

Hanne Holmen Eggereide

Lungefunksjon, lungevolum,
diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke
og maksimalt oksygenopptak hos svømmere i
alderen 8–10 år og 15–18 år

En observasjonell kasus-kontroll studie

Masteroppgave i idrettsvitenskap
Seksjon for idrettsmedisinske fag
Norges idrettshøgskole, 2019

Sammendrag

Bakgrunn: Mange av kroppens organer og vev har en evne til å tilpasse seg den belastningen de utsettes for. Det er kjent at kondisjonen kan forbedres gjennom trening, men i hvilken grad påvirkes lungefunksjonen påvirkes er uklart. Enkelte studier har rapportert bedre lungefunksjon hos idrettsaktive sammenlignet med inaktive kontroller. Andre studier har vist bedre lungefunksjon hos svømmere sammenlignet med utøvere fra landbaserte idretter. Den observerte tendensen gir opphav til spekulasjoner. Bedre genetiske forutsetninger eller ulike aspekter ved svømmetreningen trekkes frem som mulige forklaringer. Hensikten med denne studien er å undersøke om det er forskjeller i lungefunksjon og kondisjon mellom svømmere og aktive kontroller i to ulike aldersgrupper. Den yngste gruppen representerer pre-pubertale barn, mens den eldste gruppen i hovedsak består av post-pubertale ungdommer.

Metode: Studien er en observasjonell kasus-kontroll studie bestående av svømmere i alderen 8–10 år (n=14), svømmere i alderen 15–18 år (n=15) og aktive kontroller i samme aldersgrupper. Variablene som ble undersøkt var forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten (FEV₁), forsert vitalkapasitet (FVC), total lungekapasitet (TLC), residualvolum (RV), diffusjonskapasitet for karbonmonoksid (DL_{CO}) og respiratorisk muskelstyrke (PI- og PE_{maks}). Maksimalt oksygenopptak ($\dot{V}O_{2maks}$) ble testet ved løp på tredemølle. I tillegg ble kroppssammensetning, -høyde og brystomkrets målt. Treningsvaner og pubertetsstatus ble rapportert via spørreskjema.

Resultat: Det var ingen statistisk signifikante forskjeller mellom svømmerne og kontrollene i den yngste gruppen, hverken for lungefunksjonsvariablene, $\dot{V}O_{2maks}$, antropometri eller treningsvaner. I den eldste gruppen var det ingen statistisk signifikante forskjeller i lungefunksjonsvariabler, men guttene i kontrollgruppen hadde signifikant ($p = 0,027$) høyere $\dot{V}O_{2maks}$ enn guttene i svømmegruppen med henholdsvis median (IQR) 68,9 (8,6) ml·kg⁻¹·min⁻¹ og 62,8 (9,4) ml·kg⁻¹·min⁻¹. De mannlige svømmerne hadde signifikant ($p = 0,001$) større brystomkrets sammenlignet med kontrollgruppen på henholdsvis (gjennomsnitt ± SD) 94,5 ± 6,3 cm og 83,8 ± 4,0 cm. Antall treningstimer per uke (t/uke) var signifikant ($p < 0,01$) høyere for svømmerne sammenlignet med samme kjønn i kontrollgruppen. De mannlige svømmerne trente i gjennomsnitt 22,1 ± 3,8 t/uke og kontrollgruppen 12,7 ± 2,9 t/uke. De kvinnelige svømmere trente i gjennomsnitt 21,07 ± 1,2 t/uke og kontrollgruppen 10,2 ± 2,5 t/uke.

Konklusjon: Det var ingen forskjeller i lungefunksjon, lungevolum, diffusjonskapasitet eller respiratorisk muskelstyrke mellom svømmere og kontroller i noen av aldersgruppene. Guttene i kontrollgruppen i den eldste årsklassen hadde signifikant høyere $\dot{V}O_{2maks}$ enn jevnaldrende svømmere.

Forord

Innlevering av masteroppgaven markerer slutten på fem fine år som student ved Norges idrettshøgskole. Jeg vil gjerne benytte anledningen til å takke de som har vært med meg på veien og bidratt til gode minner og arbeidet med masteroppgaven.

Tusen takk til min fremragende veileder Trine Stensrud, for at jeg fikk ta del i dette prosjektet. Takk for dine raske og konstruktive tilbakemeldinger, din energi og ditt blide vesen som inspirerer og motiverer. Jeg vil også rette en stor takk til min dyktige biveileder May Grydeland for all hjelp. Samarbeidet har vært eksemplarisk og jeg føler meg heldig som har hatt dere med på laget.

Beklager til Oddbjørn for at du måtte jobbe sene kvelder på grunn av meg, håper du har fått den avspaseringen du fortjener. Det har vært veldig givende å lære av deg på laboratoriet. Du er en dyktig kar, alltid forberedt og nøye i alt du foretar deg. Tusen takk!

Uten forsøkspersoner hadde det aldri blitt noe prosjekt, så tusen takk til alle deltakere og foreldre. Takk til trenere og oppmenn for hjelp med organisering av testing.

Via NIH har jeg blitt kjent med mange flotte mennesker. Jeg vil spesielt takke mine medstudenter, Kristine og Vilde, for at jeg kan dele masterlivets gleder og frustrasjon med dere. Studietiden ville heller ikke vært den samme uten Pia, Thea, Ingunn og Marte.

Min kjære samboer og det smarteste mennesket jeg kjenner, Even, takk for at du får meg til å smile hver dag. Veldig stolt av alt du får til!

Takk til mine gode kollegaer for oppmuntring, tips og beroligende tilbakemeldinger.

Sist, men ikke minst takk til familien som alltid støtter meg og heier på meg!

*Hanne Holmen Eggereide
Oslo, mai 2019*

Innhold

Sammendrag	3
Forord	4
1. Innledning.....	7
1.1 Problemstilling	8
1.2 Hypoteser.....	8
2. Teori.....	9
2.1 Vekst og utvikling	9
2.1.1 Måling av pubertetsstatus	10
2.2 Respirasjonssystemet.....	11
2.2.1 Luftveienes anatomi og fysiologi	11
2.2.2 Måling av lungefunksjon.....	14
2.2.3 Kan idrettsspesifikk trening påvirke utvikling av lungene?	17
2.3 Sirkulasjonssystemet	19
2.3.1 Maksimalt oksygenopptak.....	19
2.3.2 Måling av maksimalt oksygenopptak.....	21
2.3.3 Utvikling av maksimalt oksygenopptak gjennom puberteten	22
2.3.4 Trenbarhet av maksimalt oksygenopptak hos barn og unge	23
3. Metode	25
3.1 Studiedesign	25
3.1.1 Utvalg og rekruttering	26
3.1.2 Inklusjons- og eksklusjonskriterier	26
3.2 Protokoll for datainnsamling.....	26
3.2.1 Antropometri	26
3.2.2 Kroppssammensetning (InBody 720).....	26
3.2.3 Spirometri	27
3.2.4 Respiratorisk muskelstyrke	27
3.2.5 Diffusjonskapasitet	28
3.2.6 Lungevolum og luftveismotstand.....	28
3.2.7 Maksimalt oksygenopptak.....	29
3.2.8 Spørreskjema	30
3.3 Forskningsetikk	31
3.4 Analyse av data	31
4. Resultater	32
4.1 Utvalg	32
4.2 Hovedfunn	33

4.3	Pubertetsutvikling	36
5.	Diskusjon	37
5.1	Yngste gruppe	37
5.1.1	Lungefunksjon.....	37
5.1.2	Maksimalt oksygenopptak.....	38
5.1.3	Utvalg.....	39
5.2	Eldste gruppe	40
5.2.1	Lungefunksjon.....	40
5.2.2	Maksimalt oksygenopptak.....	44
5.2.3	Utvalg.....	45
5.3	Metodediskusjon.....	46
5.3.1	Styrker og svakheter	46
5.3.2	Målemetoder.....	47
5.4	Videre forskning	48
6.	Konklusjon	49
	Referanser	50
	Tabelloversikt.....	60
	Figuroversikt	61
	Forkortelser.....	62
	Vedlegg.....	63

1. Innledning

Mange av kroppens organer og vev påvirkes av fysisk aktivitet og har en evne til å tilpasse seg regelmessig trening. Denne tilpasningen fører til at man blir god på det man trener på, i tråd med spesifisitetsprinsippet. Således vil styrketrening føre til endringer i muskulaturen og kondisjonstrening forbedre hjertets pumpekapasitet. Da er det kanskje naturlig å anta at også lungefunksjonen forbedres som et resultat av trening. Hos friske utøvere ansees ikke det pulmonale systemet å utgjøre en begrensning for prestasjonen (Dempsey, Gledhill, Reddan, Forster, Hanson & Claremont, 1977). En årsak til dette er lungevevets store areal, som kan sammenlignes med størrelsen av en halv tennisbane (McArdle, Katch & Katch, 2015) og dermed beskrives som overdimensjonert for våre behov. I tillegg er lungevolum i stor grad bestemt av kjønn, alder, høyde og vekt (Armour, Donnelly & Bye, 1993). Lungene og luftveiene vokser betydelig gjennom barndommen og ungdomsårene, som en naturlig konsekvens av vekst og utvikling (Åstrand, Rodahl, Dahl & Strømme, 2003). Er det dermed bestemt hvor stort lungevolum og hvor god lungekapasitet man får, eller er det mulig å påvirke utviklingen via trening?

Enkelte studier viser at idrettsaktive som driver landbasert aktivitet ikke forbedret lungefunksjon (Kippelen, Caillaud, Robert, Connes, Godard & Prefaut, 2005) eller lungevolum (Doherty & Dimitriou, 1997) etter en periode med trening. Andre har funnet økt lungevolum hos de som driver utholdenhetsidrett sammenlignet med ballspport, kraft- og tekniske idretter (Lazovic et al., 2015). Spesielt blant svømmere er det observert høyere lungevolum sammenlignet med inaktive kontroller, (Andrew, Becklake, Guleria, & Bates, 1972; Zinman & Gaultier, 1987; Clanton, Dixon, Drake & Gadek, 1987) løpere, (Cordain, Tucker, Moon & Stager, 1990) og fotballspillere (Lazovic-Popovic, Zlatkovic-Svenda, Durmic, Cjelic, Djordjevic Saranovic & Zugic, 2016). Det er også observert bedre lungefunksjon hos svømmere sammenlignet med aktive kontroller (Doherty & Dimitriou, 1997; Armour et al., 1993; Lazovic-Popovic et al., 2016). Det nevnes flere mulige årsaker for disse funnene, hvorav en teori er bedre genetiske forutsetninger. Følgelig kan større lungevolum skyldes arv eller en konsekvens av økte antropometriske mål (Doherty & Dimitriou, 1997; Malina, 1982; Lazovic-Popovic et al., 2016). En annen teori knyttes til den spesifikke svømmetreningen, fordi den skiller seg fra landbaserte idretter på flere områder.

Svømmerne innehar en horisontal posisjon i vannet, de opplever økt trykk mot brystkassen fordi tettheten i vann er høyere enn i luft, samtidig som de følger et bestemt pustemønster hvor de tvinges til å holde pusten over lengre perioder (Bougault, Turmel, Levesque & Boulet, 2009; Lazovic-Popovic et al., 2016).

Hensikten med denne studien er dermed å sammenligne lungefunksjon, lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og maksimalt oksygenopptak hos en gruppe svømmere i alderen 8–10 år, svømmere i alderen 15–18 år og aktive kontroller i tilsvarende aldersgrupper. Den yngste gruppen representerer pre-pubertale barn, mens den eldste gruppen i hovedsak består av post-pubertale ungdommer.

1.1 Problemstilling

Har svømmere i alderen 8–10 år og 15–18 år økt lungefunksjon (FEV_1 , FVC), lungevolum (TLC), diffusjonskapasitet (DL_{CO}), respiratorisk muskelstyrke (PI_{maks} , PE_{maks}) og maksimalt oksygenopptak ($\dot{V}O_{2maks}$) sammenlignet med jevnaldrende kontroller fra andre kondisjonsidretter?

1.2 Hypoteser

Følgende hypoteser ble formulert ut fra problemstillingen:

H₀: Det er ingen forskjell i lungefunksjon, lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og maksimalt oksygenopptak mellom svømmere i alderen 8–10 og 15–18 år sammenlignet med jevnaldrende kontroller fra andre kondisjonsidretter.

H₁: Det er forskjell i lungefunksjon, lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og maksimalt oksygenopptak mellom svømmere i alderen 8–10 og 15–18 år sammenlignet med jevnaldrende kontroller fra andre kondisjonsidretter.

2. Teori

2.1 Vekst og utvikling

Barn og unge utvikler seg kontinuerlig på vei mot en voksen kropp. De første 20 årene av livet blir barna høyere, tyngre, øker sin muskel- og fettmasse, samtidig som de indre organene vokser (Malina, Bouchard & Bar-Or, 2004).

Lungene og luftveiene

Hos nyfødte barn er ikke lungene og luftveiene ferdig utviklet. Normalt har bronkiene forgreinet seg omtrent 17 ganger sammenlignet med 23 ganger ved ferdig utviklede lunger. Samtidig er antall alveoler under 1/10 av det man har funnet hos voksne (Åstrand et al., 2003). Med tiden vil luftrøret dele seg gjentatte ganger og nye alveoler vokse frem ettersom antall forgreininger øker. Før ca. 10 års alder er antall alveoler likt med det man ser hos voksne (Åstrand et al., 2003). Lungevevet vokser betraktelig etter fødsel og lungefunksjonen modnes gradvis. Fra å veie 60–70 gram ved fødsel øker lungenes masse rundt 20 ganger før voksen alder (Malina et al., 2004).

Tverrsnitts- og longitudinelle studier har vist at lungevolum og ekspiratorisk luftstrømhastighet øker i løpet av barndommen (Zapletal, Motoyama, Van De Woestijne, Hunt & Bouhuys, 1969; Hibbert, Lannigan, Raven, Landau & Phelan, 1995; Merkus Borsboom, van Pelt, Schrader, van Houwelingen, Kerrebijn & Quancier, 1993; DeGroot, van Pelt, Borsboom, Quancier & van Zomeren, 1988; Emerson, Kurti, Rosenkranz, Smith & Harms, 2014). Det er tidligere rapportert om kjønnsforskjeller knyttet til utvikling av lungene og luftveiene, hvor pre-pubertale gutter har høyere forsert vitalkapasitet (FVC) og forsert ekspiratorisk luftstrømhastighet (flow) ved 50 % av FVC (FEF₅₀) sammenlignet med pre-pubertale jenter (Swain, Rosenkranz, Beckman & Harms, 2010; Hibbert et al., 1984, 1995; Merkus et al., 1993). Lungenes vekst er tilnærmet proporsjonal med individets høydevekst (Malina et al., 2004). I løpet av barndommen og ungdomsårene vil man kunne se avvik fra proporsjonaliteten mellom lunge- og høydevekst, da lungevolumet har en tendens til å henge etter økningen i høyde under vekstspurtene i ungdomsårene (DeGroot et al., 1988). Vekstspurtene inntreffer gjennomsnittlig 2 år tidligere hos jenter enn hos gutter. Jentenes høydevekst avtar omkring 16 års alder, mens guttenes vekst fortsetter ytterligere 2–3 år (Malina et al., 2004). Ved en sammenligning av gutter og jenter i puberteten har man funnet at

høyden på toraks fortsetter å vokse hos gutter når kroppshøyde og toraks-bredde har nådd voksne verdier hos jentene. Guttene utvikler således en mer langstrakt form på toraks (DeGroot et al., 1988).

Hjertet og blodvolum

Forandringer i hjertets størrelse korrelerer med økning i kroppsmasse, særlig fettfri masse (Malina et al., 2004). Etter fødsel ser man tydelig vekst av venstre hjertehalvdel og særlig venstre ventrikkel. Hjertets volum er ca. 40 cm³ ved fødsel og vokser til 600–800 cm³ hos unge voksne (Malina et al., 2004). Størrelsen på venstre ventrikkel påvirkes av vekst, men også av arbeid utført av hjertemuskulaturen. Denne påvirkningen hevdes å være spesielt synlig gjennom tenårene og tidlig voksenalder (De Simone, Devereux, Kimball, Mureddu, Roman, Contaldo & Daniels, 1998). Massen av venstre ventrikkel er lik hos gutter og jenter opp til 9–12 år, deretter ser den ut til å vokse raskere hos guttene, uttrykt i forhold til kroppsmasse (De Simone, Devereux, Daniels & Meyer, 1995). Blodvolumet vil også øke med årene, fra 300–400 ml hos spedbarn til ca. 5 l hos en ung voksen mann. Kjønnsforskjellene viser seg igjen ved at guttene får gjennomsnittlig høyere blodvolum enn jentene i løpet av tenårene (Malina et al., 2004).

2.1.1 Måling av pubertetsstatus

Puberteten utgjør en viktig periode med tanke på vekst og utvikling, og representerer overgangen fra barn til voksen. Perioden kjennetegnes ved modning av forplantningsorganer, utvikling av kjønnskarakteristika, samt kraftig høydevekst ofte akkompagnert av vektøkning (Malina et al., 2004). For jentene starter puberteten som regel mellom 10–12 års alder, mens den hos guttene først opptrer fra 12–16 års alder (Widmaier, Raff, Strang & Vander, 2011). Grunnet store individuelle forskjeller i utvikling, vil det være en fordel å måle pubertetsstatus hos den enkelte. De mest brukte kriteriene i denne sammenheng er ulike stadier av sekundære kjønnskarakteristika beskrevet av Tanner (1962). Den opprinnelige metoden for å undersøke pubertetsstatus, krever direkte observasjon av nakne barn utført av trent personell. En slik undersøkelse begrenses ofte til bruk i klinikken, mens mer praktiske og gjennomførbare metoder benyttes i forskningsprosjekter.

Et spørreskjema kan være en alternativ målemetode. Petersen og hennes kollegaer (1988) utførte en skolebasert studie på ungdom hvor de ble nektet å benytte direkte

observasjon. De utviklet således en intervjuversjon av «Pubertal Development Scale» (PDS) som viste god reliabilitet og validitet (Petersen, Crockett, Richards & Boxer, 1988). På bakgrunn av dette intervjuet utviklet Carskadon og Acebo (1993) et skriftlig spørreskjema tilpasset hvert kjønn. Her kartlegges utvikling av kjønnsår og uren hud hos begge kjønn, bryster samt første menstruasjon hos jenter og stemmeforandring, ansiktshår og kjønnsorgan hos gutter (Carskadon & Acebo, 1993). De ulike svaralternativene gir en poengskår som plasserer individet i en femtrinnskala som beskrevet av Tanner (1962). Trinn 1 indikerer prepubertal fase med fravær av alle sekundære kjønnskaraktistika. Trinn 2 representerer pubertetens oppstart, mens 3. og 4. trinn antas å være midt i puberteten. Det 5. trinnet markerer postpubertal fase med ferdig utviklede kjønnskaraktistika (Malina et al., 2004).

2.2 Respirasjonssystemet

Begrepet respirasjon omfatter prosessen hvor gass transporteres mellom luften i atmosfæren og kroppens celler (Sand, Sjaastad & Haug, 2014). Respirasjonen frem til cellerespirasjon består av fire trinn som innledes med ventilasjon, der luften transporteres til lungene, før gassutveksling av oksygen (O_2) og karbondioksid (CO_2) finner sted mellom alveolene og blodet. Derfra fraktes O_2 videre, hovedsakelig bundet til hemoglobin i erytrocyttene, før det diffunderer ut i vevsvæsken på vei til kroppens celler. Mesteparten av CO_2 i blodet transporteres som hydrogenkarbonat (HCO_3^-) og vil diffundere motsatt vei før det pustes ut for å fullføre ventilasjonen (Sand et al., 2014).

