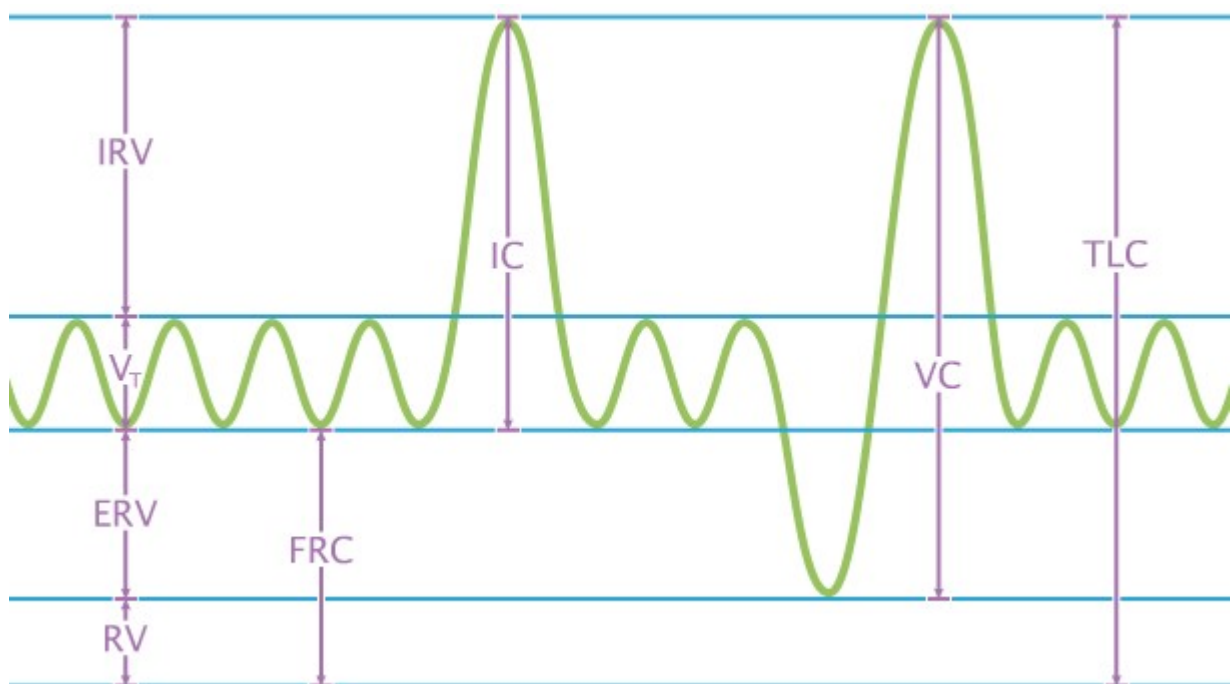




Ændringer i lungevolumina og -funktion fra liggende til siddende stilling to til tre dage efter hjerteoperation

Changes in lung volumes and function from supine to sitting position
two or three days after cardiac surgery



Ændringer i lungefunktion fra liggende til siddende stilling to eller tre dage efter CABG eller hjerteklapoperation

Opgavetype: Specialeprojekt, Klinisk Videnskab og Teknologi, Aalborg Universitet
Projektgruppe: 17gr10501
Gruppemedlemmer: Annette Fjerbæk

Vejleder: Lars Pilegaard Thomsen, lektor, Ph.D. Institut for Sundhedsteknologi, Aalborg
Universitet

Bivejleder: Barbara Brocki, fysioterapeut, Ph.d. Aalborg Universitetshospital

Abstract

Baggrund: Postoperative pulmonære komplikationer (PPC) er en af de hyppigst forekommende komplikationer efter hjertekirurgi og årsag til forlænget indlæggelse og funktionsnedsættelse efter udskrivelse. Mobilisering og fysisk aktivitet er en primær indsats til forebyggelse og behandling af PPC, men evidensgrundlaget for denne praksis hos nyopererede hjertepatienter er sparsom. Det primære formål med dette studie er at undersøge ændringer i lungevolumina og lungekapacitet fra liggende til siddende stilling. Det sekundære formål er at afprøve en teknologi til måling af lungefunktion (Spiropalm 6 MWT, Cosmed, Italien) med henblik på senere vurdering af relevansen af at implementere denne i klinisk praksis.

