemer et al. (1995).

Studier har funnet at graden av økning i maksimal styrke og nevro-muskulære tilpasninger blir dempet når treningsformene enten etterfølger hverandre eller utføres på ulike dager (Hickson, 1980; Bell et al., 2000; Chtara et al., 2008). Andre fant ingen hemmende effekt av kombinerer når de ble utført på ulike dager (Bell et al., 1991; Balabinis 2003; Hakkinen et al., 2003; Shaw et al., 2009; Cantrell et al., 2014), eller når treningsformene direkte etterfulgte hverandre eller med tidsmellomrom (McCarthy et al., 1995; McCarthy et al., 2002; Levertitt et al., 2003; Laird 4th et al., 2016). Svakheten med studiene som fant en såkalt synergisk effekt er at utvalget enten var sedate eller aktive individer med lav styrketreningserfaring, som setter et godt utgangspunkt for potensiell økning i både maksimal styrke og utholdenhet (Rhea et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2004; Crewter et al., 2005; Coffey & Hawley, 2017). Individer med lenger styrketreningserfaring kan også muligens være mer utsatt for denne motvirkende effekten sammenlignet med uerfarne individer (Jones et al., 2013).

Coffey et al. (2009a/2009b) fant at mTORC1 aktiveringen ble redusert ved kombinert trening, uavhengig av treningsintensiteten som var implementert i utholdenhetstreningen. Apro et al. (2013) og de Souza et al. (2013) på en annen side, fant ingen reduksjon i mTORC1 signaliseringen ved kombinert trening. Ettersom at treningsformene ble utført på ulike kroppsdeler er det usikkert til hvilke grad de ulike genetiske prosessene motvirker hverandre, om de hovedsakelig har en mer lokal effekt på muskulaturen eller om prosessen aktiveres gjennom hele kroppen. Disse to prosessene er et viktig tema innen CT, men med studiens begrenset kapasitet er dette kun spekulasjoner og kan ikke videre diskuteres.

Det er også usikkert om noen form for motvirkende effekt i lokale nevralt tilpasninger bør tas i betraktning (McCarthy et al., 2002; Levertitt et al., 2003; Wilson et al., 2012). Treningsprotokollen ble spesifikt designet for å unngå samtlige påføring av utholdenhets- og styrketrening på samme muskelgrupper i treningsøkten, samt å unngå for stor grad av lokalt metabolsk stress. Begge gruppene hadde en økning i benkpress med lik fremgang,

som ikke gir indikasjon til noen hemmende effekt på økningen i benkpress. Studier har funnet at HIIT i form av løping etterfulgt med styrketrening hadde en negativ påvirkning på økning i maksimal styrke på underkropp, med liten til ingen negativ påvirkning i overkropp (Reed et al., 2013; Fyfe et al., 2016). Hemningen i disse studiene kan igjen trolig komme som følge av motvirkende nevro-muskulære tilpasninger, og for stor grad av lokalt metabolsk stress ved CT (Sporer & Wenger, 2003; Jones et al., 2013; Fyfe et al., 2016). Det er usikkert om resultatene i Reed et al. (2013) og Fyfe et al. (2016) kan eksemplifiseres over til dette studiet. Ettersom at de nevro-muskulære tilpasningene er mer lokalt knyttet til muskulaturen som trenes, er det usikkert hva slags påvirkning CA intervallene hadde på de nevro-muskulære tilpasningene når de ble utført på ulike kroppsdelar kontra til styrkeøvelsene.

Uavhengig av tidligere forskning som har indikert at CT medbringer såkalte synergisk muskeladaptasjoner (Hakkinen et al., 2003; Davis et al., 2008a), er det usikkert om intervensjonsgruppen oppnådde synergisk effekt gjennom treningsintervensjonen. To-tredjedel av CA intervallene ble utført av underkropps-muskulaturen, der underkropps-muskulaturen utførte dobbelt så mye utholdenhetstrening, sammenlignet med styrketrening. Det resulterte med en nesten dobbelt prosentvis økning i 1RM knebøy hos kontrollgruppen sammenlignet med intervensjonsgruppen.

Shaw et al. (2009) diskuterer at det er problematisk å fremstille en konkret definisjon av den motvirkende effektiviteten, når det per dags dato ikke eksisterer en bestemt definisjon av når endringer i 1RM er negativt påvirket. I tilfeller hvor optimal økning av muskulære tilpasninger er nødvendig, kan denne motvirkende effekten spille en rolle, men ellers kan det i mange tilfeller være problematisk å vite når muskulære tilpasninger faktisk har blitt negativt påvirket (Shaw et al., 2009).

5.3. Ernæring

Murach & Bagley (2016) har poengtert at kostholdets viktighet øker til større grad når utholdenhetstrening og styrketrening blir kombinert. Av begrenset kapasitet ble ikke kostholdet registrert eller kontrollert. Deltagerne ble kun anbefalt å øke kaloriinntaket for å unngå kaloriunderskudd, som kan medføre tap av fettfrimasse og muskelstyrke (Trexler et al., 2014). Intensiv styrketrening og utholdenhetstrening reduserer muskelglykogen hver for seg, og muligens til høyere grad når de kombineres (Nader, 2006; Knuiman et

al., 2015). I Apro et al. (2015) ble muskelglykogenet redusert med 30% etter 5x4min sykkelintervaller på 85% av VO_{2max} , i tillegg til en ekstra 25% etter styrketreningsprotokollen som direkte etterfulgte sykkelintervallene. Styrketreningsgruppen i Apro et al. (2015) hadde en reduksjon på kun 15%. Alle deltagere i intervensjonen ble anbefalt å innta sukkerholdig måltid eller drikke etter treningsøkten. Muskelglykogennivået har blant annet en direkte påvirkning på mengden av Ca^{2+} som frigjøres fra sarkoplasmatiske retikulum, der lavere glykogennivåer har vist å redusere evnen til optimal Ca^{2+} frigjørelse (Knuiman et al., 2015). Glykogennivå i skjelettmuskulaturen spiller en viktig rolle under HIIT, som tar bruk av anaerob energiomsetning og hurtig ATP omdanning (Knuiman et al., 2015). Muskelglykogennivåene ble ikke målt gjennom intervensjonen, som gjør dette til kun spekulasjoner og usikkert til hvilke grad de påvirket treningsøktene.

5.4. Utvalg

Utvalget i denne studien var normalfordelt, med ingen signifikante forskjeller i baselinekarakteristikkene mellom gruppene. Utvalget viser å være representativ for populasjonen de ble trukket fra, som styrker utvalgets ytre validitet. Til sist vil treningsresponsen en oppnår være individuelt, som betyr at muligens ikke alle innenfor denne populasjonen vil ha samme type respons som utvalget (Bouchard et al., 2011). Alle individer med ulike alder, kjønn og treningserfaring responderer ulikt til trening og derfor kan ikke dataen generaliseres (Wang et al., 2013; Gibala et al., 2015). Valget av populasjonen i denne studien anses som en styrke, ettersom at disse deltagerne hadde erfaring innen systematisk styrketrening. Vi fant at dette utvalget også har en tendens til en positiv respons av å kombinere treningsformer, ettersom at tidligere studier dokumenterte positiv respons i begge variabler på individer med mindre erfaring innen styrketrening. Til dags dato er det funnet en studie som har utforsket styrketrening med CA på muskulære tilpasninger, Davis et al. (2008a) utforsket denne hypotesen på kvinner med en ulik fremgangsmåte.