2.2.1 Luftveienes anatomi og fysiologi

All omgivende luft som inspireres passerer først de øvre luftveier bestående av nesehulen, munnhulen og svelget (Sand et al., 2014). I det luften fra atmosfæren passerer de øvre luftveiene fjernes uønskede mikroorganismer, samtidig som innåndingsluften fullmettes med vanndamp og tilpasses kroppstemperatur. Videre passerer luften de nedre luftveier – strupehodet (larynx), luftrøret (trakea) og luftrørsforgreiningene med bronkier og bronkioler (Sand et al., 2014). Luftrøret, bronkier og bronkioler transporterer, fukter og fordeler gassen (McArdle et al., 2015).

Luftrøret deler seg i høyre- og venstre hovedbronkus som går til hver sin lunge. I lungene deler de to bronkiene seg i stadig mindre grener, som til sammen danner bronkialtreet. Hver nye luftrørgren har mindre diameter enn den foregående, men det

økte antall grener fører til at det totale tverrsnittet øker. Bronkiene er omgitt av brusk og glatt muskulatur hvor kontraksjon av muskulaturen fører til forsnevring av luftrøret (Sand et al., 2014). De første forgreiningene uten brusk kalles bronkioler.

Organiseringen av bronkialtreet kan skjematisk deles i to soner. Først en ledningssone bestående av luftrøret og terminale bronkioler. Her finnes ingen alveoler og dermed ingen mulighet for gassutveksling (McArdle et al., 2015). Området betegnes som *anatomisk dødvolum* og rommer ca. 150 ml hos friske voksne personer (West, 2008). Etter 16 delinger av luftrørgrenene oppstår en respiratorisk sone som munner ut i alveolene hvor gassutvekslingen foregår. Lungene inneholder til sammen 300–500 millioner alveoler, med et samlet overflateareal på 75–80 m² hos en voksen person avhengig av individets høyde (Sand et al., 2014).

Ventilasjon

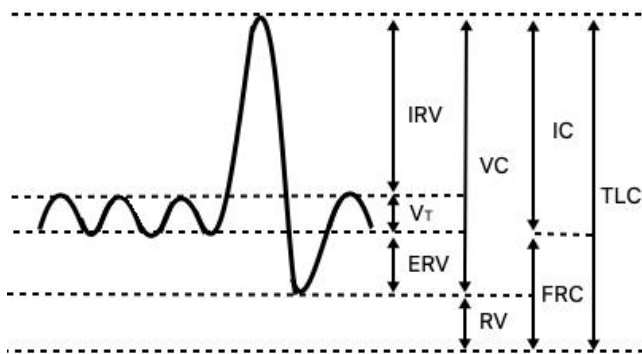
Luft vil alltid bevege seg fra et område med høyt trykk til et område med lavere trykk. Dette er et viktig prinsipp for ventilasjonen, transporten av luft mellom atmosfæren og alveolene (Sand et al., 2014). Luftstrømmen (F) bestemmes av trykkforskjellen (ΔP) mellom atmosfæren og alveolene, samt motstanden (R), eller friksjonen i luftrøret. Sammenhengen kan fremstilles slik: $F = \Delta P/R$, dersom motstanden mot luftstrømmen øker ved eksempelvis bronkial konstriksjon, må trykkforskjellen mellom atmosfæren og alveolene øke tilsvarende for å holde ventilasjonen uforandret (Sand et al., 2014).

Ettersom atmosfæretrykket (P_{atm}) på havnivå ikke kan varieres i særlig grad, må trykket i alveolene (P_{alv}) forandres for å drive luftstrømmen. I hvile innledes inspirasjonen med kontraksjon av diafragma og de ytre interkostalmusklene som utvider brysthulen slik at lungevolumet øker (McArdle et al., 2015). Som en konsekvens at dette vil P_{alv} gradvis bli lavere enn P_{atm} og luften strømme inn i lungene helt til trykkforskjellen er utlignet. Under forsert inspirasjon, ved eksempelvis fysisk aktivitet, øker aktiveringen av respirasjonsmuskulaturen og diafragmakuppelen kan følgelig bevege seg vertikalt over 10 cm, sammenlignet med 1–2 cm i hvile (Åstrand et al., 2003). Dersom minuttventilasjonen overstiger 50 l·min⁻¹ vil etterhvert halsmuskulatur ved m. sternokleidomastoideus og mm. scaleni samt øvre del av trapezius også bidra til inspirasjonen (Åstrand et al., 2003; Terson de Paleville, McKay, Folz & Ovechkin, 2011; McArdle et al., 2015).

Ekspirasjon i hvile er en passiv prosess som følger av at inspirasjonsmusklene hviler og elastiske krefter i lungene og brystkassen trekker tilbake strukket lungevev (McArdle et al., 2015). Brystkassen og lungene trekker seg sammen samtidig som diafragma beveger seg opp mot brysthulen. Disse forandringene resulterer i redusert volum av brystkassen og dermed økt P_{alv} . Når P_{alv} overstiger P_{atm} , vil luftstrømmen tvinges fra lungene og ut i atmosfæren frem til trykket er utlignet (Sand et al., 2014). Dersom pustefrekvensen skal økes, som ved fysisk anstrengelse, brukes ekspirasjonsmusklene som inkluderer de indre interkostalmusklene, m. rectus abdominis, m. obliquus externus og internus abdominis (Terson de Paleville et al., 2011).

Fordeling av lungevolum

Individets lungevolum avhenger i stor grad av kroppshøyden, men også alder, kjønn, kroppsstørrelse og -sammensetning (McArdle et al., 2015). Figur 1 viser fordeling av statiske lungevolum. Tidevolumet (V_T) er den mengden luft som pustes inn eller ut hvert åndedrag og utgjør normalt 0,5 l (West, 2008). Fra dette utgangspunktet kan man utføre en maksimal inspirasjon på ytterligere 2,5–3,5 l for å benytte inspiratorisk reservevolum (IRV). Motsatt har man også et ekspiratorisk reservevolum (ERV) på 1,0–1,5 l som er den mengden luft man voluntært klarer å presse ut fra lungene. Dersom disse tre elementære enhetene legges sammen ($V_T + IRV + ERV$) utgjør det vitalkapasiteten (VC). Etter en maksimal forsert ekspirasjon vil det alltid være luft igjen i lungene og luftveiene, hvilket utgjør residualvolumet (RV). Gjennomsnittsverdier for RV er 1,0 l og 1,2 l for henholdsvis kvinner og menn (McArdle et al., 2015). Større individuelle forskjeller vil forekomme hva gjelder samtlige statiske lungevolum og ved alderdom vil RV øke som følge av økt «compliance» i lungevevet og derav mindre VC (Gulsvik & Bakke, 2004). En samlet betegnelse for det resterende volumet i lungene etter en ekspirasjon av V_T er funksjonell residualkapasitet (FRC) bestående av ERV og RV. Den totale lungekapasiteten (TLC) er summen av VC og RV (McArdle et al., 2015).



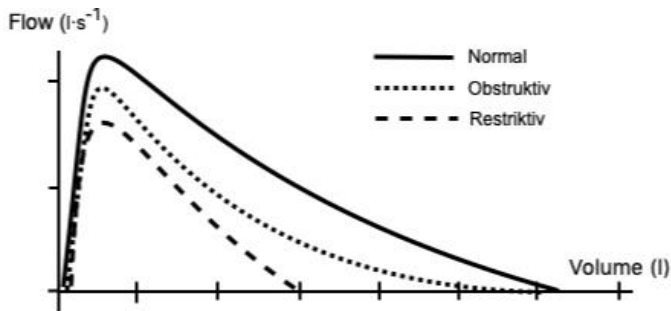
Figur 1: Fordeling av lungevolum. Inspiratorisk reservevolum (IRV), tidevolum (V_T), ekspiratorisk reservevolum (ERV), vitalkapasitet (VC), residualvolum (RV), inspiratorisk kapasitet (IC), funksjonell residualkapasitet (FRC) og total lungekapasitet (TLC). Modifisert etter Wanger et al., 2005.

2.2.2 Måling av lungefunksjon

Det finnes forskjellige metoder som måler de ulike egenskapene i lungene og luftveiene. Under følger en beskrivelse av testene som er benyttet i den foreliggende oppgaven. Alle testene er utført etter standardiserte retningslinjer fra European Respiratory Society (ERS)/American Thoracic Society (ATS). Ved tolkning av resultatene anvendes referanseverdier basert på alder, kjønn, høyde og etnisitet slik at funnene fremstilles som prosent av forventet verdi.

Spirometri

Ved spirometri måles inspirasjon og ekspirasjon av luft som en funksjon av tid (Miller et al., 2005). Resultatene fremstilles i en «flow-volume»-kurve, med luftstrøms hastighet ($l \cdot s^{-1}$) på y-aksen og volum (l) på x-aksen (Figur 2). De viktigste variablene kurven gir er forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten (FEV_1) og FVC (Miller et al., 2005). Andre dynamiske lungevolum er PEF (peak expiratory flow) som betegner luftstrømmens topphastighet, FEF_{25-75} (forsert ekspiratorisk flow) når 25, 50 eller 75 % av FVC er forsert, samt ratioen mellom FEV_1/FVC . Måling av maksimal strømningshastighet ved en forsert ekspirasjon fra TLC kan gi et indirekte bilde på luftveismotstanden og elastisk tilbakefjæringstrykk (Gulsvik & Bakke, 2004). En visuell inspeksjon av kurvens fasong vil indikere normal lungefunksjon, obstruktiv eller restriktiv ventilasjonsinnskrenkning. Et obstruktivt mønster sees typisk hos de med bronkial astma og kronisk obstruktiv lungesykdom. Restriksjon forbindes med tilstander som begrenser toraksbevegelse eller andre forhold som eksempelvis adipositas (Gulsvik & Bakke, 2004).



Figur 2: «Flow-volume»-kurve med normal, obstruktiv og restriktiv fasong.

Metoden gir valide og reproduserbare målinger og benyttes ved screening av respiratorisk helse (Miller et al., 2005). Variabilitet fra test til test og daglig repeterbarhet har blitt rapportert å være ~5 % hos voksne (Enright, Beck & Sherrill, 2004) og opp til 10 % hos unge barn (Beydon et al., 2007). Noen studier med streng kvalitetskontroll og trente deltakere har allikevel vist en variabilitet på kun 2 % hos elever i barneskolealder (Perez-Padilla, Regalado-Pineda, Mendoza, Rojas, Torres, Borja-Aburto & Olaiz, 2003).

Helkroppsplethysmografi

Spirometri ansees som gullstandarden for måling av lungefunksjon (Miller et al., 2005). Den gir derimot ingen informasjon om variabler som TLC, RV eller FRC hvilket helkroppsplethysmografi tillater (Criée et al., 2011). En helkroppsplethysmograf ser ut som en glassboks på ca. 700–1000 liter, hvor personen sitter inni og puster igjennom et munnstykke. Under måling lukkes døren slik at volumet i boksen er konstant.

Forandringer i toraks-volum som fører til kompresjon eller dekompresjon av gass i lungene under ventilasjon oppdages som små forandringer i trykk inne i kabinen eller forandring av luftstrøm inn og ut fra boksen (Criée et al., 2011). Selve puste-manøveren kan utføres på ulike måter, det vanligste er å starte med tidalpust hvor sykluser (loops) av spesifikk luftveismotstand registreres. Deretter følger en blokkering (shutter) av munnstykket mens personen puster rolig på en frekvens mellom 0,5–1,0 Hz for å bestemme FRC eller torarkalt gassvolum. Avslutningsvis utføres en rolig ERV- og IVC-manøver som gjør det mulig å beregne RV og TLC. Ofte kombineres dette med å utføre en påfølgende spirometri (Wanger et al., 2005). Metoden bygger på prinsippet om Boyles lov som sier dersom en gitt mengde gass komprimeres ved konstant temperatur, vil produktet av trykk og volum holdes konstant (Coates, Peslin, Rodenstein & Stocks, 1997).

Diffusjonskapasitet for karbonmonoksid

Evnen til gassoverføringen fra alveolene til lungekapillærene kan bestemmes ved bruk av testgassen karbonmonoksid (CO). Metoden benyttet i dette tilfellet kalles «single-breath» som er den mest anvendte teknikken for måling av lungenes diffusjonskapasitet for karbonmonoksid (DL_{CO}) (Graham et al., 2017). Karbonmonoksid benyttes som testgass fordi den har omtrent samme diffusjonsegenskaper som O₂, men vesentlig høyere affinitet for hemoglobin. I tillegg anvendes en markørgass, vanligvis helium eller metan. Under testprosedyren inhaleres en gassblanding bestående av 0,3 % CO, 0,3 % metan, 21 % O₂ og nitrogen. Forsøkspersonen holder så pusten i 10 ± 2 sekunder slik at CO diffunderer over den alveolokapillære membranen, mens metan forblir i lungene hvor den fortynnes i det gjenværende lungevolumet (Graham et al., 2017). Den påfølgende ekspirasjon består først av 750–1000 ml som utgjør dødvolumet og forkastes før selve prøven av den alveolære gassen tas. Differansen mellom innåndet og utåndet CO måles, som vil være et uttrykk for diffusjon av O₂. Stor differanse gjenspeiler god diffusjon og vice versa. Metan benyttes for å regne ut effektivt alveolært volum. Like metan i ekspirasjonsluften er lik høy fortynningsgrad som tilsier større alveolært volum (Steinshamn, 2018).

Diffusjon av O₂ i lungene påvirkes av flere forhold, hovedsakelig alveoloverflatens areal, tykkelsen på den alveolokapillære membranen og trykkgradienten, dvs. forskjellen i partialtrykk mellom alveolene og kapillærene. I tillegg kan ulike egenskaper ved gassen og dens evne til å binde seg til hemoglobin omtales ved et samlet begrep som kalles diffusjonskonstanten (Steinshamn, 2018).

Respiratorisk muskelstyrke

Maksimalt ekspirasjonstrykk (PE_{maks}) og maksimalt inspirasjonstrykk (PI_{maks}) måles når forsøkspersonene puster mot et munnstykke som så blir blokkert i minimum 2 sekunder for å bedømme kraften respirasjonsmusklene genererer (Green, Road, Sieck & Similowski, 2002). Trykket reflekterer også den elastiske tilbakefjæringskraften i luftveiene inkludert lungene og brystveggen (Green et al., 2002). Maksimalt inspirasjonstrykk bestemmes særlig av diafragma og måles etter ekspirasjon nær RV. Abdominalmuskulaturen og de interne interkostale musklene har størst betydning ved PE_{maks} (Terson de Paleville et al., 2011) som måles fra TLC eller tett opptil. Begge manøvrene krever maksimal innsats fra forsøkspersonene, da det høyeste trykket som

oppretholdes over 1 sekund utgjør resultatet av målingen. I tilfeller der munntrykket er lavt kan det være vanskelig å avgjøre om dette faktisk er en konsekvens av redusert muskelstyrke eller bare redusert nevralt aktivering (Green et al., 2002). En annen feilkilde er lekkasje av luft rundt munnstykke som kan forekomme ved PE_{maks} . I et forsøk som målte respiratorisk muskelstyrke hos 231 barn mellom 5–11 år konkluderte forskerne med at suksessratene var 94 % for PI_{maks} og 86 % for PE_{maks} , noe som kan tyde på at den inspiratoriske manøveren er lettere å gjennomføre korrekt for barn (Gharbawi, Gaillard, Viskaduraki & Beardsmore, 2016).

Det er observert store variasjoner i muskelstyrke mellom normale, friske individer, hvor noe av årsaken kan være knyttet til lungevolum (Green et al., 2002). For PE_{maks} bør målingene overstige 9 og 5 kPa for henholdsvis menn og kvinner. PI_{maks} -verdiene ligger normalt under -7 kPa hos menn og under -3,5 kPa hos kvinner. Svekket respirasjonsmuskulatur vil føre til redusert TLC (Gulsvik og Bakke, 2004).

2.2.3 Kan idrettsspesifikk trening påvirke utvikling av lungene?

Innen kondisjonsidretter ser det ikke ut til at det pulmonale systemet normalt utgjør noen begrensning for prestasjonen (Dempsey et al., 1977). Studier på utøvere som driver landbasert aktivitet har vist at en periode med trening ikke forbedret utøvernes lungefunksjon (Kippelen et al., 2005) eller lungevolum (Doherty & Dimitriou, 1997). Lignende funn ble gjort av Durmic og medarbeidere (2015) som undersøkte forskjell i lungefunksjon hos menn i fire ulike idretter og fant at basket-, håndball- og fotballspillere hadde normale spirometriverdier i forhold til referanseverdiene, mens vannpolo-spillere hadde omkring 16 % høyere FEV_1 sammenlignet med forventede verdier (Durmic et al., 2015). I en studie utført av Lazovic og medarbeidere (2015), så de derimot forbedringer i respirasjonssystemet ved både land- og vannbasert aktivitet i form av økt lungevolum hos de som drev utholdenhetsidrett, herunder roing, svømming, langdistanseløping, sykling og triatlon, sammenlignet med andre idretter (Lazovic et al., 2015). Det er dermed noe sprikende resultater hva gjelder påvirkning på respirasjonssystemet ved landbaserte aktiviteter. Ser vi derimot på vannbasert aktivitet og spesifikt svømmetrening virker det å være bred konsensus blant forskerne om at svømmere har bedre lungefunksjon (Doherty & Dimitriou, 1997; Mehrotra, Verma, Yadav, Tewari & Shukla, 1997; Armour et al., 1993; Lazovic-Popovic et al., 2016; Bovard, Welch, Houghton, McKenzie, Potts & Sheel, 2018) og lungevolum (Andrew et

al., 1972; Armour et al., 1993; Bovard et al., 2018) sammenlignet med aktive- og utrente kontroller.

Mekanismene bak disse forbedringene er foreløpig ikke fullstendig kartlagt, men det eksisterer noen teorier. Kontrollert for antropometri, kan ikke svømmernes lungevolum forklares av antall treningstimer eller år med trening (Lazovic-Popovic et al., 2016). Studien det refereres til overfor ble utført på 38 elitesvømmere, 271 fotballspillere på elitenivå og 100 inaktive kontroller. Svømmerne hadde bedre lungefunksjon og var høyere og tyngre enn både fotballspillerne og kontrollgruppen. Det spekuleres i om årsaken til forbedret lungefunksjon kan komme av genetikk eller forhold knyttet til treningen som innebærer både et bestemt pustemønster og svømmernes horisontale posisjon i vannet (Lazovic-Popovic et al., 2016). Om det er genetikk, trening eller en kombinasjon av begge som fører til bedre lungefunksjon og høyere lungevolum hos svømmere har blitt grundig debattert, uten at forskerne ser ut til å ha kommet til enighet.

Noen forskere peker på respirasjonsmuskulaturen som en viktig komponent for økt lungevolum. Som en konsekvens av nedsenkning i vann må respirasjonsmuskulaturen, inkludert diafragma, skape et høyere trykk under pustesekvensen noe som kan forbedre styrken i muskulaturen og samtidig elastisiteten i brystveggen (Bougault et al., 2009; Mehrotra et al., 1997). Det hevdes at trening av respirasjonsmuskulatur og spesielt inspiratorisk muskulatur, kan forbedre en utøvers prestasjon. McMahon og medarbeidere (2002) fant positiv effekt av trening på respirasjonsmuskulatur under en sykkeltest til utmattelse hos 20 trente syklister (McMahon, Boutellier, Smith & Sprengler, 2002). Temaet er noe omdiskutert og knyttet til svømming er det gjort ulike funn. I 1987 undersøkte Clantons forskergruppe lungevolum og inspiratorisk muskelstyrke hos 16 kvinnelige svømmere før og etter 12 uker med svømmetrening. Halvparten utførte ekstra trening for inspirasjonsmuskulatur, mens de resterende opererte som kontroller. Begge gruppene hadde en statistisk signifikant økning i PI_{maks} og forfatterne konkluderte med at svømmetrening øker inspiratorisk muskelstyrke og -utholdenhet på samme måte som inspiratorisk muskeltrening (Clanton et al., 1987). Cordain og medarbeidere (1990) fant derimot ingen forskjell i PI_{maks} , men statistisk signifikant høyere PE_{maks} hos kvinnelige løpere sammenlignet med svømmere (Cordain et al., 1990). Zinman og Gaultier (1987) fant ingen forbedring av respirasjonsmuskulatur da de testet 7–11 år gamle svømmere med ett års mellomrom.