Metode: Lungefunktionen blev målt 3 minutter i liggende og 3 minutter i siddende stilling. Primære outcomes var: tidalvolumen (Vt), Inspiratorisk kapacitet (IC), alveolær ventilation (Va), og perifer ilt saturation (SpO₂). Sekundære outcomes var: hjertefrekvens (HR), respirationsfrekvens (RF), deadspace (Vd) samt smerte og dyspnø. Der blev undersøgt for forskelle mellem positionerne. For at afprøve, om Spiropalm gav brugbare estimater af den reelle ventilation blev den alveolære ventilation beregnet ud fra værdier for Vt målt med Spiropalm og med gennemsnitsværdier for Vd. Disse blev sammenlignet med målt Va.

Resultater: Studiet bygger på data fra 15, på 2. eller 3. dagen efter hjertekirurgisk operation. Der blev vist statistisk signifikante stigninger i Vt (25%), IC (21%), Va (20%), Vd (15%) og SpO₂ (0,89%). RF og HR var stort set uændrede. Beregnet Va sammenlignet med målt Va viste ingen statistisk signifikante forskelle og god korrelation. Bland Altman plot viste stigende forskel med stigende Va og store limits of agreements.

Konklusion: Der var signifikante stigninger i alle primære outcomes samt i Vd. Stigningen i SpO₂ var mod forventning ikke klinisk relevant. Studiet bidrager til at evidensbasere tidlig mobilisering som forebyggelse og behandling af PPC hos målgruppen. Inkludering af flere forsøgspersoner vil styrke resultaterne og yderligere studier af lungefunktion i forbindelse med fysisk aktivitet som eksempelvis gang ligger lige for. V_A beregnet ud fra estimater for Vd er ikke præcist nok til at give et reelt billede af patientens Va. Relevansen af at benytte Spiropalm til undersøgelse af patientgruppen skal undersøges nærmere.

Sideantal: 41 Bilagsantal: 32

Afleveringsdato: 7.6.2017

Changes in lung volumes and function from supine to sitting position two or three days after cardiac surgery

Type of assignment: Master's thesis, Master of Clinical Science and Technology, Aalborg University

Group identification: 17gr10501

Group member: Annette Fjerbæk

Supervisor: Lars Pilegaard Thomsen, Associate Professor, Ph.D., Department of Health Science and Technology, Aalborg University

Second supervisor: Barbara Brocki, physiotherapist, Ph.D. Aalborg University Hospital

Abstract

Introduction: Postoperative pulmonary complications (PPC) is one of the most frequent complications after cardiac surgery and a cause of prolonged hospitalization and decreased functional level after dismissal. Mobilization and physical activity is a primary intervention in prevention and treatment of PPC, but knowledge about the impact of change of position in lung function in patients a few days after cardiac surgery is sparse. The primary aim of this study is to describe changes in lung function from supine to sitting position. The secondary aim is to test a handheld medical device for measurement of lung function (Spiropalm 6MWT, Cosmed, Italy) in terms of a later assessment of the relevance of implementation in clinical practice.

Methods: Lung function was measured 3 minutes in each position. Primary outcomes were: tidal volume (V_t), inspiratory capacity (IC), alveolar ventilation (V_A) and peripheral oxygen saturation (SpO_2). Secondary outcomes were: heart rate (HR), respiratory rate (RR), deadspace (Vd), pain and dyspnea. Tests for differences between positions were performed. To test, whether a calculated value of V_A from Spiropalm were a clinically satisfying estimate of the actual ventilation, V_A was calculated from V_t and mean values for Vd. These were compared to V_A

Results: Results were based on data from 15 patients. Assessment took place on the 2nd or 3rd day after cardiac surgery. Significant increases were found in V_t (25%), IC (21%), V_A (20%), Vd (15%) and SpO_2 (0,89%). RF and HR were unchanged. Calculated values for V_A were not statistically different from the actual V_A and correlation was moderate/strong. Bland Altman plots revealed increasing difference with increasing V_A and large limits of agreements.

Conclusion: Significant increases were found in all primary outcomes and in Vd. The increase in SpO_2 was unexpectedly not clinically relevant. This study brings more evidence to the practice of early mobilization as prevention and treatment of PPC in patients with relatively uncomplicated postoperative status. Inclusion of more patients would strengthen the power of the result, and further studies on lung function under physical activity as standing and walking are obvious. Calculating V_A from estimated values for Vd is not a sufficiently accurate method of assessing V_A . The relevance of implementing Spiropalm for assessment of the lung function for cardiac surgery patients should be further investigated.

Number of pages: 41

Appendices: 12 Date of completion: June 7th, 2017

Læsevejledning

Dette projekt består af en rapport på 41 sider inkl. Referencer. Der er 12 bilag.

Henvisninger i rapportens tekst er angivet med Vancouver, hvor kilderne fortløbende er nummereret og sat i parentes efter henvisningen, (fx 1). Såfremt der er flere henvisninger separeres tallene i parentes med et komma (fx 2, 4) og ved mere end to fortløbende referencenumre adskilles tallene med en bindestreg (fx 3-7).