5.5. Styrker og svakheter

5.5.1. Styrker

En styrke i denne intervensjonen er at den er randomisert kontrollert, testansvarlige hadde dermed ingen egne påvirkning for hvilke gruppe deltagerne havnet i (Sullivan, 2011). Alle testprosedyrene ble gjennomført systematisk som beskrevet i metoden. Knebøy og benkpress har vist å være reliable øvelser for 1RM testing (Seo et al., 2012), og dette inkluderer også bruk av tredemølle med motbakke for VO_{2max} testing.

5.5.2. Svakheter

Deltagerne utførte treningsøktene på egenhånd med pulsklokke uten overvåkning eller bekreftet gjennomførelse fra testansvarlig, som svekker metodens reliabilitet. Deltagerne registrerte kun en egenoppfattet gjennomførelse av intervensjonen. De hadde heller ikke tidligere erfaring med bruk av komponenter som pulsklokke og pulsbelte som skulle benyttes under alle økter. Deltagernes generelle aktivitet i dagliglivet utenfor intervensjonens rammer ble ikke dokumentert, som skaper en del usikkerhet rundt mulige ytre påvirkninger av datamaterialet og hvor mange treningsøkter de utførte ved siden av intervensjonsøktene. Deltagerne ble kun kontaktet jevnlig under treningsintervensjonen for å bekrefte utføring av treningsøktene. Mazzetti et al. (2000) dokumenterte at direkte overvåkning gjennom hele intervensjonen hadde en positiv påvirkning på resultatene. Deltagerne viste seg å ha høyere motivasjon som følge av direkte observasjon av kompetent instruktør, og ytet hardere gjennom øktene, som medførte signifikant høyere økning i ulike variabler som blant annet 1RM hos overvåket-gruppen kontra ikke-overvåket. Fordelen med å overvåke alle treningsøktene i intervensjonsgruppen hadde vært å bekrefte at treningsøktene ble gjennomført spesifikt som beskrevet i treningsprotokollen. Direkte overvåkning av øktene kan på en annen side ha en negativ påvirkning på metodens ytre validitet dersom instruktørens tilværelse og motivering påvirker deltagerne til å yte mer enn det de ellers ville gjort.

Studiene som undersøkte HIIT på VO_{2max} brukte spesifikt løping gjennom treningsintervensjonen som overfører den totale treningstilpasningen over til posttesten (Hickson, 1980; Helgerud et al., 2007; Menz et al., 2015). En-tredjedel av CA intervallene ble utført ved bruk av armer og overkropp som muligens ikke har en overføringsverdi til posttesten med tanke på treningsspesifisering. Den maksimale kapasiteten til SV blir

trolig stimulert gjennom hver treningsøkt, mens beinmuskulaturens oksidative kapasitet kun blir stimulert i to-tredjedeler av treningsøktene. Det kan muligens redusere den totale overføringsverdien fra treningsintervensjonen over til posttesten.

En annen svakhet med pre- og posttestingen av 1RM i knebøy var bruken av smith-maskin, som kan gi en statistisk signifikant høyre ekstern belastning som kan løftes sammenlignet med frivekt (Cotterman et al., 2005). I tillegg reduseres fri arbeidsbane samt kravet til stabilitet, og skaper heller en fikset form (Cotterman et al., 2005). Smith-maskin blir oftest brukt som testingsverktøy for trygghetsgraden den implementerer under tunge løft (Cotterman et al., 2005), men med deltagerens erfaring innen tung styrketrening kunne det vært mer praktisk å bruke olympisk fristang, med et vektløftingsbelte for trygghetsmomentet ved maksløft (Lander et al., 1990).

5.6. Praktiske implikasjoner

Mangelen på tidligere forskning med samme hypotese kombinert med studiens utvalg på $N=8$ svekker generaliseringen. Denne studien er en av få som har implementert CA inn i et styrketreningsregime (Davis et al., 2008a/2008b), og trenger mer forskning for å kunne danne et sterkere grunnlag for generalisering. Datamaterialet gir kun en indikasjon at for styrketrente individer som har et primært mål om å øke VO_{2max} , kan denne metoden være et alternativ til andre former for kombinerte treningsregimer som eksempelvis Cantrell et al. (2014). Med et mål om å både forbedre VO_{2max} og maksimal muskelstyrke optimalt, virker ikke denne formen for kombinert trening å være en optimal fremgangsmåte, mens gjennomføring av styrke- og utholdenhetstrening på motsatte dager virker bidra til høyere økning i 1RM (Dolezal & Poteiger, 1998; Cantrell et al., 2014)

5.7. Videre forskning

VO_{2max} og 1RM økte over 6 uker, som er en kort intervensjonsperiode sammenlignet med studier på 8-10 uker (Hickson, 1980; Helgerud et al., 2007). Forbedringer i oksidative og muskulære evner viser seg å komme ganske hurtig i tillegg stagnere etter en kort periode, som skaper usikkerhet om VO_{2max} eller 1RM hadde økt videre etter >6 uker (Hickson, 1980; Burgomaster et al., 2007). Treningsmetoden bør videre utforskes på over lengre intervensjonsperiode på 8-10 uker, med et lineært eller kupert periodisert styrketreningsprotokoll som har vist å være effektiv for å unngå tidlig stagnering i nevro-

muskulære tilpasninger (Miranda et al., 2011). Variabler som ytre påvirkninger, direkte overvåkning, kosthold og muskulære tilpasninger som oppnås, bør også kontrolleres.

6.0. Konklusjon

Intervensjonsgruppen økte både VO_{2max} , 1RM i benkpress og knebøy med implementering av CA i styrketrening gjennom 6 uker. Kontrollgruppen viste ingen endringer i VO_{2max} , og hadde en høyere økning av 1RM i knebøy sammenlignet med intervensjonsgruppen, med ingen signifikant forskjell mellom gruppene endringer i benkpress.