De så forbedringer i lungevolumene, men eneste forbedring knyttet til maksimalt statisk trykk ble observert ved PE_{maks} for deltakere under 10 år. Forfatterne foreslår at stort lungevolum hos svømmere ikke kan forklares av respirasjonsmuskulaturens evne til å fylle og tømme lungene (Zinman & Gaultier, 1987). Økt lungevolum kan også skyldes at svømmerne har utviklet en bredere brystkasse med et økt antall alveoler fremfor at alveolene har økt i størrelse (Armour et al., 1993). Det er vist statistisk signifikant høyere diffusjonskapasitet hos mannlige svømmere sammenlignet med løpere og utrente kontroller (Armour et al., 1993; Yost, Zauner & Jaeger, 1981).

2.3 Sirkulasjonssystemet

Hovedtrekk

Blodsirkulasjonen består av det store kretsløpet (systemkretsløpet) og det lille kretsløpet (lungekretsløpet). Hjerterets to halvdel er konstruert med ventiler slik at væsken kun kan strømme i en retning. Kontraksjon av hjertet skaper trykkforskjeller som driver blodet gjennom blodkarene (Sand et al., 2014). De største venene i systemkretsløpet, v. cava inferior og -superior, bringer O_2 -fattig blod inn i høyre atrium. Herfra ledes blodet gjennom høyre ventrikkel før det pumpes ut i lungekretsløpet via lungearterien. I lungene foregår gassutvekslingen hvor blodet avgir CO_2 og tar opp O_2 før det returnerer til motsatt hjertehalvdel, i venstre atrium. Videre strømmer blodet til venstre ventrikkel hvor det pumpes gjennom aorta og de store arteriene ut til kroppens organer. Den mengden blod hver hjertehalvdel kan pumpe per minutt, kalt hjertets minuttvolum (MV), er i hvile ca. 5 l hos en voksen person, men avhenger av kroppsstørrelse (Sand et al., 2014). Under aktivitet vil MV, som er et produkt av hjertets slagvolum (SV) og hjertefrekvens (HF) stige betraktelig. Forutsatt HF_{maks} på $200 \text{ slag} \cdot \text{min}^{-1}$ kan en utrent med SV på 80 ml maksimalt generere et MV på $16 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, mens en godt trent med 200 ml i SV oppnår $40 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (McArdle et al., 2015). Minuttvolumet er således av betydning for det maksimale oksygenopptaket.

2.3.1 Maksimalt oksygenopptak

Det maksimale oksygenopptaket ($\dot{V}O_{2maks}$) kan defineres som den maksimale hastigheten på den aerobe energiomsetningen under et dynamisk helkroppsarbeid (Bassett & Howley, 2000). Måling av $\dot{V}O_{2maks}$ brukes ofte i forskningsøyemed som et mål på individuell kardiorespiratorisk form (Bassett & Howley, 2000).

Ficks ligning beskriver at oksygenopptaket bestemmes av produktet av hjertets minuttvolum ($MV = HF \cdot SV$) og differansen mellom konsentrasjonen av oksygen i arterielt og venøst blod ($CaO_2 - CvO_2$).

$$\dot{V}O_2 = MV (CaO_2 - CvO_2)$$

Faktorer som bestemmer $\dot{V}O_{2maks}$ kan således deles i sentrale og perifere. De sentrale faktorene bestemmer hvor mye O_2 som blir levert til arbeidende muskulatur og inkluderer blant annet SV, blodets transportkapasitet for O_2 og lungenes diffusjonskapasitet. De perifere faktorene omhandler skjelettmuskulaturens evne til å utnytte tilgjengelig O_2 (Bassett & Howley, 2000).

Av de bestemmende komponentene kan noen tilskrives større rolle enn andre. Fordi HF_{maks} ikke er trenbar, vil et forbedret SV være avgjørende for å øke MV_{maks} . Mengden blod som pumpes ut av hver ventrikkel per hjerteslag avgjøres av størrelsen på hjertet og dets kraft (Bahr, Hallén & Medbø, 1991). Forbedret SV er et resultat av økt fyllingstrykk i hjertet som øker det endediastoliske volumet (EDV), økt kontraktilitet som reduserer det endesystoliske volumet (ESV), eller en kombinasjon av begge faktorer (Sand et al., 2014). Ulikt SV antas å være den dominerende årsaken til variasjon i $\dot{V}O_{2maks}$ mellom individer av samme alder og kjønn under dynamisk helkroppsarbeid (Bassett & Howley, 2000).

Ved trening på havnivå vil lungenes diffusjonskapasitet være mer enn god nok til å fullmette det arterielle blodet med O_2 , forutsatt friske lunger. Lungene vil således ikke utgjøre noen begrensning for $\dot{V}O_{2maks}$. Først under maksimal belastning hos en eliteutøver kan man se begrenset O_2 -metning i blodet. Dette skyldes sannsynligvis et høyt MV, omkring $40 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, versus $25 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ for utrente, som gjør transittiden for røde blodceller i de pulmonale kapillærene så kort at de ikke rekker å fullmettes (Dempsey, Hanson & Henderson, 1984). Blodets transportkapasitet for O_2 bestemmes av mengde tilbudt O_2 , altså SV og hemoglobinkonsentrasjonen i blodet eller antall ledige bindingssteder for O_2 (McArdle et al., 2015).

Perifere faktorer som kan påvirke $\dot{V}O_{2maks}$ er volum av involvert muskelmasse, antall mitokondrier som potensielt øker ekstraksjon av O_2 , økt kapillærtetthet som kan

oppretholde eller forlenge transittiden og økt konsentrasjon av aerobe enzymer (Bassett & Howley, 2000).

2.3.2 Måling av maksimalt oksygenopptak

En $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ -test krever arbeid med store muskelgrupper over 5–15 minutter (Cooper & Storer, 2006). Ulike ergometre som eksempelvis tredemølle, sykkelergometer eller roergometer kan benyttes, avhengig av hvem som testes. Ved bruk av ergometersykel ligger vanligvis $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på 89–93 % sammenlignet med løp på tredemølle (Howley, Bassett & Welch, 1995). Testen og oppvarmingen utføres etter standardisert protokoll med stadig økende arbeidsbelastning til utmattelse. Målet er å se en avflating i $\dot{V}O_2$, selv om belastningen øker, mot slutten av testen.

Det finnes ulike kriterier som indikerer om reell $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ er oppnådd. Hovedkriteriet er nettopp en avflating av $\dot{V}O_2$ ved stadig økende arbeidsbelastning (Howley et al., 1995). Det teoretiske grunnlaget for dette kriteriet er basert på testing av voksne og bør anvendes med forsiktighet på barn, da de sjeldent oppnår et platå i $\dot{V}O_2$. En studie gjennomført av Duncan og medarbeidere (1996) undersøkte oppnåelse av platå i $\dot{V}O_2$ hos 25 gutter i alderen $10,4 \pm 0,8$ år (gjennomsnitt \pm SD). På separate dager utførte guttene to ulike protokoller på tredemølle. Endring i hastighet og helningsvinkel var identisk, men trinnene var enten 1 minutt (P1) eller 2 minutter (P2) for å manipulere testens varighet. Ti av 25 gutter (40 %) oppnådde kriteriene for platå ved P1, mens kun 7 av 25 gutter (28 %) møtte kriteriene ved P2 (Duncan, Mahon, Howe & Del Corral, 1996). Dersom man ikke oppnår en avflating av $\dot{V}O_2$, som ofte sees blant barn og unge, benyttes gjerne betegnelsen «peak» oksygenopptak ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) (Rowland, 1993). Flere studier rapporterer derimot ingen forskjell i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ mellom barn som ikke oppnår platå sammenlignet med de som gjør det (Åstrand, 1952; Mahon & Marsh, 1993; Rivera-Brown, Rivera & Frontera, 1992). I denne oppgaven vil således resultatene bli omtalt som $\dot{V}O_{2\text{maks}}$. Maksimalt oksygenopptak kan entes oppgis som en absolutt verdi; liter per minutt ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$), milliliter per minutt ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) eller relatert til kroppsvekt; milliliter per kilogram per minutt ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Cooper & Storer, 2006).

I tillegg til avflating av $\dot{V}O_2$ benyttes flere hjelpekriterier for å vurdere innsatsen. For voksne består disse gjerne av en laktatkonsentrasjon i blodet $>8,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ etter endt test (Åstrand et al., 2003). Respiratorisk utvekslingsratio (RER) som er ratioen mellom

produsert CO₂ og opptatt O₂ bør være $\geq 1,15$ (Issekutz, Rodahl & Birkhead, 1962). Maksimal hjerterefrekvens på 95 % av aldersjustert estimert HF_{maks} kan også benyttes som en indikator, men ansees som et problematisk kriterie grunnet store individuelle forskjeller i HF_{maks} (Howley et al., 1995).

Ved testing av barn sees typisk en lavere laktatverdi, spesielt for de under 12–13 år (Howley et al., 1995), samt lavere RER. Ofte benyttes derfor RER > 1,0 som kriterie (Rivera-Brown et al., 1992). God kommunikasjon mellom testleder og forsøksperson er viktig, slik at testleder subjektivt kan vurdere utmattelse og anslå om $\dot{V}O_{2maks}$ er nådd hos forsøkspersonen.

Direkte måling av $\dot{V}O_{2maks}$ er generelt ansett som gullstandarden for måling av aerob kapasitet. Gjentatte målinger på tenåringer har vist en variasjonskoeffisient på 4–5 % (Malina et al., 2004). Blant 61 jenter (7,3 ± 1,3 år) ble det funnet en intraindividuell variasjonskoeffisient på 7,5 % ved løp på tredemølle (Figueroa-Colon, Hunter, Mayo, Aldridge, Goran & Weinsier, 2000). Lignende fant Turley og medarbeidere (1995) en intraindividuell variasjonskoeffisient på 6,2 % da 46 gutter og jenter i alderen 7–9 år ble testet på tredemølle (Turley, Rogers, Harper, Kujawa & Wilmore, 1995).

2.3.3 Utvikling av maksimalt oksygenopptak gjennom puberteten

En oversiktsartikkel fra Armstrong, Tomkinson og Ekelund (2011) beskriver hvordan oksygenopptaket utvikler seg hos barn og unge. De så en tilnærmet lineær økning i $\dot{V}O_{2maks}$ (l·min⁻¹) hos gutter fra 8 til 16 år. For jentene så de lignende tendens, men funn fra enkelte tversnittstudier foreslår et platå i utviklingen rundt 14 års alder (Armstrong, Tomkinson & Ekelund, 2011). Maksimalt oksygenopptak korrelerer sterkt med kroppsvekt og uttrykkes derfor ofte som en ratio hvor absolutt $\dot{V}O_2$ (ml·min⁻¹) deles på kilo kroppsvekt (kg). Gjør man dette endres bildet på utviklingen av $\dot{V}O_{2maks}$, hvor guttenes verdier nå holdes stabile fra 6 til 18 år, rundt 48 ml·kg⁻¹·min⁻¹, mens jentenes verdier synker fra 43 til 35 ml·kg⁻¹·min⁻¹ i samme tidsrom (Armstrong & Welsman, 1994; Armstrong, McManus & Welsman, 2008).

De fysiologiske årsakene til kjønnsforskjellene kan forklares ved høyere muskelmasse og hemoglobinkonsentrasjon i blodet hos guttene kontra jentene. Muskelmassen øker hos begge kjønn i løpet av barndommen og ungdomsårene, men under vekstspurten i

puberteten sees en markant forskjell i guttenes favør. Jentene øker samtidig sin fettmasse, slik at deres relative muskelmasse ser ut til å synke under puberteten (Armstrong et al., 2011). Økt muskelmasse hos guttene legger til rette for økt oksygenekstraksjon under aktivitet og kan i tillegg bidra til økt venøs tilbakestrømning til hjertet via muskelvenepumpen. Dette kan igjen føre til forbedret SV (Rowell, O'Leary & Kellogg, 1996). Høyere hemoglobinkonsentrasjon hos guttene skyldes testosteronets påvirkning på røde blodceller, noe som resulterer i bedre transportkapasitet for O₂. Guttenes hemoglobinkonsentrasjon er omtrent 10 % høyere enn jentenes ved 16 års alder, og antas derfor å kunne påvirke kjønnsforskjellene i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på det tidspunktet (Armstrong et al., 2011). Det er også vist at gutter er mer fysisk aktive enn jenter (Steene-Johannessen et al., 2019), noe som kan bidra ytterligere til kjønnsforskjellene.

En stor norsk studie kartla $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ -verdier hos 2299 gutter og jenter på 9 og 15 år ved bruk av ergometersykkel. Gjennomsnittsverdiene for 9-åringene var $48,2 \pm 7,1$ og $42,9 \pm 6,7$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ for henholdsvis gutter og jenter. Blant 15-åringene var gjennomsnittet $51,9 \pm 8,0$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos guttene og $41,1 \pm 6,0$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos jentene (Kolle, Steene-Johannessen, Andersen & Anderssen, 2010). Forfatterne mener verdiene er representative og ikke skiller seg markant fra funn i lignende studier.

2.3.4 Trenbarhet av maksimalt oksygenopptak hos barn og unge

Trenbarheten av aerob yteevne under oppveksten har blitt undersøkt i en rekke studier, men resultatene er ikke konsistente. Dette kan ha sammenheng med at det er vanskelig å gjennomføre kontrollerte treningsintervensjoner på barn og unge. Funnene som foreligger i dag tyder allikevel på at det er mulig å forbedre $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ hos både gutter og jenter dersom treningen er tilstrekkelig hyppig, intensiteten høy nok og varigheten på belastningene lang nok (Meen, 2000). Rowland og Boyajian (1995) undersøkte effekten av 12 ukers utholdenhetstrening på 24 barn (10–13 år) og fant her en forbedring i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på 6,5 % (Rowland & Boyajian, 1995). I en meta-analyse av LeMura og medarbeidere (1999) fant de også gjennomsnittlig forbedring på 6 % hos barn < 13 år. De påpekte at aerob yteevne hos 8–10-åringer var trenbar, men ikke i like stor grad som hos 11–13-åringene (LeMura, von Dullivard, Carlonas & Andreacci, 1999). Forbedringene er allikevel beskjedne sammenlignet med forventet fremgang hos utrente voksne på typisk 15–25 % etter en periode med trening (Rowland, 2002). Da det ikke

finnes bevis for at hverken HF_{maks} eller maksimal arteriovenøs oksygendifferanse forbedres ved trening hos barn og unge, tilskrives årsaken til forbedret $\dot{V}O_{2maks}$ et høyere SV (Armstrong, Tomkinson & Ekelund 2011).

3. Metode

3.1 Studiedesign

Det følgende prosjektet er en observasjonell kasus-kontroll studie som inkluderer fire ulike grupper. Gruppene består av (1) gutter og jenter i alderen 8–10 år som deltar regelmessig i organisert svømmetrening, (2) gutter og jenter i samme aldersgruppe som driver med en annen idrett, (3) gutter og jenter i alderen 15–18 år som deltar regelmessig i organisert svømmetrening, (4) gutter og jenter i tilsvarende aldersgruppe som driver med annen kondisjonsidrett. Det ble søkt etter 15 deltakere til hver av de fire gruppene.

Datainnsamlingen for hver enkelt deltaker fulgte en fastsatt testprotokoll som presentert i Tabell 1. Testene ble gjennomført på respirasjonsfysiologisk laboratorium ved Norges idrettshøgskole med en varighet på ca. 1,5 time per deltaker. To testledere gjennomførte testene, hvor en laboratorieingeniør var ansvarlig for måling av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ og undertegnede hadde hovedansvar for måling av antropometri og lungefunksjon.

Tabell 1: Testprotokoll på respirasjonsfysiologisk laboratorium ved Norges idrettshøgskole.

Testprosedyre	Variabler
Antropometri	Vekt (<i>kg</i>), høyde & brystomkrets (<i>cm</i>)
Kroppssammensetning (InBody 720)	MM (<i>kg</i>) & FM (% av kroppsvekt)
Lungefunksjon (spirometri)	FEV ₁ & FVC (<i>l</i>)
Respiratorisk muskelstyrke	PI _{maks} & PE _{maks} (<i>kPa</i>)
Diffusjonskapasitet (single breath)	DL _{CO} (<i>mmol·min⁻¹·kPa⁻¹</i>)
Lungevolum (bodybox)	TLC & RV (<i>l</i>)
Maksimalt oksygenopptak	$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (<i>ml·kg⁻¹·min⁻¹</i> og <i>ml·min⁻¹</i>), VE _{peak} (<i>l·min⁻¹</i>), HF _{peak} (<i>slag·min⁻¹</i>) & RER
Spørreskjema	Treningsvaner og pubertetsstatus

MM: muskelmasse; **FM:** fettmasse; **FEV₁:** forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten; **FVC:** forsert vitalkapasitet; **PI_{maks}:** maksimal inspiratorisk trykk fra RV; **PE_{maks}:** maksimal ekspiratorisk trykk fra TLC; **DL_{CO}:** diffusjonskapasitet for karbonmonoksid; **TLC:** total lungekapasitet; **RV:** residualvolum; **$\dot{V}O_{2\text{maks}}$:** maksimalt oksygenopptak; **VE_{peak}:** høyeste oppnådde ventilasjon; **HF_{peak}:** høyeste oppnådde hjerterefrekvens; **RER:** respiratorisk utvekslingsratio.

3.1.1 Utvalg og rekruttering

Utvalget i studien bestod av 56 frivillige deltakere fra Oslo og Akershus. Deskriptive data er beskrevet i Tabell 3 og 4 i kapittel 4. Svømmere ble rekruttert fra utvalgte svømmeklubber (bekvemmelighetsutvalg). Kontrollene ble rekruttert fra nærliggende idrettsklubber samt videregående skoler. Deltakerne fikk skriftlig og muntlig informasjon om studien og at deltakelse i prosjektet var frivillig. Alle deltakere over 16 år signerte informert samtykke. Foresatte signerte for deltakerne som var under 16 år.

3.1.2 Inklusjons- og eksklusjonskriterier

Tabell 2: Oversikt over inklusjons- og eksklusjonskriterier for studien.

Inklusjon	Eksklusjon
Svømmetrening > 2 ganger per uke for 8–10 åringene	Sykdom de siste 14 dagene før testdag
Svømmetrening > 12 timer per uke for 15–18 åringene	Skader som gjør at de ikke kan gjennomføre testene.
Kontrollene må være i samme aldersgruppe og ha tilnærmet lik treningsmengde, men ikke drive regelmessig svømmetrening	

3.2 Protokoll for datainnsamling

3.2.1 Antropometri

Høyde og brystomkrets ble målt med måleinstrument fra SECA (Hamburg, Tyskland). Til måling av kroppsvekt ble InBody 720 benyttet (se kapittel 3.3.2). Kroppshøyde ble målt til nærmeste 1 mm ved bruk av SECA 213 flyttbar høydemåler. Deltakerne tok av seg skoene og stilte seg inntil høydemåleren med blikket rett frem før høyden ble registrert. Brystomkrets ble målt ved bruk av et standardisert målebånd fra SECA hvor resultatet ble avlest til nærmeste mm. Ved måling av brystomkrets utføre deltagerne en maksimal inspirasjon etterfulgt av en langsom, passiv ekspirasjon til tidalvolum hvor omkretsen ble målt. Gjennomsnittsverdier fra to målinger ble benyttet i dataanalysen.

3.2.2 Kroppssammensetning (InBody 720)

Kroppssammensetning ble målt ved bioelektrisk impedans analyse som er en rask og enkel metode. Målingen fungerer ved at svak strøm sendes igjennom kroppen og impedansen (motstanden) måles med et instrument, i dette tilfellet InBody 720 (Biospace, England). Deltakerne ble bedt om å avstå fra mat og drikke de siste 2 timene

før målingen, samt ikke seg lette klær. Før oppstart ble høyde, kjønn og alder tastet inn på maskinen samtidig som kroppsvekten ble målt av instrumentet. Testpersonen stilte seg barbeint på maskinens gulvplate på 2 par fot-elektroder og grep håndtakene med en elektrode i hver hånd. Under målingen stod deltakerne helt i ro med hendene hengende ned, litt ut fra kroppen. Variablene vekt (kg), muskelmasse (MM), fettmasse (FM) og fettprosent (% av kroppsvekt) ble registrert på eget skjema.