Kilderne er nummereret tilsvarende i litteraturlisten. Referencenummer, som er placeret før punktum henfører til den foregående sætning. Referencenummer placeret efter punktum henfører til referencen til det foregående afsnit.

Ved brug af forkortelser skrives den fulde tekst første gang forkortelsen næves og forkortelsen tilføjes i parentes.

På næste side findes en oversigt over de mest benyttede forkortelser i denne rapport samt en definition af potentielt uklare begreber.

Forkortelser

Nedenstående tabel indeholder de i rapporten hyppigst benyttede forkortelser i forbindelse med måling af lungefunktionen. Det er valgt at benytte forkortelserne på engelsk (fx IC i stedet for IK til inspiratorisk kapacitet), da de er alment kendte og benyttede på dansk.

Forkortelser			
ERV	Ekspiratorisk residual volumen (l)	SpO ₂	Perifere Kapillære Iltmætning (%)
FRC	Funktionel Residual Kapacitet (l)	TLC	Totale Lunge Kapacitet (l)
HR	Hjertefrekvens	V _A	Alveolær ventilation (l/min)
IC	Inspiratorisk Kapacitet (l)	VC	Vitalkapacitet (l)
IRV	Inspiratorisk Reserve Volumen (l)	V _t	Tidalvolumen (l)
RF	Respirationsfrekvens	V _d	Deadspace (l)
RV	Residual Volumen (l)	V _a	Alveolær ventilation (l/min)
SpO ₂	Perifere Kapillære Iltmætning (%)		

Definition af begreber:

Hjertekirurgi: I denne rapport benyttes hjertekirurgi for Coronary Artery Bypass Grafting (CABG) og hjerteklapoperationer udført med hel eller delvis sternotomi på voksne.

Lungefunktion: Består af alle de funktioner og strukturer, der er involveret i optagelse af O₂ og udskillelse af CO₂. I dette projekt benyttes mål for lungevolumina og -kapaciteter samt respirationsfrekvens, hjertefrekvens og perifer ilt saturation som udtryk for lungefunktionen, vel vidende at andre forhold også har afgørende betydning for lungernes funktion.

Lungekapacitet: summen af flere lungevolumina (FRC, IC, VC, TLC)

Lungevolumen: et enkelt rumfang (RV, ERV, V_t, IRV, V_d)

Tidlig mobilisering: Mobilisering som foretages på et tidligere tidspunkt og mere regelmæssigt end konventionel praksis. Tidlig mobilisering forekommer hos patienter, som traditionelt blev anset for at være for svage til at udføre fysisk træning og opholde sig uden for sengen, og som ellers ville være mere eller mindre immobiliseret (1).

Forord

Denne rapport er et kandidatspeciale fra Klinisk Videnskab og Teknologi, Institut for Medicin og Sundhedsteknologi, Aalborg Universitet.

Rapportens forfatter er ansat på Aalborg Universitetshospital som udviklingsansvarlig fysioterapeut med fagligt hovedarbejdsområde indenfor respirationsfysioterapi og rehabilitering. Valg af emne til specialet afspejler en faglig interesse i at kvalitetssikre og evidensbasere den fysioterapeutiske intervention.

Jeg vil gerne rette en stor tak til mine kollegaer i Team Rehab, som endnu en gang har været til stor praktisk og faglig støtte – især tak til Ruth Bliksted for at give sig tid til at høre på alle mine overvejelser og dele sin store faglige viden med mig.

Også tak til sekretær Sanne og sygeplejerskerne på Hjerte-Lungekirurgisk afdeling, som alle har bidraget med en meget positiv indstilling og udvist stor fleksibilitet for at give plads til undersøgelserne.

Ligeledes skal lyde stor tak til min bi-vejleder og gode kollega, fysioterapeut og Ph.d. Barbara Brocki, Aalborg Universitetshospital, som har været til stor inspiration og hjælp gennem hele processen og til fysioterapeut, Ph.d. og til docent Elisabeth Westerdahl, Örebro Universitet og Örebro Universitetssygehus for lån af Spiropalm, for sparring, kommentering af rapporten og opmuntring undervejs.

Desuden til min vejleder Lars Pilegaard Thomsen uden hvem dette projekt var blevet helt anderledes, og som tålmodigt har trukket data ud fra Beacon og har været klar til teknisk og faglig support gennem hele perioden.