7.0. Referanseliste

- Aagaard, P., Andersen, J.L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A., Wagner, A., Magnusson, S.P., Halkjær-Kristensen, J., Simonsen, E.B. (2001). A Mechanism for Increased Contractile Strength of Human Pennate Muscle in Response to Strength Training: Changes in Muscle Architecture. *Journal of Physiology*. S. 613-623.
- Allen, D.G., Lamb, G.D., Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*. 2008 Jan;88(1):287-332.
- Allen, T.E., Byrd, R.J., Smith, D.P. (1976). Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Res Q*. 1976 Oct;47(3):229-306.
- Andersen, J.L., Aagaard, P. (2000). Myosin Heavy Chain IIX Overshoot In Human Skeletal Muscle. *Muscle & Nerve*. S. 1095-1104.
- Andersen, P., Henriksson, J. (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol*. 1977 Sep;270(3):677-90.
- Apró W., Moberg, M., Hamilton, D.L., Ekblom, B., van Hall, G., Holmberg, H.C., Blomstrand, E. (2015). Resistance exercise-induced S6K1 kinase activity is not inhibited in human skeletal muscle despite prior activation of AMPK by high-intensity interval cycling. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2015 Mar 15;308(6):E470-81.
- Apró, W., Wang, L., Pontén, M., Blomstrand, E., Sahlin, K. (2013). Resistance exercise induced mTORC1 signaling is not impaired by subsequent endurance exercise in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2013 Jul 1;305(1):E22-32.
- de Araujo, G.G., de Barros Manchado-Gobatto, F., Papoti, M., Camargo, B.H., Gobatto, C.A. (2014). Anaerobic and aerobic performances in elite basketball players. *J Hum Kinet*. 2014 Oct 10;42:137-47.
- Astorino, T.A., Allen, R.P., Roberson, D.W., Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force. *J Strength Cond Res*. 2012 Jan;26(1):138-45.

Astorino, T.A., Edmunds, R.M., Clark, A., King, L., Gallant, R.M., Namm, S., Fischer, A., Wood, K.A. (2017). High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Sep 16.

Baar, K. (2006). Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med Sci Sports Exerc.* 2006 Nov;38(11):1939-44.

Baar, K. (2014). Using Molecular Biology to Maximize Concurrent Training. *Sports Med* (2014) 44 (Suppl 2): S117-S125.

Bacon, A.P., Carter, R.E., Ogle, E.A., Joyner, M.J. (2013). VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS One.* 2013 Sep 16;8(9):e73182.

Balabinis, C.P., Psarakis, C.H., Moukas, M., Vassiliou, M.P., Behrakis, P.K. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *J Strength Cond Res.* 2003 May;17(2):393-401.

Bandy, W.D., Lovelace-Chandler, V., McKittrick-Bandy, B. (1990). Adaptations of Skeletal Muscle to Resistance Training. *J Orthop Sport Phys Ther.* S. 248-255.

Basset, D.R., Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jan;32(1):70-84.

Behm, D.G., Reardon, G., Fitzgerald, J., Drinkwater, E. (2002). The effect of 5, 10, and 20 repetition maximums on the recovery of voluntary and evoked contractile properties. *J Strength Cond Res.* 2002 May;16(2):209-18.

Bell, G.J., Syrotuik, D., Martin, T.P., Burnham, R., Quinney, H.A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Mar;81(5):418-27.

Bell, G.J., Petersen, S.R., Wessel, J., Bagnall, K., Quinney, H.A. (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int J Sports Med.* 1991 Aug;12(4):384-90.

- Berger, R. (1961a). Optimum Repetitions for the Development of Strength. *The Research Quarterly*, Vol.33. S. 334-338.
- Berger, R. (1961b). Effect of Varied Weight Training Programs on Strength. *The Research Quarterly*, Vol. 33, No.2. S. 168-181.
- Billat, L.V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med.* 2001;31(1):13-31.
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, s., Madsgaard, S., Boesen, M., Raastad, T. (2013). Effect of Range of Motion in Heavy Load Squatting on Muscle and Tendon Adaptations. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. S. 2133-2142*
- Booth, F.W., Ruegsegger, G.N., Toedebusch, R.G., Yan, Z. (2015). Endurance Exercise and the Regulation of Skeletal Muscle Metabolism. *Prog Mol Biol Transl Sci.* 2015;135:129-51.
- Bouchard, C., Sarzynski, M.A., Rice, T.K., Kraus, W.E., Church, T.S., Sung, Y.J., Rao, D.C., Rankinen, T. (2011). Genomic predictors of the maximal O₂ uptake response to standardized exercise training programs. *J Appl Physiol (1985).* 2011 May;110(5):1160-70.
- Buckner, S.L., Jessee, M.B., Mattocks, K.T., Mouser, J.G., Counts, B.R., Dankel, S.J., Loenneke, J.P. (2016). Determining Strength: A Case for Multiple Methods of Measurement. *Sports Med.* 2016 Jul 5.
- Burgomaster, K.A., Hughes, S.C., Heigenhauser, G.J., Bradwell, S.N., Gibala, M.J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol (1985).* 2005 Jun;98(6):1985-90.
- Burgomaster, K.A., Cermak, N.M., Phillips, S.M., Benton, C.R., Bonen, A., Gibala, M.J. (2007). Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007 May;292(5).

Bækkerud, F.H., Solberg, F., Leinan, I.M., Wisløff, U., Karlsen, T., Rognum, Ø. (2016). Comparison of Three Popular Exercise Modalities on $\dot{V}O_2\text{max}$ in Overweight and Obese. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Mar;48(3):491-8.

Campos G.E.R., Luecke T.J., Wendeln H. K., Toma K., Hagerman F.C., Ragg K.E., Ratamess N.A., Kraemer W.J. And Staron R.S. (2002). Muscular Adaptations in Response to Three Different Resistance-Training Regimens: Specificity of Repetition Maximum Training Zones. *Eur J Appl Physiol.* S. 50-60.

Cantrell, G.S., Schilling, B.K., Paquette, M.R., Murlasits, Z. (2014). Maximal strength, power, and aerobic endurance adaptations to concurrent strength and sprint interval training. *Eur J Appl Physiol.* 2014 Apr;114(4):763-71.

Christensen, P.M., Jacobs. R.A., Bonne, T., Flück, D., Bangsbo, J., Lundby, C. (2016). A short period of high-intensity interval training improves skeletal muscle mitochondrial function and pulmonary oxygen uptake kinetics. *J Appl Physiol (1985).* 2016 Jun 1;120(11):1319-27.

Chandler, T.J. (1994). Physiology of aerobic fitness/endurance. *Instr Course Lect.* 1994;43:11-5.

Chtara, M., Chaouachi, A., Levin, G.T., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri, M., Laursen, P.B. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res.* 2008 Jul;22(4):1037-45.

Coffey, V.G., Hawley, J.A. (2017). Concurrent exercise training: do opposites distract? *J Physiol.* 2017 May 1;595(9):2883-2896.

Coffey, V.G., Jemiolo, B., Edge, J., Garnham, A.P., Trappe, S.W., Hawley, J.A. (2009a). Effect of consecutive repeated sprint and resistance exercise bouts on acute adaptive responses in human skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2009 Nov;297(5):R1441-51.