3.2.3 Spirometri

Lungefunksjon ble målt ved maksimal ekspiratorisk «flow-volume»-kurve i et spirometer (Masterscreen PFT Pro, serie 672591, Care Fusion, Care Fusion Tyskland 234 GmbH, H \ddot{o} chberg Tyskland). Målingen ble gjennomf \ddot{o} rt sittende hvor fors \ddot{o} kspersonen pustet gjennom et munnstykke med nese-klype p \ddot{a} . Etter tilvenning med et par rolige pust, utf \ddot{o} rte fors \ddot{o} kspersonen en maksimal inhalasjon til TLC etterfulgt av en maksimal ekspirasjon s \ddot{a} hardt, fort og lenge som mulig (> 6 sekunder for den eldste gruppen) til RV. Testen ble utf \ddot{o} rt i henhold til anbefalte og standardiserte retningslinjer fra ATS og ERS (Miller et al., 2005). Forsert ekspiratorisk volum f \ddot{o} rste sekund av utpusten (FEV $_1$) og FVC ble benyttet i databehandlingen. Testen ble gjentatt til det var $\leq 5\%$ variasjon mellom to m \ddot{a} linger hvor m \ddot{a} lingen med h \ddot{o} yest FEV $_1$ ble brukt i videre analyser. Lungefunksjonsvariablene er oppgitt som prosent av forventet verdi basert p \ddot{a} referanseverdier fra Quanjer og medarbeidere (2012).

3.2.4 Respiratorisk muskelstyrke

For \ddot{a} estimere deltakernes inspiratoriske og ekspiratoriske muskelstyrke ble det utf \ddot{o} rt m \ddot{a} linger av P I_{maks} ved RV og P E_{maks} ved TLC. Testprosedyren fulgte retningslinjene fra ATS og ERS (2002) og utregninger av forventet verdi ble basert p \ddot{a} likninger av Wilson og medarbeidere (1984). Testen ble utf \ddot{o} rt med Masterscreen PFT (Pro, serie 672591, Care Fusion, Care Fusion Tyskland 234 GmbH, H \ddot{o} chberg Tyskland). Deltakeren hadde p \ddot{a} nese-klype og pustet gjennom et gummimunnstykke. Deltakeren ble instruert til \ddot{a} holde leppene tett rundt munnstykket, for \ddot{a} hindre redusert trykk som f \ddot{o} lgje av luftlekkasje og opprettholde maksimalt trykk i minimum 1,5 sekund samtidig som munnstykket ble blokkert. Testen ble avsluttet n \ddot{a} r deltakeren oppn \ddot{a} dde 3 m \ddot{a} linger med < 20 % variasjon.

3.2.5 Diffusjonskapasitet

Diffusjonskapasitet (DL_{CO}) ble målt ved «single breath»-metoden etter gjeldende retningslinjer (Graham et al., 2017) med instrumentet Masterscreen PFT (Pro, serie 672591, Care Fusion, Care Fusion Tyskland 234 GmbH, Höchberg Tyskland). Testen ble utført sittende hvor deltakeren pustet gjennom et munnstykke med neseeklype på. Etter noen normale pust utførte deltakeren en rolig ekspirasjon til RV etterfulgt av en fullstendig inspirasjon av testgassen karbonmonoksid (CO) til TLC. Deretter holdt deltakeren pusten i 8 sekunder før testen ble avsluttet med en rolig ekspirasjon. Godkjent test krever inhalasjonstid av markørgass på mellom 2,5–4 sekunder, i tillegg til inspirasjonsvolum på $\geq 90\%$ av VC. Testen ble gjentatt med minimum 4 minutters pause mellom forsøkene frem til deltakeren oppnådde to valide tester med variasjon på $< 10\%$. Forventede verdier for DL_{CO} er basert på materiale fra Stanojevic og medarbeidere (2017).

3.2.6 Lungevolum og luftveismotstand

Lungevolum og luftveismotstand ble målt i en helkroppspletysmograf (Bodybox) av typen Sensor Medics Vmax 229 Serie med Autobox (VIASYS Healthcare Inc, Yorba Linda, Ca, USA)/Masterlab Body Pro Jaeger® (GmbH & Co KG, Würzburg, Tyskland). For å måle FRC ble to komponenter av VC (IC og ERV) målt. På bakgrunn av dette ble TLC og RV regnet ut. Under manøveren ble også torarkalt gassvolum og spesifikk luftveismotstand (sR_{AW}) målt. Disse variablene er imidlertid ikke inkludert i den foreliggende oppgaven.

Testprosedyren ble gjennomført i henhold til retningslinjer fra ATS/ERS (Wanger et al., 2005) og referanseverdier fra Rosenthal og medarbeidere (1993) ble benyttet. Ved gjennomføring satt deltakeren i en lufttett boks med neseeklype på. Vedkommende ble instruert til å puste normalt gjennom munnstykket. Etter oppnåelse av minst fire stabile tidalpust ble en grunnlinje for FRC etablert. Deltakeren utførte så repeterte forsiktige pust («panting») innen en gitt frekvens (60–180 pust/min). Etter 5–6 jevne pust ble munnstykket stengt av en membran, mens deltakeren ble instruert til å opprettholde pustefrekvensen. Ved registrering av 5–6 valide pust, ble membranen fjernet og deltakeren utførte to rolige spirometrimålinger med full inspirasjon til TLC og full ekspirasjon til RV. Her ble gjennomsnittsverdiene fra to teknisk godkjente forsøk benyttet i analysene.

Samtlige måleinstrumenter som ble benyttet til måling av lungefunksjon ble kalibrert etter retningslinjer fra leverandør før hver nye testdag.

3.2.7 Maksimale oksygenopptak

Test av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ ble gjennomført ved løp på tredemølle (Woodway Elg 90/200 Sport, Weil am Rhein, Tyskland). De eldste deltakerne fikk 10 minutter oppvarming, de yngste fikk noe lenger grunnet tilvenning til tredemølla. Testleder bestemte starthastigheten basert på forventet resultat for testen. Testprotokollen ble gjennomført med 5,3 % stigning (Tønnessen, Hem, Svendsen, Larsen, Skaugen & Solbakken, u.å.) og fartsøkning på $1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ hvert minutt inntil forsøkspersonen ikke klarte et helt minutt på en høyere belastning. Testen varte 8–12 minutter, ekskludert oppvarming. Deltakerne mellom 15–18 år hadde nese-klype på og pustet gjennom et to-veis munnstykke (Hans Rudolph Inc., MO, USA), mens 8–10-åringene brukte maske (Hans Rudolph Industr., USA). Ekspirasjonsluften ble analysert via et miksekammer i et automatisk ergospirometriutstyr (Oxycon Pro, Jaeger-Toennis, Hochberg, Tyskland). Maksimale oksygenopptak ble definert som enten avflating eller reduksjon i oksygenopptak til tross for økt hastighet eller basert på testleders subjektive oppfattelse av utmattelse og $\text{RER} > 1,0$. Gjennomsnittet av de to høyeste $\dot{V}O_2$ -målingene ble benyttet i analysene.

Hjertefrekvens (HF) ble målt med pulsbelte (Polar WearLink, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) og pulsklokke (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) for å gi et objektivt mål på intensitet. Høyeste oppnådde HF, ventilasjon (VE) og RER ble benyttet i analysene.

Utstyret ble kalibrert i forkant av hver testdag. Volumkalibrering ble utført med en manuell treliters kalibreringspumpe (Calibration Syringe, series 5530, Hans Rudolph Inc., MO, USA). For den eldste gruppen ble det volumkalibrert en gang per kveld (3–4 deltakere), men fordi den yngste gruppen benyttet maske ble det byttet turbin mellom hver deltaker og dermed utført ny volumkalibrering mellom hver $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ -test. Gassanalysatoren ble kalibrert ved å måle romluft (20,9 % O_2 og 0,04 % CO_2) mot en gass med kjent konsentrasjon, henholdsvis 15 % O_2 og 6 % CO_2 . I tillegg ble atmosfærisk trykk og temperatur kalibrert for å bestemme luftens tetthet.

3.2.8 Spørreskjema

Hver deltaker besvarte to ulike spørreskjemaer som omhandlet treningsvaner og pubertetsstatus. Testlederne var til stede og hjalp til hvis det var uklarheter ved spørsmålsformuleringene for 15–18-åringene. Foreldre eller foresatte hjalp 8–10-åringene under utfyllingen av spørreskjemaet.

Treningsvaner

Dette er et kort ikke-validert spørreskjema som omfatter idrettslig bakgrunn, treningsmengde per uke og antall timer søvn i ukedagene og helligdagene.

Pubertetsstatus

For å evaluere pubertetsstatus ble en selvadministrert skala kalt «Pubertal Development Scale» (PDS) benyttet (Vedlegg 5 og 6). Spørreskjema er utviklet av Carskadon og Acebo (1993) med bakgrunn i standardiserte intervjuer av Petersen og medarbeidere (1988). For hver av de fem inkluderte elementene for evaluering av fysisk utvikling, samlet modning og en kategorisk modning ble det regnet ut en poengskår som er designet for å være tilnærmet lik Tanners (1962) kategorier av stadier. Det validerte spørreskjemaet omfatter 7 spørsmål for jenter og 6 for gutter (Carskadon & Acebo, 1993).

Spørsmål 3–6 var poenggivende svaralternativer. Samtlige spørsmål for guttene og spørsmål 3–5 for jentene hadde følgende svaralternativer og poengfordeling: «Ikke startet ennå» = 1 poeng, «så vidt startet» = 2p, «absolutt startet» = 3p og «tror den er avsluttet» = 4p. På spørsmålet som omhandlet menstruasjon for jenter ga svaret «ja» 4p og «nei» 1p. Med denne poengrangeringen ble guttene klassifisert i kategoriene: pre-pubertet (4p og ingen 2p), tidlig-pubertet (5p og ingen 3p), midt-pubertet (6,7 eller 8p og ingen 4p), sen-pubertet (9 til 11p) og post-pubertet ($\leq 12p$). Jentene ble klassifisert i kategoriene: pre-pubertet (3p), tidlig-pubertet (3p og ingen menstruasjon), midt-pubertet (4p og ingen menstruasjon), sen-pubertet ($\leq 7p$ og menstruasjon) og post-pubertet ($\leq 8p$ og menarke) (Carskadon & Acebo, 1993). Om en foresatt evaluerte spørreskjemaet til å ikke være aktuelt for den enkelte til å fylle ut, ble deltakeren klassifisert som prepubertal.

3.3 Forskningsetikk

Denne studien ble vurdert og godkjent av Regional komité for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK sør-øst C) (Vedlegg 1). Prosjektet ble gjennomført etter vitenskapelige retningslinjer og følger prinsippene i Helsinkideklarasjonen. Majoriteten av deltakerne i denne studien var under 16 år, dermed måtte en eller begge foresatte signere samtykke før studiens oppstart. I det informerte samtykket ble studiens formål beskrevet hvor deltakeren og foresatte fikk full innsikt i prosjektet. Potensielle risikoer for deltakeren ble forklart og deres ubetingede rett til å trekke seg fra studien uten å oppgi årsaken til dette. Innsamlet datamateriale ble aidentifisert med ID-nummer og behandlet konfidensielt. Kun personer som var ansvarlige for studien fikk innsyn i prosjektets datamateriale.

3.4 Analyse av data

Statistiske analyser ble gjennomført i Statistical Package of Social Science (SPSS) versjon 24.0 (Inc, Chicago, Illinois, USA). Ved utarbeidelse av tabeller ble Microsoft Word 2016 versjon 16.12 benyttet. Rådataene ble sjekket for normalfordeling ved å vurdere histogrammet, skewness og benytte Shapiro-Wilk test. Deskriptive data er presentert som gjennomsnitt og standardavvik (SD) ved normalfordeling, eller som median og interkvartilbredde (IQR) ved skjevfordeling. For å vurdere forskjell mellom gruppene ble hovedsakelig uavhengige t-tester benyttet, og i noen tilfeller den ikke-parametriske testen Mann-Whitney. Resultatene er presentert som gjennomsnitt og 95 % konfidensintervall (KI) eller median og IQR, samt p-verdier. En p-verdi $\leq 0,05$ ble regnet som statistisk signifikant. Styrkeberegning med 15 i hver gruppe er basert på å finne en forskjell mellom gruppene i FEV1 og FVC.

4. Resultater

4.1 Utvalg

Utvalget bestod av 56 deltakere. Deskriptive data for 8–10-åringene er beskrevet i Tabell 3 og for 15–18-åringene i Tabell 4. Deltakernes kroppsmasseindeks (KMI) kategoriseres som normalvektig basert på Cole og medarbeideres aldersjusterte grenseverdier for KMI (Cole, Bellizzi, Flegal & Dietz, 2000; Cole, Flegal, Nicholls & Jackson, 2007). De statistiske analysene (t-testene) viste ingen signifikante forskjeller i den yngste gruppen mellom svømmere og kontroller av samme kjønn.

Tabell 3: Alder, antropometri og treningstimer per uke for svømmere og kontroller 8–10 år. Resultatene er presentert som gjennomsnitt og standardavvik (SD).

	Svømmere (n = 14)		Kontroller (n = 14)		p gutter	p jenter
	Gutter (n=4)	Jenter (n=10)	Gutter (n=8)	Jenter (n=6)		
Alder (år)	10,0 ± 0,7	9,7 ± 0,9	9,3 ± 0,7	9,5 ± 0,5	0,094	0,603
Høyde (cm)	144,0 ± 1,9	141,9 ± 8,9	141,8 ± 6,4	141,2 ± 7,0	0,517	0,866
Vekt (kg)	34,4 ± 2,0	34,5 ± 6,6	32,0 ± 4,0	33,6 ± 6,6	0,299	0,799
KMI (kg·m ⁻²)	16,6 ± 1,4	17,0 ± 1,6	15,9 ± 1,1	16,7 ± 1,7	0,345	0,767
Muskelmasse (kg)	16,3 ± 0,8	15,4 ± 2,7	15,5 ± 1,7	14,8 ± 2,6	0,298	0,697
Kroppsfett (%)	12,3 ± 7,7	14,2 ± 6,9	8,6 ± 5,4	14,6 ± 4,2	0,410	0,896
Brystomkrets (cm)	66,3 ± 1,5	68,8 ± 4,7	66,3 ± 2,8	67,5 ± 4,3	0,961	0,592
Trening (t/uke)	7,8 ± 2,7	5,7 ± 1,8	5,6 ± 2,2	5,5 ± 2,6	0,162	0,898

KMI: Kroppsmasseindeks.

I den eldste gruppen hadde de mannlige svømmerne signifikant større brystomkrets ($p < 0,01$) enn guttene i kontrollgruppen. Både jentene og guttene i svømmegruppen hadde signifikant høyere antall treningstimer per uke ($p < 0,01$) sammenlignet med samme kjønn i kontrollgruppen.

Tabell 4: Alder, antropometri og treningstimer per uke for svømmere og kontroller 15–18 år. Resultatene er presentert som gjennomsnitt og standardavvik (SD).

	Svømmere (n = 15)		Kontroller (n= 13)		p gutter	p jenter
	Gutter (n = 8)	Jenter (n = 7)	Gutter (n = 8)	Jenter (n = 5)		
Alder (år)	16,7 ± 1,1	16,6 ± 1,1	17,0 ± 0,5	16,9 ± 0,3	0,535	0,595
Høyde (cm)	182,8 ± 4,2	168,4 ± 4,6	180,6 ± 8,6	166,7 ± 5,7	0,526	0,578
Vekt (kg)	72,1 ± 6,9	63,3 ± 6,3	66,7 ± 7,7	58,4 ± 7,8	0,164	0,249
KMI (kg·m ⁻²)	21,5 ± 1,3	22,4 ± 2,3	20,4 ± 1,4	21,0 ± 2,4	0,133	0,347
Muskelmasse (kg)	36,7 ± 3,3	27,8 ± 2,5	34,6 ± 4,0	26,3 ± 2,1	0,285	0,401
Kroppsfett (%)	9,7 ± 2,2	20,1 ± 5,7	8,1 ± 1,7	18 ± 11,9	0,135	0,625
Brystomkrets (cm)	94,5 ± 6,3**	90,1 ± 5,9	83,8 ± 4,0	83,8 ± 5,0	0,001	0,080
Trening (t/uke)	22,1 ± 3,8**	21,07 ± 1,2**	12,7 ± 2,9	10,2 ± 2,5	0,000	0,000

KMI: Kroppsmasseindeks.

**p ≤ 0,01 etter t-test sammenlignet med samme kjønn i kontrollgruppen

4.2 Hovedfunn

Det var ingen statistisk signifikante forskjeller i lungefunksjonsvariablene mellom svømmerne og kontrollene i noen av aldersgruppene (Tabell 5 og 6). For 8–10-åringene var FEV₁, FVC og TLC nært 100 % av forventede verdier, PI- og PE_{maks} noe under og DL_{CO} godt over 100 % av forventede verdier. Gjennomsnittlig (SD) FEV₁ for de yngste svømmerne var 2,10 ± 0,36 l og tilsvarende 2,03 ± 0,22 l for kontrollgruppen. DL_{CO} på 121 % og 120 % av forventet verdi tilsvarende median (IQR) 6,23 (0,76) mmol·min⁻¹·kPa⁻¹ og 6,21 (1,53) mmol·min⁻¹·kPa⁻¹ for henholdsvis svømmere og kontroller.

Tabell 5: Lungefunksjonsvariabler i prosent av forventet verdi (% forventet) for svømmere og kontroller i aldersgruppen 8–10 år. Resultatene er presentert som gjennomsnitt og 95 % konfidensintervall (KI) hvis ikke annet er bemerket.

	Svømmere (n = 14)		Kontroller (n = 14)		p
	n	Gjennomsnitt (95% KI)	n	Gjennomsnitt (95% KI)	
FEV ₁ (% forventet)	14	102,7 (96,8, 108,7)	14	101,6 (95,6, 107,6)	0,763
FVC (% forventet)	14	103,0 (97,5, 108,5)	14	101,8 (95,8, 107,8)	0,607
TLC (% forventet)	13	101,5 (96,3, 106,6)	14	100,3 (94,2, 106,3)	0,752
RV (% forventet)	12	93,0 (18,5) ^m	14	111,5 (32,3) ^m	0,520
DL _{CO} (% forventet)	13	121,0 (29,5) ^m	12	120,0 (36) ^m	0,355
PI _{maks} (% forventet)	12	98,8 (87,6, 110,1)	8	93,5 (72,5, 114,5)	0,588
PE _{maks} (% forventet)	12	89,8 (81,7, 97,9)	8	84,1 (69,6, 98,5)	0,403

^m median og interkvartilbredde (IQR)

FEV₁: forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten; **FVC:** forsert vitalkapasitet; **TLC:** total lungekapasitet målt ved bodybox; **RV:** residualvolum; **DL_{CO}:** diffusjonskapasitet for karbonmonoksid målt med single breath; **PI_{maks}:** maksimal inspiratorisk trykk fra RV; **PE_{maks}:** maksimal ekspiratorisk trykk fra TLC.

I den eldste gruppen var absolutt-verdiene for FEV₁ i gjennomsnitt (SD) 4,35 ± 0,47 l for svømmerne og 4,15 ± 0,71 l for kontrollene. Gjennomsnittlig (SD) DL_{CO} var 11,68 ± 2,61 og 11,12 ± 2,63 mmol·min⁻¹·kPa⁻¹ for henholdsvis svømmere og kontroller. Total lungekapasitet ligger over forventet verdi for begge grupper (Tabell 6) og utgjør hos svømmerne i gjennomsnitt (SD) 7,25 ± 0,90 l og for kontrollgruppen 6,95 ± 1,38 l. Foruten FEV₁ i kontrollgruppen, ligger samtlige forventede verdier over 100 % i begge gruppene.

Tabell 6: Lungefunksjonsvariabler i prosent av forventet verdi (% forventet) for svømmere og kontroller i aldersgruppen 15–18 år. Resultatene er presentert som gjennomsnitt og 95 % konfidensintervall (KI) hvis ikke annet er bemerket.

	Svømmere (n = 15)		Kontroller (n = 13)		p
	n	Gjennomsnitt (95% KI)	n	Gjennomsnitt (95% KI)	
FEV ₁ (% forventet)	15	106,3 (99,0, 113,6)	13	99,5 (94,7, 104,3)	0,104
FVC (% forventet)	15	108,5 (100,6, 116,4)	13	101,3 (95,7, 107,0)	0,133
TLC (% forventet)	14	123,1 (116,9, 129,2)	12	123,1 (116,7, 129,5)	0,998
RV (% forventet)	14	159,0 (59) ^m	11	151,0 (52) ^m	0,642
DL _{CO} (% forventet)	15	125,2 (115,9, 134,5)	13	117,9 (108,5, 127,2)	0,243
PI _{maks} (% forventet)	15	110,8 (96,3, 125,3)	13	106,4 (91,1, 121,8)	0,656
PE _{maks} (% forventet)	15	114,3 (96,2, 132,5)	13	103,3 (86,5, 120,1)	0,349

^m median og interkvartilbredde (IQR)

FEV₁: forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten; **FVC:** forsert vitalkapasitet; **TLC:** total lungekapasitet målt ved bodybox; **RV:** residualvolum; **DL_{CO}:** diffusjonskapasitet for karbonmonoksid målt med single breath; **PI_{maks}:** maksimal inspiratorisk trykk fra RV; **PE_{maks}:** maksimal ekspiratorisk trykk fra TLC.

Tabell 7 og 8 viser resultatene for $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ i de to aldersgruppene. Det var ingen signifikante forskjeller i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$, VE_{peak} , HF_{peak} eller RER mellom svømmere og kontroller i den yngste aldersgruppen. For 8–10-åringene er det ikke tatt hensyn til kjønn fordi det ville gitt få deltakere per gruppe samtidig som resultatene sannsynligvis ikke er påvirket av pubertetsstatus. En av guttene i kontrollgruppen hadde en brukket tå og kunne derfor ikke gjennomføre testen.

Tabell 7: Resultater fra måling av maksimalt oksygenopptak for svømmere og kontroller i alderen 8–10 år. Verdiene er presentert som gjennomsnitt og 95 % konfidensintervall (KI).

	Svømmere (n = 14) Gjennomsnitt (95% KI)	Kontroller (n = 13) Gjennomsnitt (95% KI)	p
$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	52,9 (48,9, 56,9)	56,1 (51,0, 61,2)	0,289
$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (ml·min ⁻¹)	1829 (1652, 2007)	1790 (1607, 1974)	0,743
VE_{peak} (l·min ⁻¹)	69,3 (61,5, 77,1)	67,7 (59,8, 75,6)	0,756
HF_{peak} (slag·min ⁻¹)	202 (195, 210)	200 (197, 204)	0,535
RER	1,11 (1,07, 1,14)	1,08 (1,03, 1,13)	0,424

$\dot{V}O_{2\text{maks}}$: maksimalt oksygenopptak; VE_{peak} : høyeste oppnådde ventilasjon; HF_{peak} : høyeste oppnådde hjerterefrekvens; RER: respiratorisk utvekslingsratio.

I den eldste gruppen var det signifikant ($p < 0,05$) forskjell i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (ml·kg⁻¹·min⁻¹) og RER blant guttene. I kontrollgruppen hadde guttene et median oksygenopptak som var 6,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹ høyere enn svømmerne. Median RER-verdi var høyere hos svømmerne på 1,18 versus 1,15 i kontrollgruppen. Det var ingen signifikante forskjeller mellom jentene i svømme- og kontrollgruppen.

Tabell 8: Resultater fra måling av maksimalt oksygenopptak for svømmere og kontroller i alderen 15–18 år fordelt på kjønn. Verdiene er presentert som median og interkvartilbredde (IQR) hvis ikke annet er bemerket.

	Svømmere (n = 15) Median (IQR)		Kontroller (n = 13) Median (IQR)		p	
	Gutter (n=8)	Jenter (n=7)	Gutter (n=8)	Jenter (n=5)	Gutter	Jenter
$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	62,8 (9,4)	55,9 (8,6)	68,9 (8,6)*	59,4 (8,0)	0,027	0,570
$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ (ml·min ⁻¹)	4399 (803)	3556 (534)	4692 (428)	3622 (532)	0,401	0,808
VE_{peak} (l·min ⁻¹)	168 (32)	126 (24)	167 (37)	116 (10)	0,916	0,144
HF_{peak} (slag·min ⁻¹)	199 (11)	196 (182-215) ^a	202 (29)	203 (196-205) ^a	0,958	0,480
RER	1,18 (0,06)*	1,20 (1,14-1,24) ^a	1,15 (0,05)	1,14 (1,12-1,22) ^a	0,023	0,079

^a median og min-maks-verdier

* $p < 0,05$ etter Mann-Whitney test viser signifikant forskjell mellom svømmere og kontroller av samme kjønn

$\dot{V}O_{2\text{maks}}$: maksimalt oksygenopptak; VE_{peak} : høyeste oppnådde ventilasjon; HF_{peak} : høyeste oppnådde hjerterefrekvens; RER: respiratorisk utvekslingsratio.

4.3 Pubertetsutvikling

Tabell 9: Pubertetsutvikling for hele utvalget.

Pubertetsstadi	Yngste gruppe (n = 28) Antall (%)		Eldste gruppe (n = 27) Antall (%)	
	Svømmere	Kontroller	Svømmere	Kontroller
Pre	12 (43)	14 (50)	-	-
Tidlig	2 (7)	-	-	-
Midt	-	-	-	-
Sen	-	-	4 (15)	4 (15)
Post	-	-	11 (41)	8 (29)

Verdiene er presentert som antall og prosentandel av yngste eller eldste gruppe.

Resultatene i Tabell 9 er basert på svar fra spørreskjema om pubertetsutvikling. I den yngste gruppen tilhører to av jentene kategorien tidlig pubertet, resterende kategoriseres som pre-pubertale. Blant de eldste kategoriseres åtte av guttene som sen-pubertale, mens alle jentene og resten av guttene er post-pubertale.

5. Diskusjon

Hovedfunnene i denne studien tyder på at det ikke er forskjell i lungefunksjon (FEV_1 , FVC), lungevolum (TLC), diffusjonskapasitet (DL_{CO}) eller respiratorisk muskelstyrke (PI_{maks} , PE_{maks}) mellom svømmere og aktive kontroller i alderen 8–10 år eller 15–18 år. I den eldste gruppen var det imidlertid en statistisk signifikant ($p = 0,027$) forskjell i $\dot{V}O_{2maks}$ blant guttene hvor median (IQR) var 68,9 (8,6) og 62,8 (9,4) $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ for henholdsvis kontrollgruppen og svømmerne. Ingen forskjeller ble funnet blant de eldste jentene eller i den yngste gruppen. Funnene fra denne studien indikerer således at den spesifikke svømmetreningen ikke påvirker lungefunksjonsvariablene.

Videre i kapittelet vil resultatene fra den foreliggende studien bli diskutert opp mot relevant litteratur, først for den den yngste gruppen, deretter for den eldste gruppen.

5.1 Yngste gruppe

5.1.1 Lungefunksjon

Tidligere studier som har undersøkt ulike lungefunksjonsvariabler hos svømmere mellom 8–10 år har rapportert noe motsigende resultater. De fleste studiene sammenligner svømmere med inaktive kontroller og direkte sammenligning med den foreliggende studien må derfor gjøres med varsomhet. Resultatene fra denne studien viste ingen forskjeller mellom gruppene i lungefunksjon, lungevolum eller respiratorisk muskelstyrke og verdiene var heller ikke høyere enn forventet (Tabell 5). Dette støttes delvis av Engstrøm og medarbeidere (1971) som undersøkte utvikling av lungevolum hos svømmere fra 9 års-alder versus friske kontroller (Engstrøm, Eriksson, Karlberg, Saltin & Thorén, 1971). Vaccaro & Clarke (1978) utførte en intervensjon hvor 15 tidligere utrente jenter i alderen 9–11 år gjennomførte 7 måneder med svømmetrening. De mente forandringene i FVC og FEV_1 etter svømmetreningen ikke var større enn hva man kan forvente som følge av normal vekst og utvikling (Vaccaro & Clarke, 1978). Andre har funnet økt TLC hos svømmere mellom 7–13 år sammenlignet med utrente, hvor forskjellen så ut til å øke etter ett år med svømmetrening (Zinman & Gaultier, 1987). Courteix og medarbeidere (1997) undersøkte effekten av ett år med intensiv svømmetrening 12 t/uke versus variert aktivitet 2 t/uke hos pre-pubertale jenter. Pre-testene viste ingen signifikante forskjeller mellom gruppene, post-testene viste derimot statistisk signifikant høyere VC og TLC, samtidig som FEV_1 hadde økt hos svømmerne

og forblitt uforandret i kontrollgruppen. En tydelig svakhet ved denne studien er antall deltakere da kun 5 svømmere og 11 kontroller deltok i intervensjonen (Courteix, Obert, Lecoq, Guenon & Koch, 1997).

Diffusjonskapasiteten var den eneste lungefunksjonsvariabelen som var godt over forventet verdi for både svømmere (121 %) og kontroller (120 %) i denne studien. Høy diffusjonskapasitet hos unge svømmere har blitt vist i tidligere studier (Yost et al., 1981; Vaccaro, Clarke & Morris, 1980; Miller, Robinson, McCloskey & Picken, 1989), men disse studiene inkluderte også svømmere over 10 år. Få studier har undersøkt 8–10-åringer som egen gruppe. En studie av Bovard og medarbeidere (2018) målte diffusjonskapasitet hos jenter mellom 11–14 år før og etter en svømmesesong. De fant verdier, som samsvarte med våre, på 122 % av forventet og 121 % av forventet henholdsvis før og etter sesongen, vel og merke basert på et annet referansemateriale (Bovard et al., 2018). Det faktum at DL_{CO}-verdien ikke økte etter en svømmesesong hos jenter i puberteten kan tyde på den spesifikke treningen ikke påvirket og at det i større grad skyldes arv. Det påpekes derimot at 6–7 måneder eller en sesong med svømmetrening kan være for kort tid til å oppdage en eventuell adaptasjon i denne alderen (Vaccaro et al., 1980).

Resultatene for respiratorisk muskelstyrke var, i forhold til forventet verdi, de laveste for begge grupper. Dette kan skyldes en svakhet ved målemetoden kombinert med deltakernes tekniske utførelse, som diskuteres senere i kapittel 5.3.2. Andre forskere har funnet en forskjell i PI- og PE_{maks} hos gutter helt ned i 7–8-årsalder. En gruppe svømmere hadde statistisk signifikant høyere PI- og PE_{maks} sammenlignet med fotballspillere og inaktive kontroller. Mellom fotballspillerne og kontrollene ble det ikke observert noen forskjell (Santos, Rosa, Ferreira Cdos, Medeiros Ade & Batiston, 2012).

5.1.2 Maksimalt oksygenopptak

Det var ingen signifikant forskjell i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ mellom svømmerne og kontrollgruppen. Få studier har undersøkt $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på svømmere, spesielt i så ung alder. En studie fra 1978 kartla kardiorespiratoriske tilpasninger hos 9–11 år gamle barn etter ett år med svømmetrening. De fant en endring i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ fra 47,3 til 55,4 ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos svømmerne sammenlignet med kontrollgruppen som økte fra 46,8 til 49,0 ml·kg⁻¹·min⁻¹. I sin konklusjon skriver forfatterne at økningen hos svømmerne var høyere enn hva man

kan forvente som følge av ett år med vekst og modning (Vaccaro & Clarke, 1978). Svømmerne i den foreliggende studien hadde gjennomsnittlig $\dot{V}O_{2maks}$ på 52,9 ml·kg⁻¹·min⁻¹, et resultat som samsvarer med funnene over. En studie fra 2014 testet en gruppe svømmere og inaktive kontroller flere ganger over 3 år. Gjennomsnittsalder ved første test var 10,4 år og 9,8 år for henholdsvis svømmere og kontroller. Allerede ved første test hadde svømmerne statistisk signifikant høyere $\dot{V}O_{2peak}$ (l·min⁻¹) enn kontrollene, og forskjellen forble signifikant ved alle måletidspunkter. Svømmerne oppnådde $\dot{V}O_{2peak}$ på 1,75 l·min⁻¹ det første året, rett under svømmerne i den foreliggende studien med en $\dot{V}O_{2maks}$ på 1,83 l·min⁻¹ (McNarry, Mackintosh & Stoedefalke, 2014). I studien til McNarry og medarbeidere ble testene utført på ergometersykkel, noe som kan være en medvirkende faktor til at deres resultater var noe lavere.

At de som er idrettsaktive demonstrerer høyere $\dot{V}O_{2maks}$ enn utrente, er i tråd med hva tidligere forskning viser (LeMura et al., 1999; Armstrong et al., 2011). Dersom resultatene fra den foreliggende studien sammenlignes med landsgjennomsnittet for $\dot{V}O_{2maks}$ hos 9-åring, ligger begge gruppene over. Kontrollgruppen, som i hovedsak består av langrennsløpere, oppnår gjennomsnittlig $\dot{V}O_{2maks}$ på 56,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹, mens svømmerne oppnår 52,9 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Til sammenligning fant man gjennomsnittlig $\dot{V}O_{2maks}$ på 48,2 og 42,9 ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos henholdsvis norske gutter og jenter målt på ergometersykkel (Kolle et al., 2010).

5.1.3 Utvalg

Svømmerne og kontrollene i den yngste gruppen var ikke signifikant forskjellige med tanke på alder, antropometriske mål eller treningstimer per uke. Deres pubertetsstatus var pre-pubertale, med unntak av to svømmere som tilhørte kategorien tidlig pubertet. De ble alle kategorisert som normalvektige etter aldersjusterte grenseverdier for KMI (Cole et al., 2000; Cole et al., 2007). Sammenligner vi deres KMI med gjennomsnittet fra ungKan3-undersøkelsen som viste at norske gutter og jenter på 9,5 år hadde gjennomsnittlig KMI på henholdsvis 17,4 og 17,5 kg·m⁻² ligger forsøkspersonene i den foreliggende studien litt lavere. Guttenes KMI var 16,6 og 15,9 kg·m⁻², mens jentenes KMI var 17,0 og 16,7 kg·m⁻² for henholdsvis svømmere og kontroller, og de kan sies å være representative for sin aldersgruppe.

Svarene fra spørreskjemaet om treningsvaner viser at svømmerne har en sammensatt treningshverdag. Tolv av 14 svømmere er også aktive i andre idretter. Antall treningstimer per uke gjenspeiler således totalt antall timer og ikke spesifikt svømmetrening. Spørreskjemaet gir kun informasjon om type idrett, antall år med idretten og antall treningstimer per uke. For mer utfyllende informasjon kunne vi eksempelvis spurt om intensitet på treningen.

5.2 Eldste gruppe

5.2.1 Lungefunksjon

Det ble ikke påvist noen forskjeller mellom svømmerne og den aktive kontrollgruppen for noen av lungefunksjonsvariablene i den eldste gruppen. En interessant observasjon er likevel at samtlige verdier, med unntak av FEV₁ i kontrollgruppen, ligger over 100 % av forventet verdi. Således kunne det vært nyttig å sammenligne resultatene med en utrent kontrollgruppe for å se om årsaken til dette kan skyldes trening.

Forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten

En variabel som ofte inngår i studier på området er FEV₁. Som for de andre variablene, er det også her ulike referanseverdier som benyttes, hvilket er uheldig med tanke på sammenligning av resultatene. Likevel vil resultater fra andre studier bli belyst for å gi en indikasjon på funnene som foreligger. Svømmerne og kontrollgruppen hadde gjennomsnittlig FEV₁ på henholdsvis 106 % og 100 % av forventet verdi. Vaccaro og medarbeidere (1980) fant FEV₁-verdier på 110 % av forventet hos unge elitesvømmere, det samme gjorde Doherty og Dimitriou (1997) med 111 % av forventet som mente dette var i samsvar med tidligere forskning. Høyere verdier har også blitt rapportert på eksempelvis 122 % av forventet hos en liten gruppe svømmere på 18 ± 2,4 år (Armour et al., 1993). Armour og medarbeidere (1993) sammenlignet svømmere med både løpere og inaktive kontroller. Svømmerne hadde statistisk signifikant høyere FEV₁ enn kontrollgruppen, de hadde tendens til høyere FEV₁ enn løperne, men denne forskjellen var ikke signifikant. I noen studier er det observert forbedret FEV₁ hos svømmere etter en periode med trening (Mehrotra et al., 1997; Mickleborough, Stager, Chantham, Lidley & Ionescu, 2008). Studien til Doherty & Dimitriou fra 1997 undersøkte tre grupper; svømmere, en sammensatt gruppe som drev landbasert idrett og en inaktiv kontrollgruppe. De fant statistisk signifikant høyere FEV₁ blant svømmerne

sammenlignet med de to andre gruppene. I tillegg utførte de en subgruppe-analyse hvor svømmerne ble delt i to grupper basert på om de holdt nasjonalt nivå (n=61) eller ikke (n=52). De mannlige svømmerne på nasjonalt nivå var statistisk signifikant høyere enn de andre, dermed ble FEV₁- verdiene justert for kroppshøyde. Fremdeles fant de statistisk signifikant høyere FEV₁ i denne gruppen versus mennene som ikke holdt nasjonalt nivå. Forskerne kontrollerte deretter for antall år med trening og så at forskjellen forsvant. Disse funnene indikerer at antall år med svømmetrening kan påvirke FEV₁ (Doherty & Dimitriou, 1997).

Forsert vitalkapasitet

Forsert vitalkapasitet i den foreliggende studien var 109 % og 101 % av forventet for henholdsvis svømmere og kontroller. En større longitudinell studie over 3 år av Baxter-Jones & Helms (1996) undersøkte effekten av trening i ung alder hos svømmere, turnere, tennis- og fotballspillere. Svømmerne hadde høyest FVC fra starten av og dette holdt seg uforandret gjennom studieperioden. Forfatterne mente at dette ikke var et resultat av trening, men at elitesvømmerne har blitt svømmere på grunn av blant annet denne egenskapen (Baxter-Jones & Helms, 1996). Doherty & Dimitriou (1997) fant også høyest FVC hos svømmere (103 % av forventet) sammenlignet med landbaserte idretter (96 % av forventet) og inaktive kontroller (90 % av forventet) (Doherty & Dimitriou, 1997). Høyere FVC hos svømmere støttes også av resultatene til Mehrotra og medarbeidere (1997) som ikke fant endringer i FVC hos en inaktiv kontrollgruppe, men statistisk signifikante endringer hos svømmere etter en sesong (Mehrotra et al., 1997). I motsetning til Baxter-Jones og medarbeidere, indikerer deres resultater at svømmetrening kan påvirke lungefunksjonen.