Coffey, V.G., Pilegaard, H., Garnham, A.P., O'Brien, B.J., Hawley, J.A. (2009b). Consecutive bouts of diverse contractile activity alter acute responses in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985). 2009 Apr;106(4):1187-97.

Consort statement: <http://www.consort-statement.org/>

Cotterman, M.L., Darby, L.A., Skelly, W.A. (2005). Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res*. 2005 Feb;19(1):169-76.

Coyle, E.F. (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *J Sci Med Sport*. 1999 Oct;2(3):181-9.

Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J. (2005). Possible Stimuli for Strength and Power Adaptation. *Sports Med*. S. 967-989.

Davis, W.J., Wood, D.T., Andrews, R.G., Elkind, L.M., Davis, W.B. (2008a). Concurrent training enhances athletes' strength, muscle endurance, and other measures. *J Strength Cond Res*. 2008 Sep;22(5):1487-502.

Davis, W.J., Wood, D.T., Andrews, R.G., Elkind, L.M., Davis, W.B. (2008b). Elimination of delayed-onset muscle soreness by pre-resistance cardioacceleration before each set. *J Strength Cond Res*. 2008 Jan;22(1):212-25.

Dolezal, B.A., Potteiger, J.A. (1998). Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *J Appl Physiol* (1985). 1998 Aug;85(2):695-700.

Eichner, E.R. (1995). Overtraining: consequences and prevention. *J Sports Sci*. 1995 Summer;13 Spec No: S41-8.

Enoka, R.M., Fuglevand, A.J. (2001). Motor Unit Physiology: Some Unresolved Issues. *Muscle Nerve*. S.4-17.

Eynon, N., Morán, M., Birk, R., Lucia, A. (2011). The champions' mitochondria: is it genetically determined? A review on mitochondrial DNA and elite athletic performance. *Physiol Genomics*. 2011 Jul 14;43(13):789-98.

- Fiedler, G.B., Schmid, A.I., Goluch, S., Schewzow, K., Laistler, E., Niess, F., Unger, E., Wolzt, M., Mirzahosseini, A., Kemp, G.J., Moser, E., Meyerspeer, M. (2016). Skeletal muscle ATP synthesis and cellular H(+) handling measured by localized (31)P-MRS during exercise and recovery. *Sci Rep.* 2016 Aug 26;6:32037.
- Fitts, R.H., Widrick, J.J. (1996). Muscle Mechanics: Adaptations With Exercise-Training. *Exerc Sport Sci Rev.* S. 427-473.
- Fleck, S.J. (2011). Non-linear periodization for general fitness & athletes. *J Hum Kinet.* 2011 Sep;29A:41-5.
- Folland J.P., Williams, A.G. (2007). The Adaptations to Strength Training- Morphological and Neurological Contribution to Increased Strength. *Sports Med.* S. 145-168
- Foster, C., Farland, C.V., Guidotti, F., Harbin, M., Roberts, B., Schuette, J., Tuuri, A., Doberstein, S.T., Porcari, J.P. (2015). *Journal of Sports Science and Medicine* (2015) 14, 747-755.
- Fyfe, J.J., Bartlett, J.D., Hanson, E.D., Stepto, N.K., Bishop, D.J. (2016). Endurance Training Intensity Does Not Mediate Interference to Maximal Lower-Body Strength Gain during Short-Term Concurrent Training. *Front Physiol.* 2016 Nov 3;7:487.
- Garber, C.E., Blissmer, B., Deschenes, M.R., Franklin, B.A., Lamonte, M.J., Lee, I.M., Nieman, D.C., Swain, D.P.; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Jul;43(7):1334-59.
- Gettman, L.R., Ayres, J.J., Pollock, M.L., Jackson, A. (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports.* 1978 Fall;10(3):171-6.
- Gibala, M.J., Gagnon, P.J., Nindl, B.C. (2015). Military Applicability of Interval Training for Health and Performance. *J Strength Cond Res.* 2015 Nov;29 Suppl 11:S40-5.

Gibala, M.J., Gillen, J.B., Percival, M.E. (2014). Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. *Sports Med.* 2014 Nov;44 Suppl 2:S127-37.

Gibala, M.J., Jones, A.M. (2013). Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;76:51-60.

Gibala, M.J., Little, J.P., MacDonald, M.J., Hawley, J.A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol.* 2012 Mar 1; 590(Pt 5): 1077–1084.

Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green, J.S., Crouse, S.F. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Dec;36(12):2119-27.

Goldspink, G. (1985). Malleability of the Motor System: a Comparative Approach. *J exp.Biol.* 115. 375-391.

González-Badillo, J.J., Gorostiaga, E.M., Arellano, R., Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res.* 2005 Aug;19(3):689-97.

Gosselin, L.E., Kozlowski, K.F., DeVinney-Boymel, L., Hambridge, C. (2012). Metabolic response of different high-intensity aerobic interval exercise protocols. *J Strength Cond Res.* 2012 Oct;26(10):2866-71.

Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., Wilson J., Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *Br J Sports Med.* 1995 Sep; 29(3): 147–152.

Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol (1985).* 2000 Jun;88(6):2131-7.

Hawley, J.A. (2009). Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009 Jun;34(3):355-61.

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Apr;39(4):665-71.

Hepple, R.T., Hagen, J.L., Krause, D.J. (2002). Oxidative capacity interacts with oxygen delivery to determine maximal O₂ uptake in rat skeletal muscles in situ. *J Physiol.* 2002 Jun 15;541(Pt 3):1003-12.

Hickson, R.C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980;45(2-3):255-63.

Hoff, J., Helgerud, J. (2004). Endurance and Strength Training for Soccer Players. *Sports Med. S.* 165-180.

Hurley, B.F., Seals, D.R., Ehsani, A.A., Cartier, L.J., Dalsky, G.P., Hagberg, J.M., Holloszy, J.O. (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc.* 1984 Oct;16(5):483-8.

Huxley, A.F. (2000, a). Cross-bridge Action: Present Views, Prospects, and Unknowns. *Journal of Biomechanics* 33. S. 1189-1195.

Huxley, H.E. (2000, b). Past, Present and Future Experiments On Muscle. *The Royal Society. S.* 539-543.

Häkkinen, K., Alen, M., Komi, P.V. (1985). Changes in Isometric Force- and Relaxation-Time, Electromyographic and Muscle Fibre Characteristics of Human Skeletal Muscle During Strength Training and Detraining. *Acta Physiol Scand. S.* 573-585.

Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2003 Mar;89(1):42-52.

Ingul, C.B., Tjønnå, A.E., Stølen, T.O., Støylen, A., Wisloff, U. (2010). Impaired cardiac function among obese adolescents: effect of aerobic interval training. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2010 Sep;164(9):852-9.

Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibáñez, J., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E.M. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol.* 2005 May;94(1-2):70-5.

Izquierdo-Gabarron, M., González De Txabari Expósito, R., García-pallarés, J., Sánchez-medina, L., De Villarreal, E.S., Izquierdo, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Jun;42(6):1191-9.