Total lungekapasitet og residualvolum

Total lungekapasitet er lik i begge grupper og ligger godt over forventet verdi (123 %). Deltakerne har et høyt RV på 159 % og 151 % av forventet for henholdsvis svømmere og kontroller. Høyere enn forventet TLC hos svømmere støttes av tidligere forskning (Andrew et al., 1972; Clanton et al., 1987; Cordain et al., 1990; Armour et al., 1993). Det er derimot vanskelig å finne studier som viser like høy TLC hos en aktiv kontrollgruppe, som i dette tilfellet hovedsakelig består av langrennsløpere. Studien til Armour og medarbeidere (1993) fant TLC-verdier på 128 % av forventet for svømmere, mens en gruppe løpere hadde signifikant lavere verdi på 107 % av forventet, hvilket var

identisk med en utrent kontrollgruppe (Armour et al., 1993). Clanton og medarbeidere (1987) undersøkte godt trente svømmere på 19 ± 1 år og påpekte da de fant en økning i TLC etter kun 12 uker, at RV forble uforandret. Denne endringen fører til en økning i VC som ikke ville vært like stor dersom økt TLC var akkompagnert av økt RV. I praksis vil ikke en endring i TLC alene være så interessant, dersom VC ikke øker. Cordain og medarbeidere (1990) fant at både TLC og RV var statistisk signifikant høyere hos kvinnelige svømmere sammenlignet med løpere og kontroller. De beskriver at RV hos unge i stor grad er en funksjon av balansen mellom ekspiratorisk muskelkraft og elastisk tilbakefjæringskraft i brystveggen (Cordain et al., 1990). Lav PE_{maks} kunne således vært en forklaring på deltakernes høye RV, men det var ikke tilfellet i den foreliggende studien. En annen teori er at RV kan øke som følge av økt pulmonalt blodvolum. Dersom blodvolumet i lungekretsløpet øker, kan dette resultere i høyere pulmonalt trykk som fører til noe stivere lungevev (Girandola, Robert, Wiswell, Mohler, Romero & Barnes, 1977). Om dette er tilfellet for deltakerne i den foreliggende studien blir kun spekulasjoner, men sannsynligheten for at de har høyere blodvolum sammenlignet med utrente på samme alder er allikevel tilstede.

Selv om det har blitt foreslått at svømmetrening kan føre til økt lungevolum, er det ikke funnet direkte bevis for at belastningen under trening påvirker de foreslåtte mekanismene for økt lungevekst (Bovard et al., 2018). Normal lungevekst foregår gjennom et samspill mellom brystkassen og alveolær vekst (Hsia et al., 2004). Det er derfor foreslått at økt TLC hos svømmere skyldes en større brystkasse. I den foreliggende studien hadde de mannlige svømmerne signifikant ($p < 0,01$) større brystomkrets enn kontrollgruppen, hvilket støttes av tidligere forskning (Zinman & Gaultier, 1987; Armour et al., 1993). Det bidro allikevel ikke til at de skilte seg fra kontrollgruppen med tanke på TLC.

Diffusjonskapasitet

Høy TLC kan også forklare høye verdier av VC, PEF, FEF₅₀ og DL_{CO} (Bovard et al., 2018). Svømmerne i den foreliggende studien hadde DL_{CO} på 125 % av forventet mens kontrollgruppen hadde 118 % av forventet. Yost og medarbeidere (1981) fant statistisk signifikant høyere DL_{CO} hos svømmere sammenlignet med utrente kontroller og mente forskjellen var et resultat av både vekst og trening. Studier på svømmere i sammenlignbar alder har vist DL_{CO}-verdier på 113 % (Vaccaro et al., 1980) og 117 %

av forventet, signifikant bedre enn løpere og inaktive kontroller (Armour et al., 1993). Millers forskergruppe undersøkte i 1989 svømmere mellom 18–22 år. De delte gruppen i to for å sammenligne de som hadde $DL_{CO} < 100\%$ av forventet og de som hadde $\geq 110\%$ av forventet. Påfølgende test av svømmeprestasjon viste ingen forskjell mellom gruppene (Miller et al., 1989). Dette kan tyde på at økt DL_{CO} ikke har stor praktisk betydning for svømmeprestasjon, dog var forskjellen mellom gruppene relativt liten. Tilsvarende test med større differanse i DL_{CO} mellom gruppene kunne således styrket eller avkreftet denne teorien. Som tidligere beskrevet er en av faktorene som har betydning for lungenes diffusjonskapasitet, arealet av alveoloverflaten som utgjør arealet av blod-gassbarrieren. Økt brystomkrets hos svømmerne kan tenkes å øke dette arealet. Armour og medarbeidere (1993) foreslo et økt antall alveoler hos svømmere som årsak til forbedringen. Andre har pekt på økt kapillærtetthet (Miller et al., 1989) eller økt blodvolum i lungekapillærene (Yost et al., 1981). Disse årsakene vil også kunne ha betydning for kontrollgruppen i den foreliggende studien.

Respiratorisk muskelstyrke

Svømmerne i den foreliggende studien hadde verdier over forventet med 110 % og 114 % av forventet for henholdsvis PI - og PE_{maks} , men skilte seg ikke signifikant fra kontrollgruppen. Clanton og medarbeidere (1987) vurderte effekten av 12 ukers svømmetrening på inspiratorisk muskelstyrke. De undersøkte godt trente kvinnelige svømmere mellom 17–21 år og sammenlignet med en inaktiv kontrollgruppe. Svømmerne ble delt i to grupper hvor halvparten fortsatte som normalt og halvparten utførte inspiratorisk muskeltrening (IMT) i tillegg. Samme inndeling ble gjort i kontrollgruppen. Begge svømmegruppene forbedret PI_{maks} signifikant, uten signifikant forskjell mellom gruppene. Den delen av kontrollgruppen som utførte IMT fikk også en signifikant forbedring sammenlignet med resten av kontrollgruppen. Studien viste at svømmetrening forbedret inspiratorisk muskelstyrke og at effekten av kun svømmetrening var nesten like stor som svømmetrening pluss IMT eller IMT alene (Clanton et al., 1987). Forskerne lyktes ikke med å designe en test som kunne avgjøre om den forbedrede muskelstyrken påvirket svømmeprestasjonen. Mickleborough og medarbeidere utførte i 2008 en tilsvarende studie uten kontrollgruppe, og gjorde lignende funn med signifikante forbedringer i både PI - og PE_{maks} . Andre har derimot funnet statistisk signifikant høyere PE_{maks} hos en gruppe kvinnelige løpere sammenlignet med svømmere og ingen forskjell i PI_{maks} (Cordain et al., 1990).

To av studiene som nevnes her (Clanton et al., 1987; Mickleborough et al., 2008) har relativt kort varighet med 12 ukers intervensjonsperiode. Noen stiller seg derfor kritiske til at den målte fremgangen kommer som et resultat av trening og ikke bare som følge av naturlig utvikling. Det er knyttet noe usikkerhet til hva som regnes for å være naturlig utvikling hos ungdom. Clanton og medarbeidere tok høyde for dette ved å sammenligne fremgangen i FVC med predikerte verdier fra en stor undersøkelse av Schoenberg og medarbeidere (1978). Ifølge disse dataene skulle FVC økt ~ 15 ml i løpet av de 12 ukene i kontrast til den observerte forbedringen på 250 ml. Mickleborough og medarbeidere (2008) støtter seg til de samme predikerte verdiene og påpeker i tillegg at det ikke ble funnet endringer i antropometri i løpet av de 12 ukene, samtidig som deltakerne kan regnes som fysisk modne i den alderen ($18 \pm 1,6$ år). Forbedringen på 250 ml er fremdeles relativt liten og vil således ikke ha stor praktisk betydning for svømmeprestasjonen. Clanton og medarbeidere (1987) beskriver at deres svømmere har trent konkurranse-svømming store deler av sine liv og at denne forbedringen derfor kan tenkes å representere større fysiologiske endringer i brystkassen og lungene som har foregått over mange år. De peker på mulige fordeler dette kan gi 1) økt overflateareal for gassutveksling; 2) forbedret oppdrift og mindre motstand i vannet; 3) økt ventilatorisk kapasitet (Clanton et al., 1987).

5.2.2 Maksimalt oksygenopptak

Guttene i kontrollgruppen hadde signifikant høyere ($p = 0,027$) $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) enn guttene i svømmegruppen. En sannsynlig årsak til dette er at kontrollgruppen i stor grad utgjøres av langrennsløpere. Saltin og Åstrand undersøkte allerede i 1967 $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ hos en rekke idrettsutøvere på landslagsnivå, inkludert svømmere og langrennsløpere. Blant 95 menn fra 19 ulike idrettsgrener var det langrennsløperne som hadde høyest $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (Saltin & Åstrand, 1967). I denne studien var det få deltakere per gruppe, men resultatene har senere fått støtte av andre studier (Bergh, 1982; Rusko, Havu & Karvinen 1986; Ingjer 1992). Studien til Ingjer (1992) var en longitudinell studie av syv norske langrennsløpere som gjennomførte omfattende utholdenhetstrening (15–25 timer i uken). Resultatene viste oppsiktsvekkende høye $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ -verdier med et gjennomsnitt på $76,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ allerede ved 14-års alder og $82,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ved 17 år (Ingjer, 1992). Til sammenligning hadde kontrollene i den foreliggende studien, hvor gjennomsnittsalderen også var 17,0 år, en median (IQR) $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på 68,9 (8,6) $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Blant 9 jenter fra det svenske juniorlandslaget i langrenn ble

gjennomsnittlig $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ målt til $59,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Larsson, Olofsson, Jakobsson, Burlin & Henriksson-Larsén, 2002). Jentene i kontrollgruppen i den foreliggende studien er i snitt 1 år yngre, men måler tilsvarende resultater med $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på median (IQR) $59,4 (8,0) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Få studier har målt $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ ved løp på tredemølle hos svømmere i den aktuelle aldersgruppen. Vaccaro og medarbeidere (1980) undersøkte 12 gutter på $15 \pm 1,7$ år. Deres $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ var $56,8 \pm 9,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, sammenlignet med median (IQR) $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ på $62,8 (9,4) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ blant de mannlige svømmerne i den foreliggende studien.

Svømming er en kompleks idrett som krever både anaerob- og aerob kapasitet, samt styrke, smidighet og koordinasjon (Rodriguez & Mader, 2011). Bidraget fra de ulike energisystemene varierer etter distansen som svømmes. Maglischo (1982) påpekte at optimalisering av maksimal aerob kapasitet var viktig, men at varigheten på de fleste konkurransene var for kort til at det hadde vesentlig betydning (Maglischo, 1982). Ved sprint-distanser (50–100 m) vil anaerobe prosesser være den dominerende energikilden, mellomdistanse (200–400 m) krever både anaerob og aerob kapasitet, mens langdistansesvømming (800–1500 m) domineres av aerob energifrigjøring (Løvberg et al., 2018). Bidraget fra det anaerobe systemet reduseres samtidig som det aerobe bidraget øker ettersom varigheten forlenges. I løpet av de første 108 sekundene kommer det meste av energien ($> 50\%$) fra anaerobe prosesser (Toussaint & Hollander, 1994). I svømming konkurreres det for det meste på 50, 100, 200 og 400 m. Således vil en forbedring av den anaerobe kapasiteten ha størst påvirkning på prestasjonen.

5.2.3 Utvalg

For det eldste utvalget ble det funnet signifikant ($p < 0,01$) forskjell i brystomkrets mellom guttene i svømmegruppen og kontrollgruppen, men ikke hos jentene. Armour og medarbeidere (1993) fant lignende resultater da deres mannlige svømmere hadde statistisk signifikant bredere bryst enn en gruppe løpere. Svømmernes antropometri kan ha innvirkning på deres prestasjon. Tidligere forskning har vist at svømmere ofte er lange i forhold til kroppsmasse (Åstrand et al., 1963) og har økt skulderbredde sammenlignet med jevnaldrende (Malina, 1982). Dette kan gi fordeler ved start, vendinger og målgang, samtidig som lange armer er gunstig for svømmetakene (Reilly, Secher, Snell & Williams, 1990). I den foreliggende studien ble det ikke målt

skulderbredde eller armlengde, og ingen signifikante forskjeller ble målt i kroppshøyde mellom svømmere og kontrollgruppen. Resterende antropometriske mål, alder og pubertetsstatus var heller ikke ulikt mellom gruppene. Tretti prosent av utvalget ble kategorisert som sen-pubertale og 70 % som post-pubertale. Basert på KMI-tallene klassifiseres deltakerne som normalvektige (Cole et al., 2000; Cole et al., 2007).

Antall treningstimer i uken var signifikant forskjellig ($p < 0,01$) mellom svømmere og kontrollgruppen for begge kjønn. Skal man bli en god svømmer kreves det mange timer med trening. I en rapport anbefaler Norges Svømmeforbund fremtidige verdensener å trene 1200–1300 timer i året, som tilsvarer 23–25 timer i uken (Løvberg et al., 2018). Noen av deltakerne i studien innfrir dette, mens gjennomsnittet ligger rett under med $22,1 \pm 3,8$ t/uke for guttene og $21,07 \pm 1,2$ t/uke for jentene, omtrent det dobbelte av kontrollgruppen.

5.3 Metodediskusjon

5.3.1 Styrker og svakheter

Prosjektet ble designet som en observasjonell kasus-kontroll studie som gir mulighet for å undersøke multiple utfallsvariabler med raske resultater. Designet egner seg godt til å sammenligne to grupper, men kan ikke si noe om kausalitet. En styrke ved prosjektet var at utvalgene ikke skilte seg fra hverandre, med unntak av brystomkrets og antall treningstimer i uken for det eldste utvalget. Videre ble standardiserte retningslinjer fulgt og utstyret ble kalibrert i forkant av hver testdag. De samme erfarne testlederne gjennomførte så godt som alle testene. Fordi det var min oppgave å rekruttere deltakere og organisere studien var jeg ikke blindet med tanke på hvilken gruppe deltakerne tilhørte. En annen svakhet ved studien var skjevfordeling av kjønn, spesielt i den yngste gruppen som gjorde det vanskelig å dele gruppene etter kjønn. I tillegg skulle det ifølge styrkeberegningen vært minst 15 deltakere i hver gruppe. Ideelt sett burde deltakerne representert ulike deler av landet, men grunnet praktisk gjennomføring av testingen var deltakerne fra et relativt samlet geografisk område med nærhet til Norges idrettshøgskole. Dette kan påvirke studiens eksterne validitet og svekke resultatenes generaliserbarhet. Mulighetene for seleksjonsbias kan heller ikke utelukkes, særlig blant kontrollgruppen. Mange av deltakerne som takket ja til studien virket spesielt opptatt av å teste $\dot{V}O_{2\text{maks}}$, og det kan dermed tenkes at de skiller seg noe fra de som ikke ønsket å delta.

5.3.2 Målemetoder

For mest mulig nøyaktig måling av kroppssammensetning fikk deltakerne beskjed om å unngå mat og drikke de siste 2 timene før måling. Ikke alle hadde overholdt dette, noe som kan ha påvirket utfallet. Völgyi og medarbeidere (2008) påpeker at InBody er lett å anvende i forskjellige aldersgrupper og ved ulike kroppssammensetninger, samtidig som målemetoden er billig. De observerte at InBody 720 viste gjennomsnittlig 2–6 % lavere fettprosent hos voksne sammenlignet med Dual Energy X-ray absorptiometry (DEXA) (Völgyi, Tylavsky, Lyytikäinen, Suominen, Alen & Cheng, 2008). Lim og medarbeidere (2009) sammenlignet resultatene fra InBody 720 og DEXA på friske barn og unge mellom 6–18 år. De rapporterte høy presisjon for FFM og FM med en standardfeil (SEE) på henholdsvis 1,16 kg og 1,34 kg, men noe lavere presisjon for fettprosent med SEE på 3,03 % (Lim, Hwang, Lee, Kim, Park, Jeong & Cheon, 2009).

Samtlige lungefunksjonstester er svært innsatsavhengige, krever samarbeid og en viss forståelse hos deltakeren. Dersom innsatsen er submaksimal vil det underestimere den sanne verdien. Mitt inntrykk etter gjennomføring av testene var at deltakerne generelt var gode til å følge instruksjoner og forstod viktigheten av maksimal innsats. Vi brukte imidlertid flere forsøk før vi fikk godkjente målinger i den yngste gruppen i forhold til den eldste. Ved spirometri har den tekniske utførelsen mye å si for resultatet. Dårlig teknikk kan både under- og overestimere FEV₁, samt underestimere FVC.

Spirometrikurvens fasong ble derfor nøye vurdert for å sikre valide resultater.

Under måling av PE_{maks} oppstod det lekkasje av luft på utsiden av apparatet. Deltakerne fikk derfor bruke hendene til å presse leppene mot munnstykket noe som reduserte lekkasjen. Enkelte rapporterte ubehag i nese og bihuler på grunn av trykket som oppstod ved måling av PI- og PE_{maks} noe som kan ha ført til redusert innsats. De deltakerne som etter gjentatte forsøk ikke utførte korrekt teknikk ble utelatt fra dataanalysene.

Måling av DL_{co} bød på noen utfordringer i den yngste gruppen. Flere hadde problemer med å inhalere tilstrekkelig testgass i løpet av 4 sekunder og trengte derfor flere forsøk. Mellom forsøkene kreves pause på minst 4 minutter for tilstrekkelig eliminering av testgass fra lungene. Tre til fire gjentatte forsøk blir dermed en tidkrevende prosess, ifølge retningslinjene kan det utføres maksimalt 5 påfølgende forsøk (Graham et al., 2017). En forutsetning for nøyaktige målinger er FVC > 1,5 l (Skjørten, 2018). Ei av de

minste jentene oppfylte ikke dette kravet og målingen ble derfor ikke inkludert i resultatene.

Prosedyren for måling av lungevolum er sammensatt av flere elementer som alle må gjøres korrekt. For at deltakerne lettere skulle huske øvelsen fikk de se en skissert figur for korrekt utførelse, samtidig som instruksjer ble gitt. En gjentakende utfordring i den yngste gruppen var opprettholdelse av riktig pustefrekvens mens munnstykket gradvis ble blokkert for luft, noe enkelte opplevde som ubehagelig. Pustefrekvensen ble justert ved at deltakerne fikk øve uten munnstykke før neste forsøk.

Blant de yngste deltakerne i den foreliggende studien hadde de færreste løpt på tredemølle før. Ideelt sett kunne vi derfor hatt en dag med tilvenning før selve testen slik at deltakerne ble trygge ved høy hastighet på tredemølla. Vi brukte derimot god tid på oppvarmingen hvor de løp på ulike hastigheter og øvde på avhopp. Av sikkerhetsmessige årsaker var det alltid 2 testledere tilstede da 8–10-åringene løp.

5.4 Videre forskning

Grunnet et lite utvalg i den foreliggende studien må generalisering av resultatene gjøres med forsiktighet. Fremtidige studier bør inkludere et høyere antall deltakere fra et større geografisk område. I tillegg vil en kontrollgruppe bestående av inaktive barn og ungdommer kunne gi evidens knyttet til treningens påvirkning på de undersøkte variablene. Med tilstrekkelig tid og ressurser kan longitudinelt design være å foretrekke i fremtidige studier for å følge utviklingen fra pre- til postpubertet.

6. Konklusjon

Det var ingen forskjeller i lungefunksjon, lungevolum, diffusjonskapasitet eller respiratorisk muskelstyrke mellom svømmere og kontroller i noen av aldersgruppene. Guttene i kontrollgruppen i den eldste årsklassen hadde statistisk signifikant høyere $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ enn jevnaldrende svømmere. Funnene fra denne studien indikerer således at den spesifikke svømmetreningen ikke påvirker lungefunksjonsvariablene, men resultatene bør tolkes med varsomhet grunnet lite utvalg.

Referanser

- Andrew, G. M., Becklake, M. R., Guleria, J. S. & Bates, D. V. (1972). Heart and lung functions in swimmers and nonathletes during growth. *Journal of Applied Physiology*, 32(2) 245-251.
- Armour, J., Donnelly, P. M., & Bye, P. T. (1993). The large lungs of elite swimmers: an increased alveolar number? *The European Respiratory Journal*, 6(2), 237-247.
- Armstrong, N. & Welsman, J.R. (1994). Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 435-76.
- Armstrong, N., McManus, A. M. & Welsman, J. R. (2008). Aerobic fitness. I: N. Armstrong & W. van Mechelen (Red.), *Paediatric Exercise Science and Medicine. Second edition.* (s. 269-82). Oxford: Oxford University Press.
- Armstrong, N., Tomkinson, G. R. & Ekelund, U. (2011). Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 849-858.
- Bahr, R., Hallén, J., Medbø, J. I. (1991). *Testing av idrettsutøvere*. Oslo: Universitetsforlaget
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70-84.
- Baxter-Jones, A. & Helms, P. (1996). Effects of training at a young age: A review of the training of young athletes (TOYA) study. *Pediatric Exercise Science*, 8, 310-327.
- Bergh, U. (1982). *Physiology of cross-country ski racing*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Beydon, N., Davis, S. D., Lombardi, E., Allen, J. L., Arets, H. G., Aurora, P., ... Wilson, N. M. (2007). An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 175(12), 1304-45. doi: 10.1164/rccm.200605-642ST
- Bougault, V., Turmel, J., Levesque, B. & Boulet, L-P. (2009). The respiratory health of swimmers. *Sports Medicine*, 39(4), 295-312.

- Bovard, J. M., Welch, J. F., Houghton, K. M., McKenzie, D. C., Potts, J. & Sheel, A. W. (2018). Does competitive swimming affect lung growth? *Physiological Reports*, 6(15). <https://doi.org/10.14814/phy2.13816>
- Carskadon, M. A. & Acebo, C. (1993). A self-administered rating scale for pubertal development. *Journal of adolescent health*, 14, 190-195.
- Clanton, T. L., Dixon, G. F., Drake, J. & Gadek, J. E. (1987). Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning. *Journal of Applied Physiology*, 62(1), 39-46.
- Coates, A. L., Peslin, R., Rodenstein, D. & Stocks, J. (1997). Measurement of lung volumes by plethysmography. *The European Respiratory Journal*, 10(6), 1415-1427.
- Cole, T. J., Bellizzi, M. C., Flegal, K. M. & Dietz, W. H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *British Medical Journal*, 320(1240). doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.320.7244.1240>
- Cole, T. J., Flegal, K. M. Nicholls, D. & Jackson, A. A. (2007). Body mass index cut offs to determine thinness in children and adolescents: international survey. *British Medical Journal*, 335(7612). doi: 10.1136/bmj.39238.399444.55
- Cooper, C. & Storer, T. W. (2006). *Exercise testing and interpretation: a practical approach*. New York: Cambridge University Press
- Cordain, L., Tucker, A., Moon, D. & Stager, J. M. (1990). Lung volumes and maximal respiratory pressures in collegiate swimmers and runners. *Research quarterly for Exercise and Sport*, 61(1), 70-74. doi: 10.1080/02701367.1990.10607479
- Courteix, D., Obert, P., Lecoq, A. M., Guenon, P. & Koch, G. (1997). Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistances and the maximal expiratory flow-volume relationship in prepubertal girls. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(3), 264-269.
- Criée, C. P., Sorichter, S., Smith, H. J., Kardos, P., Merget, R., Heise, D. ... & Jörres, R. A. (2011). Body Plethysmography – its principles and clinical use. *Respiratory Medicine*, 105, 959-971. doi:10.1016/j.rmed.2011.02.006
- DeGrootd, E. G., van Pelt, W., Borsboom, G. J., Quanjer, Ph.H. & van Zomeren, B.C. (1988). Growth of lung and thorax dimensions during the pubertal growth spurt. *The European Respiratory Journal*, 1(2), 102–106.
- Dempsey, J. A., Gledhill, N., Reddan, W. G., Forster, H. V., Hanson, P. G. & Claremont, A. D. (1977). Pulmonary adaption to exercise: effects of exercise

type and duration, chronic hypoxia and physical training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 243-261.

- Dempsey, J. A., Hanson, P. & Henderson, K. (1984). Exercise-induced arterial hypoxemia in healthy humans at sea-level. *The Journal of Physiology*, 355, 161–175.
- De Simone, G., Devereux, R. B., Daniels, S. R. & Meyer, R. A. (1995). Gender differences in left ventricular growth. *Hypertension*, 26, 979-983.
- De Simone, G., Devereux, R. B., Kimball, T. R., Mureddu, G. F., Roman, M. J., Contaldo, F. & Daniels, S. R. (1998). Interaction between body size and cardiac workload: influence on left ventricular mass during growth and adulthood. *Hypertension* 31, 1077-1082. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.31.5.1077>
- Doherty, M. & Dimitriou, L. (1997). Comparison of lung volume in Greek swimmers, land based athletes, and sedentary controls using allometric scaling. *British Journal of Sports Medicine*, 31, 337-341.
- Duncan, G. E., Mahon, A. D., Howe, C. A. & Del Corral, P. (1996). Plateau in Oxygen Uptake at Maximal Exercise in Male Children. *Pediatric Exercise Science*, 8, 77-86.
- Durmic, T., Lazovic, B., Djelic, M., Lazic, J. S., Zikic, D., Zugic, V., ... & Mazic, S. (2015). Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(6), 516-522.
- Emerson, S.R., Kurti, S.P., Rosenkranz, S.K., Smith, J.R. & Harms, C.A. (2014). Decreased prevalence of exercise expiratory flow limitation from pre- to post-puberty. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(7), 1503-1511. doi:10.1249/MSS.0000000000000566
- Engstrøm, I., Eriksson, B. O., Karlberg, P., Saltin B. & Thorén, C. (1971). Preliminary report on the development of lung volumes in young girl swimmers. *Acta Paediatrica Scandinavia. Supplement*, 217, 73-76.
- Enright, P. L., Beck, K. C. & Sherrill, D. L. (2004). Repeatability of spirometry in 18,000 adult patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 169(2), 235-238. doi: 10.1164/rccm.200204-347OC
- Figuroa-Colon, R., Hunter, G. R., Mayo, M. S., Aldridge, R. A., Goran, M. I. & Weinsier, R. I. (2000). Reliability of treadmill measures and criteria to determine VO_{2max} in prepubertal girls. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(4), 865-869.
- Font-Ribera, L., Villanueva, C. M., Nieuwenhuijsen, M. J., Zock, J-P., Kogevinas, M. & Henderson, J. (2011). Swimming pool attendance, asthma, allergies, and lung

function in the avon longitudinal study of parents and children cohort. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 183, 582-588.
<https://doi.org/10.1164/rccm.201005-0761OC>

Gibson, A. L., Holmes, J. C., Desautels, R. L., Edmonds, L. B. & Nuudi, L. (2008). Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict 4-component-model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(2), 332-338.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/87.2.332>

Girandola, R. N., Wiswell, R. A., Mohler, J. G., Romero, G. T. & Barnes, W. S. (1977). Effects of water immersion on lung volumes: implications for body composition analysis. *Journal of Applied Physiology*, 43(3), 276-279.

Graham, B. L., Brusasco, V., Burgos, F., Cooper, B. G., Jensen, R., Kendrick, A., ... Wanger, J. (2017). 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *The European Respiratory Journal*, 49.
<https://doi.org/10.1183/13993003.00016-2016>

Green, M., Road, J., Sieck, G. C. & Similowski, T. (2002). Test of respiratory muscle strength, i: American Thoracic Society; European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166, 518-624. doi: 10.1164/rccm.166.4.518

Gulsvik, A. & Bakke, P. S. (2004). *Lungesykdommer: en basal innføring*. Bergen: Fagbokforlaget.

Hibbert, M. E., Couriel, J. M. & Landau, J. I. (1984). Changes in lung, airway, and chest wall function in boys and girls between 8 and 12 years. *Journal of Applied Physiology*, 57(2), 304-308. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.2.304>

Hibbert, M., Lannigan, A., Raven, J., Landau, L. & Phelan, P. (1995). Gender differences in lung growth. *Pediatric Pulmonology*, 19(2), 129-134.
<https://doi.org/10.1002/ppul.1950190208>

Holtberget, K. (2010). *Validering av måleinstrumenter for kroppssammensetning*. Masteroppgave ved Norges idrettshøgskole, Oslo.

Howley, E. T., Bassett, D. R. & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(9), 1292-1301.

Hsia, C. C., Berberich, M. A., Driscoll, B., Laubach, V. E., Lillehei, C., Massaro, D. J. ... & Warburton, D. (2004). Mechanisms and limits of induced postnatal lung growth. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170(3), 319-343.

- Ingjer, F. (1992). Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: a longitudinal study. *Journal of Sports Sciences*, 10(1), 49-63.
- Issekutz, B., Rodahl, K. & Birkhead, N. C. (1962). Effect of severe cold stress on the nitrogen balance of men under different dietary conditions. *The Journal of Nutrition*, 78(2), 189-197.
- Kippelen, P., Caillaud, C., Robert, E., Connes, P., Godard, P. & Prefaut, C. (2005). Effect of endurance training on lung function: a one year study. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 617-621. doi: 10.1136/bjism.2004.014464
- Kolle, E., Steene-Johannessen, J., Andersen, L. B. & Anderssen, S. A. (2010). Objectively assessed physical activity and aerobic fitness in a population-based sample of Norwegian 9- and 15-year-olds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), 41-47. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00892
- Laake, P., Olsen, B. R. & Benestad, H. B. (2008). *Forskning i medisin og biofag*. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Larsson, P., Olofsson, P., Jakobsson, E., Burlin, L. & Henriksson-Larsén, K. (2002). Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(6), 347-353.
- Lazovic-Popovic, B., Zlatkovic-Svenda, M., Durmic, T., Djelic, M., Djordjevic Saranovic, S. & Zugic, V. (2016). Superior lung capacity in swimmers: some questions, more answers! *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 22(3), 151-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rppnen.2015.11.003>
- Lazovic, B., Mazic, S., Suzic-Lazic, J., Djelic, M., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T. ... Zugic, V. (2015). Respiratory adaptations in different types of sport. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19, 2269-2274.
- LeMura, L. M., von Dullivard, S. P., Carlonas, R. & Andreacci, J. (1999). Can exercise training improve maximal aerobic power (VO₂max) in children: a meta-analytic review. *Journal of Exercise Physiology*, 2(3), 1-22.
- Lim, J. S., Hwang, J. S., Lee, J. A., Kim, D. H., Park, K. D., Jeong, J. S. & Cheon, G. J. (2009). Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6–18 years. *Pediatrics International*, 51(2). <https://doi.org/10.1111/j.1442-200X.2008.02698.x>
- Løvberg, P., Paulsen, K-A., Setterberg, J., Leirvaag, B., Faveri, T., Eklund, M... & Tønnessen, E. (2018). Treningsfilosofi i svømming. Hentet 2. mai 2019 fra <https://drive.google.com/file/d/1v2tDOj2nXA1jCzIljqcIalOBqbIDX04M/view>

- Maglischo, E. W. (1982). *Swimming faster*. Palo Alto: Mayfield.
- Mahon, A.D. & Marsh, M. L. (1993). Ventilatory threshold and V_{O2} plateau at maximal exercise in children. *Pediatric Exercise Science*, 5, 332-338.
- Malina, R. M. (1982). Physical growth and maturity characteristics of young athletes. I: R. Magill, T. Ash & F. Small (Red.), *Children in sport*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). Growth, maturation, and physical activity. Champaign: Human Kinetics.
- McArdle, W. D., Katch, F. I & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology. Nutrition, energy, and human performance (8th edition)*. Baltimore: Wolters Kluwer.
- McMahon, M. E., Boutellier, U., Smith, R. M. & Sprengler, C. M. (2002). Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance. *The Journal of experimental biology*, 205(24), 3937-3943.
- McNarry, M. A., Mackintosh, K. A. & Stoedefalke, K. (2014). Longitudinal investigation of training status and cardiopulmonary responses in pre- and early-pubertal children. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 1573-1580.
- Meen, H. D. (2000). Fysisk aktivitet hos barn og unge i relasjon til vekst og utvikling. *Tidsskriftet den Norske Legeforening*, 120, 2908-2914.
- Mehrotra, P. K., Verma, N., Yadav, R. Tewari, S. & Shukla, N. (1997). Study of pulmonary functions in swimmers of Lucknow city. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 41, 83-86.
- Merkus, P.J., Borsboom, G.J., van Pelt, W., Schrader, P.C., van Houwelingen, H. C., Kerrebijn, F. & Quanier, P. H. (1993). Growth of airways and air spaces in teenagers is related to sex but to symptoms. *Journal of Applied Physiology*, 75(5), 2045–2053. doi: 10.1152/jappl.1993.75.5.2045
- Mickleborough, T. D., Stager, J. M., Chantham, K., Lidley, M. R. & Ionescu, A. A. (2008). Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 635-646.
- Miller, R. L., Robinson, E., McCloskey, J. B. & Picken, J. (1989). Pulmonary diffusing capacity as a predictor of performance in competitive swimming. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 29(1), 91-96.
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A. ... Wanger, J. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26, 319-338. doi: 10.1183/09031936.05.00034805

- Pérez-Padilla, R., Regalado-Pineda, J., Mendoza, L., Rojas, R., Torres, V., Borja-Aburto, V. & Olaiz, G. (EMPECE Study Group). (2003) Spirometric variability in a longitudinal study of school-age children. *Chest*, 123(4), 1090-1095.
- Petersen, A. C., Crockett, L., Richards, M. & Boxer, A. (1988). A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms. *Journal of Youth and Adolescence*, 17(2), 117-33. doi: 10.1007/BF01537962
- Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Cole, T., Baur, X., Hall, G. L., Culver, B. H., ... Stocks, J. (2012). Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *The European Respiratory Journal*, 40, 1324–1343.
- Reilly, T., Secher, N., Snell P., Williams C. (1990). *Physiology of sports*. London: Routledge.
- Rivera-Brown, A. M., Rivera, M. A. & Frontera, W. R. (1992). Applicability of criteria for V02max in active adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 4, 331-339.
- Rodriguez, F. A. & Mader, A. (2011). Energy systems in Swimming. I: L. Seifert, D. Chollert & I Mujika (Red.), *World Book of Swimming. From Science to Performance*. New York, USA: Nova Science Publishers, Inc.
- Rosenthal, M., Cramer, D., Bain, S. H., Denison, D., Bush, A. & Warner, J. O. (1993). Lung function in white children aged 4 to 19 years. Single breath analysis and plethysmography. *Thorax*, 48(8), 803-808.
- Rowell, L. B, O'Leary, D. S. & Kellogg, D. L. (1996). Integration of cardiovascular control systems in dynamic exercise. I: L. B. Rowell & J. T. Shepard (Red.), *Handbook of physiology. Exercise: Regulation and integration of multiple systems*. New York: Oxford university press.
- Rowland, T. W. (1993). Does peak VO2 reflect VO2max in children?: evidence from supramaximal testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(6), 689-693.
- Rowland, T. W. & Boyajian, A. (1995). Aerobic response to endurance exercise training in children. *Pediatrics*, 96, 654-658.
- Rowland, T. W. (2002). On being a metabolic nonspecialist. *Pediatric Exercise Science*, 14(4), 315-320.
- Rusko, H., Havu, M. & Karvinen, E. (1986). Aerobic performance capacity in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 38, 151-159.

- Saltin, B. & Åstrand, P-O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Sand, O., Sjaastad, Ø. V. & Haug, E. (2014). *Menneskets fysiologi*. (2. utgave). Oslo: Gyldendal.
- Santos, M. L., Rosa, B. D., Ferreira Cdos R., Medeiros Ade, A. & Batiston, A. P (2012). Maximal respiratory pressures in healthy boys who practice swimming or indoor soccer and in healthy sedentary boys. *Physiotherapy Theory and Practice* 28(1), 26-31.
- Schoenberg, J. B., Beck, G. J. & Bouhuys, A. (1978). Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respiration Physiology* 33, 367-393.
- Skjørten, I. (2018). *Pulmonary hypertension in COPD with focus on pulmonary function and exercise response*. Doktorgradsavhandling ved Universitetet i Oslo.
- Steene-Johannessen, J., Anderssen, S. A., Bratteteig, M., Dalhaug, E. M., Andersen, I. D., Andersen, O. K., ... & Dalene, K. E. (2019). *Kartlegging av fysisk aktivitet, sedat tid og fysisk form blant barn og unge 2018 (ungKan3)* (Rapport). Oslo: Norges idrettshøgskole. Hentet 23. april 2019 fra <https://www.fhi.no/publ/2019/kartlegging-av-fysisk-aktivitet-sedat-tid-og-fysisk-form-blant-barn-og-unge/>
- Steinshamn, S. (2018). Lungenes diffusjonskapasitet. *Allergi i praksis*, 2, 34-39.
- Swain, K. E., Rosenkranz, S. K., Beckman, B. & Harms, C. A. (2010). Expiratory flow limitation during exercise in prepubescent boys and girls: prevalence and implications. *Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1267–1274.
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at adolescence* (2nd edition). Oxford: Blackwell.
- Terson de Paleville, D. G., McKay, W. B., Folz, R. J. & Ovechkin, A. V (2011). Respiratory motor control disrupted spinal cord injury: mechanisms, evaluation, and restoration. *Translational stroke research*, 2(4), 463-473.
- Toussaint, H. M. & Hollander, P. (1994). Energetics of Competitive Swimming. Implications for Training Programmes. *Sports Medicine* 18(6), 384-405.
- Turley, K. R., Rogers, D. M., Harper K. M., Kujawa, K. I. & Wilmore, J. H. (1995). Maximal Treadmill versus Cycle Ergometry Testing in Children: Differences, Reliability, and Variability of Responses. *Pediatric Exercise Science*, 7, 49-60.
- Tønnessen, E., Hem, E., Svendsen, I., Larsen, E. V., Skaugen, M. og Solbakken E. (u.å.). *Utholdenhetstester ved Olympiatoppen. Protokoller, måleinstrumenter, kalibreringsrutiner og sertifisering*. Hentet 25. januar 2019 fra

https://www.olympiatoppen.no/fagomraader/trening/testing/testing_av_utholdenhet/media53703.media

- Vaccaro, P. & Clarke, D. H. (1978). Cardiorespiratory alternations in 9-year old to 11-year old children following a season of competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 10(3), 204-207.
- Vaccaro, P., Clarke, D. H. & Morris, A. F. (1980). Physiological characteristics of young well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 44(1), 61-66.
- Völgyi, E., Tylavsky, F. A., Lyytikäinen, A., Suominen, H., Alen, M. & Cheng, S. (2008). Assessing body composition with DXA and bioimpedance: Effects of Obesity, Physical Activity, and Age. *Obesity a Research Journal*, 16(3), 700-705. doi: 10.1038/oby.2007.94
- Wanger, J., Clausen, J. L., Coates, A., Pedersen, O. F, Brusasco, V., Burgos, F. ... Viegi, G. (2005). Standardisation of the measurement of lung volumes. *The European Respiratory Journal*, 26, 511-522. doi: 10.1183/09031936.05.00035005
- West, J.B. (2008). *Respiratory Physiology: the essentials* (8th edition). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Widmaier, E. P., Raff, H., Strang, K. T. & Vander, A. J. (2011). *Vander's Human physiology: the mechanisms of body function* (12th edition, international ed.). New York: McGraw-Hill.
- Wilson, S. H., Cooke, N. T., Edwards, R. H. & Spiro, S. G. (1984). Predicted normal values for maximal respiratory pressures in caucasian adults and children. *Thorax*, 39(7), 535-538.
- Yost, L. J., Zauner, C. W. & Jaeger, M. J. (1981). Pulmonary diffusing capacity and physical working capacity in swimmers and non-swimmers during growth. *Respiration; international review of thoracic diseases*, 42(1), 8-14. doi:10.1159/000194397
- Zapletal, A., Motoyama, E. K., Van De Woestijne, K.P., Hunt, V. R. & Bouhuys, A. (1969). Maximum expiratory flow-volume curves and airway conductance in children and adolescents. *Journal of Applied Physiology*, 26(3), 308-316.
- Zinman, R. & Gaultier, C. (1987). Maximal static pressures and lung volumes in young female swimmers: One Year follow-up. *Pediatric Pulmonology*, 3(3).
- Åstrand, P.O. (1952) *Experimental Studies of Physical Work Capacity in Relation to Sex and Age*. Copenhagen: Munksgaard.

Åstrand, P. O, Eriksson, B. O., Nylander I., Engstrøm, L., Karlberg, P., Saltin, B. & Thoren, C. (1963). Girl swimmers. With special reference to respiratory and circulatory adaption and gynaecological and psychiatric aspects. *Acta Paediatrica Supplementum*, 147, 1-75.