James, L.P., Haff, G.G., Kelly, V.G., Beckman, E.M. (2016). Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. *Sports Med.* 2016 Oct;46(10):1525-51.

Jones, T.W., Howatson, G., Russell, M., French, D.N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *J Strength Cond Res.* 2013 Dec;27(12):3342-51.

Keren, G., Magazanik, A., Epstein, Y. (1980). A comparison of various methods for the determination of VO₂max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980;45(2-3):117-24.

Knuiman, P., Hopman, M.T., Mensink, M. (2015). Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutr Metab (Lond).* 2015 Dec 21;12:59.

Komi, P.V. (1986). Training for Muscle Strength and Power: Interaction of Neuromotoric, Hypertrophic, and Mechanical Factors. *Int. J. Sports Med.* 7. S.10-15.

Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K., Newton, R.U., Triplett, N.T., Dziados, J.E. (1995). Compatibility of high-intensity

strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985). 1995 Mar;78(3):976-89.

Kraemer, W.J., Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Med. Sci. Sports exerc. S.* 674-688

Laird, R.H^{4th}, Elmer, D.J., Barberio, M.D., Salom, L.P., Lee, K.A., Pascoe, D.D. (2016). Evaluation of Performance Improvements After Either Resistance Training or Sprint Interval-Based Concurrent Training. *J Strength Cond Res.* 2016 Nov;30(11):3057-3065.

Lander, J.E., Simonton, R.L., Giacobbe, J.K. (1990). The effectiveness of weight-belts during the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Feb;22(1):117-26.

Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B., Logan, P.A. (2003). Concurrent strength and endurance training: the influence of dependent variable selection. *J Strength Cond Res.* 2003 Aug;17(3):503-8.

Levine, B.D. (2008). VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol.* 2008 Jan 1;586(1):25-34.

Lundby, C., Jacobs, R.A. (2016). Adaptations of skeletal muscle mitochondria to exercise training. *Exp Physiol.* 2016 Jan;101(1):17-22.

MacInnis, M.J., Gibala, M.J. (2016). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol.* 2016 Oct 17. doi: 10.1113/JP273196.

Mann, J.B., Thyfault, J.P., Ivey, P.A., Sayers, S.P. (2010). The effect of autoregulatory progressive resistance exercise vs. linear periodization on strength improvement in college athletes. *J Strength Cond Res.* 2010 Jul;24(7):1718-23.

Mangine, G.T., Hoffman, J.R., Gonzalez, A.M., Townsend, J.R., Wells, A.J., Jajtner, A.R., Beyer, K.S., Boone, C.H., Miramonti, A.A., Wang, R., LaMonica, M.B., Fukuda, D.H., Ratamess, N.A., Stout, J.R. (2015). The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiol Rep.* 2015 Aug;3(8).

Mazzetti, S.A., Kraemer, W.J., Volek, J.S., Duncan, N.D., Ratamess, N.A., Gomez, A.L., Newton, R.U., Hakkinen, K., Fleck, S.T. (2000). The Influence of Direct Supervision of Resistance Training on Strength Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 32, No. 6, S. 1175-1184.

McCarthy, J.P., Agre, J.C., Graf, B.K., Pozniak, M.A., Vailas, A.C. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1995 Mar;27(3):429-36.

McCarthy, J.P., Pozniak, M.A., Agre, J.C. (2002). Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Mar;34(3):511-9.

McGlory, C., Phillips, S.M. (2015). Exercise and the Regulation of Skeletal Muscle Hypertrophy. *Prog Mol Biol Transl Sci.* 2015;135:153-73.

McKendry, J., Pérez-López, A., McLeod, M., Luo, D., Dent, J.R., Smeuninx, B., Yu, J., Taylor, A.E., Philp, A., Breen, L. (2016). Short inter-set rest blunts resistance exercise-induced increases in myofibrillar protein synthesis and intracellular signalling in young males. *Exp Physiol.* 2016 Jul 1;101(7):866-82.

Medbø, J.I., Tabata, I. (1985). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* (1985). 1989 Nov;67(5):1881-6.

Menz V., Strobl, J., Faulhaber, M., Gatterer, H., Burtscher, M. (2015). Effect of 3-week high-intensity interval training on VO₂max, total haemoglobin mass, plasma and blood volume in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2015 Nov;115(11):2349-56. doi: 10.1007/s00421-015-3211-z. Epub 2015 Jul 12.

Milanovic, Z., Sporis, G., Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A

Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Med.* 2015 Oct;45(10):1469-81. doi: 10.1007/s40279-015-0365-0.

Miranda, F., Simão, R., Rhea, M., Bunker, D., Prestes, J., Leite, R.D., Miranda, H., de Salles, B.F., Novaes, J. (2011). Effects of linear vs. daily undulatory periodized resistance training on maximal and submaximal strength gains. *J Strength Cond Res.* 2011 Jul;25(7):1824-30.

Murach, K.A., Bagley, J.R. (2016). Skeletal Muscle Hypertrophy with Concurrent Exercise Training: Contrary Evidence for an Interference Effect. *Sports Med.* 2016 Aug;46(8):1029-39

Nader, G.A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc.* 2006 Nov;38(11):1965-70.

Narici, M., Franchi, M., Maganaris, C. (2016). Muscle structural assembly and functional consequences. *J Exp Biol.* 2016 Jan;219(Pt 2):276-84.

Nicholson, G., Ispoglou, T., Bissas, A. (2016). The impact of repetition mechanics on the adaptations resulting from strength-, hypertrophy- and cluster-type resistance training. *Eur J Appl Physiol.* 2016 Oct;116(10):1875-88.

Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M.D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., Bülow, J., Randers, M.B., Nielsen, J.J., Aagaard, P., Krstrup, P. (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Oct;42(10):1951-8.

Peterson, M.D., Rhea, M.R., Alvar, B.A. (2005). Applications of the Dose-Response For Muscular Strength Development: A Review of Meta-Analytic Efficacy and Reliability For Designing Training Prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research.* S. 950-958.

Peterson, M.D., Rhea, M.R., Alvar, B.A. (2004). Maximizing Strength Development in Athletes: A Meta-Analysis to Determine the Dose-Response Relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*. S. 377-382.

Pette, D., Staron, R.S. (2001). Transitions of muscle fiber phenotypic profiles. *Histochem Cell Biol*. 2001 May;115(5):359-72.

Psilander, N., Frank, P., Flockhart, M., Sahlin, K. (2015). Adding strength to endurance training does not enhance aerobic capacity in cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Aug;25(4):e353-9.

Putman, C.T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I.M., Bell, G.J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Aug;92(4-5):376-84.

Ramos, J.S., Dalleck, L.C., Tjonna, A.E., Beetham, K.S., Coombes, J.S. (2015). The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2015 May;45(5):679-92.

Reed, J.P., Schilling, B.K., Murlasits, Z. (2013). Acute neuromuscular and metabolic responses to concurrent endurance and resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2013 Mar;27(3):793-801.

Reynolds, J.M., Gordon, T.J., Robergs, R.A. (2006). Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. *J Strength Cond Res*. 2006 Aug;20(3):584-92.

Rhea, MR. Alvar, BA. Burkett, LN. Ball, SD. (2003). A Meta-analysis to Determine the Dose Response for Strength Development. *Med. Sci. Sports Exerc.* , Vol. 45, No. 3, S. 456-464.

Richardson, S.L., Swietach, P. (2016). Red blood cell thickness is evolutionarily constrained by slow, hemoglobin-restricted diffusion in cytoplasm. *Sci Rep*. 2016 Oct 25;6:36018.

Richmond, S.R., Godard, M.P. (2004). The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *J Strength Cond Res.* 2004 Nov;18(4):846-9.

Roxburgh, B.H., Nolan, P.B., Weatherwax, R.M., Dalleck, L.C. (2014). Is Moderate Intensity Exercise Training Combined with High Intensity Interval Training More Effective at Improving Cardiorespiratory Fitness than Moderate Intensity Exercise Training Alone? *Journal of Sports Science and Medicine* (2014) 13, 702-707.

Rønnestad, B.R., Egeland, W., Kvamme, N.H., Refsnes, P.E., Kadi, F., Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res.* 2007 Feb;21(1):157-63.

Sale, D.G. (1987). Influence of Exercise and Training on Motor Unit Activation. *Exerc Sport Sci Rev.* S. 95-151.

de Salles, B.F., Simão, R., Miranda, F., Novaes, J.d.a, S., Lemos, A., Willardson, J.M. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Med.* 2009;39(9):765-77.

Saltin, B. (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *Am J Cardiol.* 1985 Apr 26;55(10):42D-47D.

Sand, O., Sjaastad, Ø.V., Haug, E., med ill Toverud, K.C. (2011) *Menneskets Fysiologi.* Gyldendal

Schoenfeld, B.J., Ogborn, D.I., Krieger, J.W. (2015a). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2015 Apr;45(4):577-85.

Schoenfeld, B.J., Ogborn, D., Krieger, J.W. (2016a). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2016 Nov;46(11):1689-1697.

Schoenfeld, B.J., Peterson, M.D., Ogborn, D., Contreras, B., Sonmez, G.T. (2015b) Effects of Low- Versus High Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research Publish Ahead of Print. S. 1-23*

Schoenfeld, B.J., Pope, Z.K., Benik, F.M., Hester, G.M., Sellers, J., Nooner, J.L., Schnaiter, J.A., Bond-Williams, K.E., Carter, A.S., Ross, C.L., Just, B.L., Henselmans, M., Krieger, J.W. (2016b). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res. 2016 Jul;30(7):1805-12.*

Schoenfeld, B.J., Ratamess, N.A., Peterson, M.D., Contreras, B., Tiriyaki-Sonmez, G. (2015c). Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res. 2015 Jul;29(7):1821-9.*

Scribbans, T.D., Vecsey, S., Hankinson, P.B., Foster, W.S., Gurd, B.J. (2016). The Effect of Training Intensity on VO₂max in Young Healthy Adults: A Meta-Regression and Meta-Analysis. *Int J Exerc Sci. 2016 Apr 1;9(2):230-247.*

Secher, N.H., Volianitis, S. (2006). Are the arms and legs in competition for cardiac output? *Med Sci Sports Exerc. 2006 Oct;38(10):1797-803.*

Seo, D.I., Kim, E., Fahs, C.A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S.L., Thiebaud, R., Sherk, V.D., Loenneke, J.P., Kim, D., Lee, M.K., Choi, K.H., Bemben, D.A., Bemben, M.G., So, W.Y. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med. 2012 Jun 1;11(2):221-5.*

Shaw, B.S., Shaw, I., Brown, G.A. (2009). Comparison of resistance and concurrent resistance and endurance training regimes in the development of strength. *J Strength Cond Res. 2009 Dec;23(9):2507-14.*

Slade, S.C., Keating, J.L. (2012). Exercise prescription: a case for standardised reporting. *Br J Sports Med. 2012 Dec;46(16):1110-3.*

Smerdu, V., Karsch-Mizrachi, I., Campione, M., Leinwand, L., Schiaffino, S. (1994). Type IIx myosin heavy chain transcripts are expressed in type IIb fibers of human skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol* 267: C1723–C1728

de Souza, E.O., Tricoli, V., Roschel, H., Brum, P.C., Bacurau, A.V., Ferreira, J.C., Aoki, M.S., Neves-Jr, M., Aihara, A.Y., da Rocha Correa Fernandes, A., Ugrinowitsch, C. (2013). Molecular adaptations to concurrent training. *Int J Sports Med.* 2013 Mar;34(3):207-13.

Souza, E.O., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Roschel, H., Lowery, R.P., Aihara, A.Y., Leão, A.R., Wilson, J.M. (2014). Early adaptations to six weeks of non-periodized and periodized strength training regimens in recreational males. *J Sports Sci Med.* 2014 Sep 1;13(3):604-9.

Sporer, B.C., Wenger, H.A. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J Strength Cond Res.* 2003 Nov;17(4):638-44.

Stoppani, J. (2014). *Jims Stoppani's Encyclopedia of Muscle & Strength*. United States: Human Kinetics

Støren, Ø., Rønnestad, B.R., Sunde, A., Hansen, J., Ellefsen, S., Helgerud, J. (2014). A time-saving method to assess power output at lactate threshold in well-trained and elite cyclists. *J Strength Cond Res.* 2014 Mar;28(3):622-9.

Støren, Ø., Ulevåg, K., Larsen, M.H., Støa, E.M., Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *J Strength Cond Res.* 2013 Sep;27(9):2366-73.

Sullivan, G.M. (2011). Getting off the "gold standard": randomized controlled trials and education research. *J Grad Med Educ.* 2011 Sep;3(3):285-9.

Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M.H., Hoff, J., Helgerud, J. (2009). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res.* 2010 Aug;24(8):2157-65.

Sylta, Ø., Tønnessen, E., Hammarström, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Ravn, T., Rønnestad, B.R., Sandbakk, Ø., Seiler, S. (2016). The Effect of Different High-Intensity Periodization Models on Endurance Adaptations. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Nov;48(11):2165-2174.

Tjønnå, A.E., Lee, S.J., Rognmo, Ø., Stølen, T.O., Bye, A., Haram, P.M., Loennechen, J.P., Al-Share, Q.Y., Skogvoll, E., Slørdahl, S.A., Kemi, O.J., Najjar, S.M., Wisløff, U. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation*. 2008 Jul 22;118(4):346-54.

Toigo, M., Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Aug;97(6):643-63.

Trexler, E.T., Smith-Ryan, A.E., Norton, L.E. (2014). Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *J Int Soc Sports Nutr*. 2014 Feb 27;11(1):7.