Åstrand, P. O., Rodahl, Dahl & Strømme, (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise* (4th edition). Canada: Human kinetics.

Tabelloversikt

Tabell 1:	Testprotokoll på respirasjonsfysiologisk laboratorium ved Norges idrettshøgskole.....	s. 25
Tabell 2:	Oversikt over inklusjons- og eksklusjonskriterier for studien.....	s. 26
Tabell 3:	Alder, antropometri og treningstimer per uke for svømmere og kontroller 8-10 år.....	s. 32
Tabell 4:	Alder, antropometri og treningstimer per uke for svømmere og kontroller 15-18 år.....	s. 33
Tabell 5:	Lungefunksjonsvariabler i prosent av forventet verdi for svømmere og kontroller i aldersgruppen 8-10 år.....	s. 34
Tabell 6:	Lungefunksjonsvariabler i prosent av forventet verdi for svømmere og kontroller i aldersgruppen 15-18 år.....	s. 34
Tabell 7:	Maksimale data fra måling av oksygenopptak for svømmere og kontroller i alderen 8-10 år.....	s. 35
Tabell 8:	Maksimale data fra måling av oksygenopptak for svømmere og kontroller i alderen 15-18 år.....	s. 35
Tabell 9:	Pubertetsutvikling for hele utvalget.....	s. 36

Figuroversikt

- Figur 1:** Fordeling av lungevolum. Inspiratorisk reservevolum (IRV), tidevolum (V_T), ekspiratorisk reservevolum (ERV), vitalkapasitet (VC), residualvolum (RV), inspiratorisk kapasitet (IC), funksjonell residualkapasitet (FRC) og total lungekapasitet (TLC). Modifisert etter Wanger et al., 2005..... s. 14
- Figur 2:** «Flow-volume»-kurve med normal, obstruktiv og restriktiv fasong..... s. 15

Forkortelser

ATP	Adenosintrifosfat
ATS	American Thoracic Society
CO ₂	Karbondioksid
DL _{CO}	Diffusjonskapasitet for karbonmonoksid (mmol·min ⁻¹ ·kPa ⁻¹)
EDV	Endediastolisk volum (ml)
ERS	European Respiratory Society
ERV	Ekspiratorisk reservevolum (l)
ESV	Endesystolisk volum (ml)
FEF ₅₀	Forsert ekspiratorisk flow ved 50 % av FVC (l·sek ⁻¹)
FEV ₁	Forsert ekspiratorisk volum det første sekundet av utpusten (l)
FM	Fettmasse (kg)
FRC	Funksjonell residualkapasitet (l)
FVC	Forsert vitalkapasitet (l)
HF _{maks}	Maksimal hjerterefrekvens (slag·min ⁻¹)
IMT	Inspiratorisk muskeltrening
IRV	Inspiratorisk reservevolum (l)
KI	Konfidensintervall
KMI	Kroppsmasseindeks (kg·m ⁻²)
MM	Muskelmasse (kg)
MV	Minuttvolum (l)
O ₂	Oksygen
P _{alv}	Alveoletrykket
P _{atm}	Atmosfæretrykket
PEF	Luftstrømmens topphastighet («peak expiratory flow») (l·sek ⁻¹)
PE _{maks}	Maksimalt ekspirasjonstrykk (kPa)
PI _{maks}	Maksimalt inspirasjonstrykk (kPa)
RER	Respiratorisk utvekslingsratio («respiratory exchange ratio») (VCO ₂ /VO ₂)
RV	Residualvolum (l)
sR _{aw}	Spesifikk luftveismotstand
SD	Standardavvik
SV	Slagvolum (ml)
TLC	Total lungekapasitet (l)
VC	Vitalkapasitet (l)
VE	Ventilasjon (l·min ⁻¹)
VO _{2maks}	Maksimalt oksygenopptak (l·min ⁻¹ eller ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
VO _{2peak}	Høyeste oppnådde oksygenopptak (l·min ⁻¹ eller ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
V _T	Tidevolum (l)

Vedlegg

Vedlegg 1: Godkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk



Region: REK sør-øst	Saksbehandler: Nora Eikeland	Telefon: 22845511	Vår dato: 08.03.2018	Vår referanse: 2017/1365/REK sør-øst C
			Deres dato: 26.02.2018	Deres referanse:

Vår referanse må oppgis ved alle henvendelser

Trine Stensrud
Norges idrettshøgskole

2017/1365 Lungefunksjon og anstrengelsesutløst bronkial konstriksjon hos svømmere

Forskningsansvarlig: Norges idrettshøgskole
Prosjektleder: Trine Stensrud

Vi viser til søknad om prosjektendring datert 26.02.2018 for ovennevnte forskningsprosjekt. Søknaden er behandlet av sekretariatet for REK sør-øst C på fullmakt, med hjemmel i helseforskningsloven § 11.

Det søkes om følgende endring:
Ny prosjektmedarbeider Hanne Holmen Eggereide.

Vurdering
Sekretariatet i REK har vurdert den omsøkte endringen, og har ingen forskningsetiske innvendinger til endringen slik den er beskrevet i skjema for prosjektendring.

Vedtak
REK godkjenner prosjektet slik det nå foreligger, jfr. helseforskningsloven § 11, annet ledd.

Godkjenningen er gitt under forutsetning av at prosjektet gjennomføres slik det er beskrevet i søknad, endringssøknad, oppdatert protokoll og de bestemmelser som følger av helseforskningsloven med forskrifter.

Klageadgang
REKs vedtak kan påklages, jf. forvaltningslovens § 28 flg. Eventuell klage sendes til REK sør-øst C. Klagefristen er tre uker fra du mottar dette brevet. Dersom vedtaket opprettholdes av REK sør-øst C, sendes klagen videre til Den nasjonale forskningsetiske komité for medisin og helsefag for endelig vurdering.

Vi ber om at alle henvendelser sendes inn på korrekt skjema via vår saksportal:
<http://helseforskning.etikkom.no>. Dersom det ikke finnes passende skjema kan henvendelsen rettes på e-post til: post@helseforskning.etikkom.no.

Vennligst oppgi vårt referansenummer i korrespondansen.

Med vennlig hilsen

Knut Ruyter
Avdelingsdirektør
REK sør-øst sekretariatet

Besøksadresse:
Gullhaugveien 1-3, 0484 Oslo

Telefon: 22845511
E-post: post@helseforskning.etikkom.no
Web: <http://helseforskning.etikkom.no/>

All post og e-post som inngår i saksbehandlingen, bes adressert til REK sør-øst og ikke til enkelte personer

Kindly address all mail and e-mails to the Regional Ethics Committee, REK sør-øst, not to individual staff

Vedlegg 2: Informasjonsskriv med samtykkeskjema

Forespørsel om deltagelse i en forskningsstudie for
ditt barn som er aktiv svømmer:

«Lungefunksjon, diffusjonskapasitet og forekomst av anstrengelsesutløst bronkial konstriksjon blant svømmere og andre idrettsutøvere i aldersgruppene 8-10 år og 15-18 år»

Bakgrunn og hensikt

Det er tidligere observert at svømmere har bedre lungefunksjon og diffusjonskapasitet enn personer som utøver annen type idrett og personer som ikke er idrettsaktive. Det er også rapportert økt forekomst av anstrengelsesutløst astma blant svømmere. Vi vet lite om årsakene til dette. Hensikten med studien er derfor å sammenligne lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og forekomst av anstrengelsesutløst astma hos svømmere og andre idrettsaktive barn/ungdommer i aldersgruppene 8-10 år og 15-18 år. Du blir forespurt om å delta fordi du er foreldre/foresatt til:

- En svømmer i alderen 8-10 år eller 15 år

Vi søker unge jenter og gutter i alderen 8-10 og 15-18 år. Deltakerne i 8-10 års alder må trene svømming 2 ganger eller mer per uke og 15-18 åringer 12 timer eller mer per uke.

Hva innebærer studien?

Deltakeren vil bli innkalt til en undersøkelse på Norges idrettshøgskole (NIH) i Oslo. Undersøkelsen vil vare ca 1,5 time. Det vil bli utført ulike lungefunksjonsundersøkelser, og vi vil be deltakeren fylle ut et spørreskjema som omhandler helsevariabler. Undersøkelsene vil bli utført av Master-studenter i Fysisk Aktivitet og Helse i samarbeid med førsteamanuensis Trine Stensrud og førsteamanuensis May Grydeland. Se **Kapittel A** for detaljert beskrivelse av undersøkelsene.

Mulige fordeler og ulemper

Deltakeren vil få en grundig undersøkelse av lungefunksjon og fysisk form. Målingene som utføres er ufarlige og medfører ingen spesiell risiko. Det utbetales ingen godtgjørelse for studiedeltakelse.

Hva skjer med prøvene og informasjonen om deg?

Prøvesvarene kan om ønskelig formidles direkte til deg som foreldre/foresatt på undersøkelsesdagen. Informasjonen som registreres om deltakeren er anonym og vil kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien.

Frivillig deltakelse

Dersom ditt barn skal delta, må du undertegne vedlagte samtykkeerklæring. Ved delt foreldreansvar må begge foreldre signere samtykket. Det er frivillig å delta i studien og du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke til å delta i studien. Alle resultater som er samlet inn og som ikke er publisert vil da bli slettet.

Prosjektadministrasjon

Studien foregår i regi av idrettsmedisinsk seksjon på Norges idrettshøgskole (NIH). Ansvarlig for prosjektet er førsteamanuensis Trine Stensrud, Norges idrettshøgskole.
Kontaktperson: Trine Stensrud, e-post: trine.stensrud@nih.no, tlf. 23262346, mob. 41223979

Kapittel A: Utdypende forklaring for hva studien innebærer

Undersøkelsene:

Når deltakeren kommer til undersøkelse kan han/hun ikke ha vært syk de siste 2 ukene (forkjølet, influensa, infeksjon el.). Dersom deltakeren er syk må vi utsette testen til han/hun har vært frisk i 2 uker.

Oversikt over testdagen(e):

Dag 1. Ca 1,5 time	Dag 2.: Ca 7-14 dager etter Dag 1.
1. Antropometriske målinger 2. Kroppssammensetning 3. Ekshalert NO 4. Lungefunksjon 5. Diffusjonskapasitet 6. Lungevolum og luftveismotstand 7. Respiratorisk muskelstyrke 8. Maksimal løpetest på tredemølle 10. Spørreskjema	Vi kommer på en svømmetrening og måler Lungefunksjon for trening og 3, 6 og 10 min etter treningen

Hva som gjøres:

- Antropometriske mål vil bli målt før de fysiologiske testene. Vi vil da måle høyde, vekt, brystomkrets og midjemål.
- Kroppssammensetning måles med bioelektrisk motstand som analyserer kroppssammensetningen (en avansert vekt). Dette er på ingen måte smertefullt og er helt ufarlig. Før denne testen er det viktig at deltakeren ikke inntar verken mat eller drikke fra 2 timer før testens oppstart. Dette er for å hindre påvirkning av variablene vi skal måle. Målingen av kroppssammensetning tar cirka 3 minutter.
- Ekshalert nitrogenoksyd (NO) måles ved at deltakeren fyller lungene med nitrogenfri luft fra et lite instrument, og deretter puster ut med en jevn luftstrøm i 10 sekunder. NO er en markør på grad av betennelse i nedre luftveier. Deltakeren gjennomfører 2-3 forsøk og hvert forsøk varer ca 20 sekunder.
- Lungefunksjonen måles ved at pusten trekkes dypt for deltakeren blåser ut hardt, fort og lenge gjennom et munnstykke med bakteriefilter. Deltakeren gjennomfører 2-3 forsøk og hvert forsøk varer ca 15 sekunder.
- Som mål på hvor stort areal deltakeren har i alveolene tester vi diffusjonskapasitet. Dette måles ved inhalasjon av en markørgass og deretter holdes pusten i 8-10 sekunder for så å puste rolig ut. Testen gjennomføres 2-3 ganger med 4 minutters mellomrom.
- For måling av lungevolum og luftveismotstand benytter vi en lukket boks med glass på tre kanter. Målingen starter med å puste normalt i et munnstykke. På et gitt punkt vil munnstykket stenges av og deltakeren gjennomfører 3-5 forsiktige pust i en gitt frekvens mot det stengte munnstykket. Munnstykket åpnes igjen og lungene tommes rolig for så å rolig fylles igjen. Testen repeteres 2-3 ganger.

7. Respiratoriske muskelstyrke måles ved trykket på luften deltakeren klarer å puste ut og inn med. Fra tomte lunger skal deltakeren ta ett kraftig innpust. Dette gjentas 3 ganger før vi måler trykket på utpusten. Trykket på utpusten måles ved at deltakeren fra fyllte lunger puster så kraftig som mulig ut. Både innpust og utpust skal være i minimum 1,5 sekund.
8. Vi vil gjennomføre en løpetest på tredemølle for å måle maksimalt oksygenopptak og for å få et indirekte mål på reaktiviteten i luftveiene. Vi bruker en trappetrinnsprotokoll hvor vi øker belastningen gradvis til deltakeren ikke orker mer. Etter gjennomført test på tredemølle vil vi igjen utføre en enkel lungefunksjonsmåling for å se om denne fysiske belastningen påvirker reaktiviteten i luftveiene. Testens varighet vil være på cirka 8-10 min.
9. Deltakeren vil bli bedt om å svare på et spørreskjema med spørsmål ang. astma, allergi og treningsstatus samt et skjema ang. pubertetsstatus.

Dag 2:

10. Ca 7-14 dager etter første testdag kommer vi på en svømmetrening og måler lungefunksjon (som beskrevet i punkt 4) før trening og 3, 6 og 10 minutter etter treningen.

Kapittel B: Personvern, økonomi og forsikring

Personvern og frivillig deltakelse

All informasjon som samles inn i løpet av prosjektet er konfidensielle opplysninger som lagres forskriftmessig. Testresultater vil bli behandlet uten navn, fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennende opplysninger ved at hver forsøksperson får et forsøksnummer. Koblingen mellom navn og forsøksnummer blir oppbevart i en lukket forskningsserver på NIH. Kun autorisert personell knyttet til prosjektet har innsyn i resultatene vedrørende den enkelte forsøksperson.

Hvis du trekker ditt barn fra studien vil det ikke få noen konsekvenser for barnets videre behandling eller forholdet til Norges idrettshøgskole (NIH). Du har rett til innsyn i data som er registrert om ditt barn.

Sikkerhet

Undersøkelser som inngår i studien er vanlig benyttet klinisk praksis. Behandling for eventuelt respirasjonsbesvær vil kunne gis umiddelbart i samråd med lege.

Etikk

Studien er vurdert av Regional Komité for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK)-Øst som ikke hadde innvendinger til studien.

Videre behandling av forsøksresultatene

Resultatene fra studien vil bli vitenskapelig behandlet og publiseres i to masteroppgaver og muligens i internasjonale og nasjonale tidsskrifter.

Økonomi

Studien er finansiert gjennom forskningsmidler fra NIH og er en del av et mastergradsprosjekt ved NIH.

Forsikring

NIH er statlige institusjon og er derfor selvsassurandør i forhold til studien. Forøvrig gjelder pasientskadelovens regler for skade på mennesker som oppstår under medisinske forsøk.

Informasjon om utfallet av studien

Resultatene fra studien kan bli gjort offentlig tilgjengelig gjennom masteroppgaver, artikler og eventuelt rapporter. Det er ikke planlagt videre omtale av studien.

Samtykke for foreldre/foresatte til deltaker under 16 år

Jeg har lest informasjonsskrivet; Forespørsel om mitt barn kan delta i en forskningsstudie:
«Fører regelmessig svømmetrening til økt lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og økt forekomst av anstrengelsesutløst astma»

Jeg gir min tilslutning til at mitt barn kan delta i undersøkelsen. Jeg er kjent med at jeg når som helst kan trekke mitt barn fra prosjektet uten å måtte oppgi grunn for det. Jeg er klar over at de innsamlede data om mitt barn utelukkende brukes til forskning og at resultater som ikke er publisert slettes hvis barnet trekkes fra studien.

Begge foreldre må signere hvis det foreligger delt foreldreansvar.

Foreldre/kontaktperson
til (navn på deltaker): _____

Jeg (foresatt) nåes på telefon
(dagtid): _____

E-post adresse: _____

Underskrift for foreldre/foresatte:

Dato: _____ Underskrift foreldre 1: _____

Ved delt foreldreansvar:

Dato: _____ Underskrift foreldre 2: _____

Samtykke deltaker over 16 år

Jeg har lest informasjonsskrivet om Forespørsel om å delta i en forskningsstudie:
«Fører regelmessig svømmetrening til økt lungevolum, diffusjonskapasitet, respiratorisk muskelstyrke og økt forekomst av anstrengelsesutløst astma»

Jeg gir min tilslutning til deltagelse i undersøkelsen. Jeg er kjent med at jeg når som helst kan trekke meg fra prosjektet uten å måtte oppgi grunn for det. Jeg er klar over at de innsamlede data utelukkende brukes til forskning og at resultatene slettes hvis jeg trekker meg fra studien.

Deltakerens navn: _____

Jeg nåes på telefon (dagtid): _____

Epostadresse: _____

Dato: _____ Underskrift: _____

Vedlegg 3: Spørreskjema om idrettsbakgrunn, treningsvaner og søvn

Spørreskjema

ID Nummer:

Fødselsdato: _____

Gutt

Jente

Hvilken idrett (er) deltar du i? _____

Når begynte du med idretten din?

Hvor mange timer trener du vanligvis i gjennomsnitt pr.uke?

_____timer

Hvor mange timer konkurrerer du pr. uke i konkurransesesongen?

_____timer

Hvor mange timer sover du i gjennomsnitt pr.døgn i ukedagene ? _____

Hvor mange timer sover du i gjennomsnitt pr.døgn i helgene ? _____

Vedlegg 4: Helsesjekkskjema



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

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

Sted - dato

Underskrift

Vedlegg 5: Spørreskjema angående pubertetsutvikling for gutter

 
58064

GUTT - PUBERTETSUTVIKLING

1. Hvor høy tror du at du er? hele cm

2. Hvor mye tror du at du veier? hele kg

3. Har du begynt å få hår nedentil (rundt kjønnsorganet)?

- Har ikke startet å vokse
- Har så vidt startet å vokse
- Har absolutt startet å vokse
- Tror at veksten er avsluttet

4. Har du begynt å få "uren hud" (kviser etc.)?


- Huden har ikke begynt å forandre seg ennå
- Huden har så vidt startet å forandre seg
- Huden har absolutt startet å forandre seg
- Tror at hudendringen er avsluttet

5. Har du kommet i stemmeskiftet?



- Har ikke kommet i stemmeskiftet ennå
- Har så vidt begynt å komme i stemmeskiftet
- Har absolutt kommet i stemmeskiftet
- Tror at stemmeskiftet er avsluttet
- Vet ikke

6. Har du begynt å få bart?

- Har ikke begynt å få bart ennå
- Har så vidt begynt å få bart
- Har absolutt begynt å få bart
- Tror at veksten av bart er avsluttet

 Side 1

Vedlegg 6: Spørreskjema angående pubertetsutvikling for jenter

  49077

JENTE - PUBERTETSUTVIKLING

1. Hvor høy tror du at du er? hele cm

2. Hvor mye tror du at du veier? hele kg

3. Har du begynt å få hår nedentil (rundt kjønnsorganet)?

- Har ikke startet å vokse
- Har så vidt startet å vokse
- Har absolutt startet å vokse
- Tror at veksten er avsluttet

4. Har du begynt å få "uren hud" (kviser etc.)?

- Huden har ikke begynt å forandre seg ennå
- Huden har så vidt startet å forandre seg
- Huden har absolutt startet å forandre seg
- Tror at hudendringen er avsluttet

5. Har du merket at brystene dine har begynt å endre seg?

- Har ikke begynt å vokse ennå
- Har så vidt startet å vokse
- Har absolutt startet å vokse
- Tror at veksten er avsluttet

6. Har du fått menstruasjon (mensen)?

- Ja
- Nei

7. Hvis ja, hvor gammel var du da du fikk din første menstruasjon?

år

Side 1