Tupling A.R. (2004). The sarcoplasmic reticulum in muscle fatigue and disease: role of the sarco(endo)plasmic reticulum Ca²⁺-ATPase. *Can J Appl Physiol* 29: 308–329, 2004.

Varela-Sanz, A., Tuimil, J.L., Abreu, L., Boullosa, D.A. (2016). Does concurrent training intensity distribution matter?. *J Strength Cond Res*. 2016 May 9.

Wang, E., Næss, M.S., Hoff, J., Albert, T.L., Pham, Q., Richardson, R.S., Helgerud, J. (2013). Exercise-training-induced changes in metabolic capacity with age: the role of central cardiovascular plasticity. *Age (Dordr)*. 2014 Apr;36(2):665-76.

Wagner, P.D. (1995). Limitations of Oxygen Transport to the Cell. *Intensive Care Med* (1995) 21:391-398.

Wagner, P.D. (1996). Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu Rev Physiol*. 1996; 58:21-50.

Westerblad, H., Lee, J.A., Lännergren, J., Allen, D.G. (1991). Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *Am J Physiol*. 1991 Aug;261(2 Pt 1):C195-209.

Willardson, J.M., Burkett, L.N. (2005). A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res*. 2005 Feb;19(1):23-6.

Wilson, J.M., Marin, P.J., Rhea, M.R., Wilson, S.M., Loenneke, J.P., Anderson, J.C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res.* 2012 Aug;26(8):2293-307.

Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J.P., Bruvold, M., Rognmo, Ø., Haram, P.M., Tjønnå, A.E., Helgerud, J., Slørdahl, S.A., Lee, S.J., Videm, V., Bye, A., Smith, G.L., Najjar, S.M., Ellingsen, Ø., Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation.* 2007 Jun 19;115(24):3086-94.

Wisløff, U., Ellingsen, Ø., Kemi, O.J. (2009). High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exerc Sport Sci Rev.* 2009 Jul;37(3):139-46.

Wood, K.M., Olive, B., LaValle, K., Thompson, H., Greer, K., Astorino, T. (2016). Dissimilar Physiological and Perceptual Responses Between Sprint Interval Training and High-Intensity Interval Training. *Journal of Strength and Conditioning.* 30(1)/244-250.

Zhou, B., Conlee, R.K., Jensen, R., Fellingham, G.W., George, J.D., Garth Fisher, A. (2001). Stroke Volume Does Not Plateau During Graded Exercise In Elite Male Distance Runners. *Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 33. 11, 2001, pp. 1849-1854.*

Zajac, A.1., Chalimoniuk, M., Maszczyk, A., Gołaś, A., Lngfort, J. (2015). Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise - A Critical Review. *J Hum Kinet.* 2015 Dec 30;49:159-69.

Østerås, H., Hoff, J., Helgerud, J. (2005). Effects of High-Intensity Endurance Training on Maximal Oxygen Consumption in Healthy Elderly People. *The Journal of Applied Gerontology, Vol. 24 No. 5, November 2005 377-387.*

8.0. Vedlegg

Test av $\dot{V}O_{2max}$

Informasjon

Før testen vil du bli veid. Dette for å kunne uttrykke oksygenopptaket i milliliter oksygen 1kg kroppsvekt /minutt. Ved første gangs test må du også ha fylt ut registreringsskjemaet. Du vil så få påsatt et pulsbelte som registrerer hjerterefrekvensen din gjennom hele forsøket.

Oppvarmingen bør være progressiv, og vare minimum 10 min- maksimum 20 min.

Dersom det er foretatt en melkesyretærskel-test i forkant, varmes det ikke ekstra opp. Når oppvarmingen er ferdig, får du ca ett minutt å hvile på, før en trinnvis test på tredemølle eller sykkel. Her foretas en direkte-måling av oksygenopptaket. Du får påsatt et munnstykke og en neseklype som skal være på under hele testen.

Testen vil foregå på tredemølle (motbakke 1.5%, 3.0%, 5.25 %/0, 7.0%/0 eller 12.0%), eller på sykkel.

Du starter på en belastning som er avhengig av motbakke og fysisk form. Sykkelen får på 150 kpm (25 W) ekstra ca hvert 30. sekund (eller etter avtale med utøveren). Farten på tredemøllen øker vanligvis med 0.5 km/t hvert 30. sekund. Vi analyserer kontinuerlig uften du puster ut, og kan dermed se hvor mye oksygen som forbrukes pr. minutt.

Testen avsluttes når du har nådd det maksimale oksygenopptaket (avflatning av $\dot{V}O_2$ -kurven, eller evt. andre parametre er nådd), eller når du ikke orker mer. Dette kan ta fra ca 2 minutter og opp til ca 8 minutter. Dersom makspuls (eller riktigere: Hf peak) skal testes, får du evt. et nytt

maksimaldrag etter det første. Dette draget varer ca 2-3 min. Teststans er det vi kaller for "frivillig utmattelse". Det vil si at du avslutter når du ikke orker mer. Det er viktig å understreke at du selv kjenner dette best. Du kan når du vil avbryte testen dersom du skulle føle ubehag utover det som du normalt kjenner som "ordentlig sliten". Med andre ord: stopp dersom du mener at noe ikke er slik det burde være.

For at testen skal bli mest mulig vellykket og så sikker som mulig, er forberedelsen viktige. Du bør:

- Ikke ha fått påvist en sykdom eller skade som gjør det farlig for deg å presse deg
- Ikke hatt sykdom med feber eller luftveisinfeksjon siste tre døgn (høst siste uke)
- Ikke trenet hardt de siste 24 t
- Ikke drikke alkohol siste 24 t
- Ikke innta tobakk eller koffein siste 4 t
- Ikke spise siste 2 t
- Ikke drikke annet enn vann siste 2 t
- Føle deg mest mulig utvilt til testen
- Ellers leve mest mulig som normalt før testen

- Kom til test med kort bukse og T-skjorte / sykkeløy, og vanlige trenings/ joggesko, evt sykkelsko.
- Lykke til! Høgskolen i Telemark

REGISTRERINGSSKJEMA FOR TESTING AV MAKSIMALT OKSYGENOPPTAK Etternavn:	Fornavn:	Født:
	Høyde:	Vekt:
Telefon:		Telefon kontaktperson:

Siden det er første gang du testes ved idrettsfysiologisk testlaboratorium, ber vi deg lese nøye igjennom alle spørsmålene på denne listen. Kryss av enten JA eller NEI for hvert spørsmål. Dette er viktig i forhold til hvordan vi gjennomfører testingen av deg.

JA	NEI
1	Kjenner du til at du har en hjertesykdom?
2	Hender det at du får brystmerter i hvile eller i forbindelse med fysisk aktivitet?
3	Kjenner du til at du har høyt blodtrykk?
4	Bruker du for tiden medisiner for høyt blodtrykk eller hjertesykdom (f.eks vanndrivende tabletter?) Røyker du?
5	Bruker du snus?
6	Kjenner du til om du har høyt kolesterolnivå i blodet?
6	Har du besvimt siste 6 måneder i forbindelse med fysisk aktivitet?
7	Hender det at du mister balansen på grunn av svimmelhet? Har du sukkersyke?
8	Er du fysisk inaktiv og har et stillesittende arbeid?
9	Bruker medisiner fast — mot:
10	Har du eller har du hatt en luftveisinfeksjon i lø et av siste uke?
11	
12	

Jeg / vi har også lest i gjennom forberedelseskjema for testen, og er inneforstått med hvordan testen foregår.

Dato Underskrift

Dato Underskrift av foresatt dersom testpersonen er under 18 år

Region: REK sør-øst	Saksbehandler: Gjøril Bergva	Telefon: 22845529	Vår dato: 07.03.2016	Vår referanse: 2016/94 REK sør-øst D
			Deres dato: 12.01.2016	Deres referanse:

Vår referanse må oppgis ved alle henvendelser

Solfrid Bratland-Sanda
Høgskolen i Telemark

2016/94 Effekten av et styrketreningsregime med implementert kardioacceleration på VO2max og 1RM

Vi viser til søknad om forhåndsgodkjenning av ovennevnte forskningsprosjekt. Søknaden ble behandlet av Regional komité for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK sør-øst D) i møtet 17.02.2016. Vurderingen er gjort med hjemmel i helseforskningsloven § 10, jf. forskningsetikkloven § 4.

Forskningsansvarlig: Høgskolen i Telemark

Prosjektleder: Solfrid Bratland-Sanda

Prosjektleders prosjektbeskrivelse

Dette prosjektet skal se hva slags effekt en kombinasjon av styrketrening og utholdenhetstrening har på VO2max og 1RM hos styrketrente i en periode på 6 uker. Designet er en randomisert kontrollert studie. Treningsprotokollen vil bestå av 3 treningsøkter i uka med en styrketreningsprogram der det skal utføres 1 minutt med utholdenhetstrenings mellom hver serie i stedet for hvile eller aktiv hvile i treningsgruppen. Kontrollgruppen utfører ikke utholdenhetstrening mellom seriene og har hvile i stedet. begge gruppene utfører en 3 dagers treningsplitt der dag 1 har fokus på brystmuskulatur og triceps, dag to vil være ryggmuskulatur og biceps mens dag 3 vil være beinmuskulatur og skuldre. Intervensjonen vil ha en pre og post design med testing av VO2max på tredemølle og 1RM i benkpress, knebøy, nedtrekk og markløft.

Vurdering

Prosjektet skal undersøke effekten av kombinasjon av styrketrening og utholdenhetstrening på VO2max og 1RM hos styrketrente.

Komiteen vurderer at prosjektet, slik det er presentert i søknad og protokoll, ikke vil gi ny kunnskap om helse og sykdom som sådan. Fokus er snarere på prestasjon og på å forbedre styrke hos friske personer. Prosjektet faller derfor utenfor REKs mandat etter helseforskningsloven, som forutsetter at formålet med prosjektet er å skaffe til veie "ny kunnskap om helse og sykdom", se lovens § 2 og § 4 bokstav a).

Det kreves ikke godkjenning fra REK for å gjennomføre prosjektet. Det er institusjonens ansvar å sørge for at prosjektet gjennomføres på en forsvarlig måte med hensyn til for eksempel regler for taushetsplikt og personvern samt innhenting av stedlige godkjenninger.

Vedtak

Prosjektet faller utenfor helseforskningslovens virkeområde, jf. § 2 og § 4 bokstav a). Det kreves ikke godkjenning fra REK for å gjennomføre prosjektet.



Harald Hårfagres gate 29
N-5007 Bergen
Norway
Tel: +47-55 58 21 17
Fax: +47-55 58 96 50
nsd@nsd.uib.no
www.nsd.uib.no
Org.nr: 985 321 884

Solfrid Bratland-Sanda
Institutt for idretts- og friluftslivsfag Høgskolen i Telemark
Hallvard Eikas plass 33
3800 BØ I TELEMARK

Vår dato: 11.03.2016

Vår ref: 45846 / 3 / AH

Deres dato:

Deres ref:

TILBAKEMELDING PÅ MELDING OM BEHANDLING AV PERSONOPPLYSNINGER

Vi viser til melding om behandling av personopplysninger, mottatt 26.11.2015. Meldingen gjelder prosjektet:

<i>45846</i>	<i>Effekten av et styrketreningsregime med implementert kardioacceleration på V02max og 1RM</i>
<i>Behandlingsansvarlig</i>	<i>Høgskolen i Telemark, ved institusjonens øverste leder</i>
<i>Daglig ansvarlig</i>	<i>Solfrid Bratland-Sanda</i>
<i>Student</i>	<i>Kiarash Athari</i>

Personvernombudet har vurdert prosjektet, og finner at behandlingen av personopplysninger vil være regulert av § 7-27 i personopplysningsforskriften. Personvernombudet tilrår at prosjektet gjennomføres.

Personvernombudets tilråding forutsetter at prosjektet gjennomføres i tråd med opplysningene gitt i meldeskjemaet, korrespondanse med ombudet, ombudets kommentarer samt personopplysningsloven og helseregisterloven med forskrifter. Behandlingen av personopplysninger kan settes i gang.

Det gjøres oppmerksom på at det skal gis ny melding dersom behandlingen endres i forhold til de opplysninger som ligger til grunn for personvernombudets vurdering. Endringsmeldinger gis via et eget skjema, <http://www.nsd.uib.no/personvern/meldeplikt/skjema.html>. Det skal også gis melding etter tre år dersom prosjektet fortsatt pågår. Meldinger skal skje skriftlig til ombudet.

Personvernombudet har lagt ut opplysninger om prosjektet i en offentlig database, <http://pvo.nsd.no/prosjekt>.

Personvernombudet vil ved prosjektets avslutning, 31.05.2017, rette en henvendelse angående status for behandlingen av personopplysninger.

Vennlig hilsen

Vigdis Namtvedt Kvalheim

Åsne Halskau

Kontaktperson: Åsne Halskau tlf: 55 58 21 88

Vedlegg: Prosjektvurdering

Dokumentet er elektronisk produsert og godkjent ved NSDs rutiner for elektronisk godkjenning.

Avdelingskontorer / District Offices:

OSLO: NSD, Universitetet i Oslo, Postboks 1055 Blindern, 0316 Oslo. Tel: +47-22 85 52 11. nsd@uio.no

TRONDHEIM: NSD, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 7491 Trondheim. Tel: +47-73 59 19 07. kyrre.svarva@svt.ntnu.no

TROMSØ: NSD, SVF, Universitetet i Tromsø, 9037 Tromsø. Tel: +47-77 64 43 36. nsdmaa@sv.uit.no