Og sidst men ikke mindst tak til de patienter, som velvilligt har lagt krop til undersøgelserne.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Problembaggrund.....	3
2.1	Kirurgisk behandling af iskæmisk hjertesygdom:	3
2.2	Lungevolumina og -funktion efter hjertekirurgi.....	4
2.3	Kropspositionens betydning for lungefunktionen	6
2.4	Fysioterapeutisk forebyggelse og behandling af lungedysfunktion.....	10
2.5	Opsummering.....	10
3	Formål med projektet.....	11
4	Problemformulering.....	11
4.1	Hypoteser:.....	11
5	Metode.....	11
5.1	Litteratursøgning	11
5.2	Design.....	12
5.3	In- og eksklusionskriterier	13
5.4	Rekruttering	13
5.5	Etiske overvejelser.....	13
5.6	Målemetoder	14
5.7	Testprocedure.....	16
5.8	Databehandling og statistiske overvejelser.....	20
5.9	Økonomi.....	20
6	Resultater.....	20
6.1	Baggrundsoplysninger for forsøgsdeltagerne	21
6.2	Normalfordeling.....	22
6.3	Forskelle i lungefunktion i liggende og siddende stilling.....	22
6.4	Korrelation mellem V_t og IC	24
6.5	Smerte og dyspnø.....	24

6.6	Beregnet V_A i forhold til målt V_A	25
6.7	Overensstemmelse mellem Spiropalm og Beacon.....	25
7	Diskussion	26
7.1	Opsummering af formål og metode	26
7.2	Diskussion af resultater.....	26
7.3	Diskussion af metode	30
8	Konklusion.....	32
9	Perspektivering.....	32
10	Referenceliste.....	34

1 Indledning

"Teach us to live that we may dread

Unnecessary time in bed.

Get people up and we may save

Our patients from an early grave."

R.A.J.Asher, 1947

Med disse ord afsluttede dr. Asher helt tilbage i 1947 en artikel, hvor han gennemgik en lang række af de negative konsekvenser, patienterne blev påført ved den dengang udbredte brug af sengeleje i forbindelse med sygdom og indlæggelse. Han opfordrede sine kollegaer til at skabe en kultur, hvor sengeleje ikke var accepteret medmindre lægen udtrykkeligt havde ordineret det, og hvor sygeplejerskerne som standardbehandling sørgede for, at patienterne kom ud af sengen (2).

Her 70 år senere forskes der massivt i fysisk aktivitet som forebyggelse og behandling af en lang række sygdomme, og der er efterhånden ikke mange patientgrupper tilbage, der som udgangspunkt ordineres sengeleje og som skånes for fysisk anstrengelse. Patienter som har fået foretaget en hjerteoperation, kommer nu ud af sengen allerede dagen efter operationen, og mens de er sederede er venderegime og indtagelse af siddende stilling i seng og eventuelt stol standardregime.

Bevægelse og fysisk aktivitet har altid været kerneområde for fysioterapeuter, som indenfor det respirationsfysioterapeutiske område gennem tiderne har benyttet sig af mange forskellige behandlingsmetoder for at hjælpe patienterne til at optimere forsyningen af den ilt, som er forudsætningen for bevægelse. Fra at yde en høj grad af passiv behandling i form af eksempelvis klap på thorax, stillingsdrænage og respirationsøvelser med forskellige former for PEP-udstyr (Positive Ekspiratorisk Tryk) er selve den fysiske aktivitet nu i langt højere grad blevet en behandling i sig selv. Forskningsresultater viser, at det for langt de fleste patientgrupper er både sikkert og gavnligt at være fysisk aktiv, også tidligt i forløbet. Hjertepatienter er også udsat for dette paradigmeskifte, hvad enten det handler om patienter med kronisk hjertesvigt eller patienter, som er blevet opererede. Det fysioterapeutiske arbejde med hjertekirurgiske patienter er fortsat at hjælpe patienter, som er fysisk og psykisk påvirket efter en stor operation, i gang igen for at undgå lungekomplikationer og forbedre det fysiske funktionsniveau ved udskrivelsen, men patienten involveres aktivt tidligere og i højere grad end før. De knappe ressourcer i sundhedsvæsenet

nødvendiggør, at personaleindsatsen bliver rettet mod dem, som har mest behov, og at de der kan, inddrages i behandlingen og klarer så meget som muligt selv (3).

Fysioterapeuter skal således, gennem en grundig undersøgelse af patientens tilstand, tilbyde patienterne en behandling, som er nøje tilpasset den enkelte. At mobilisere patienterne meget tidligt efter en omfattende operation indebærer en balance mellem tilstrækkeligt udfordrende aktiviteter og kendskab til patientens reaktioner på belastning af et i forvejen svækket kardiologisk og respiratorisk system. Fysioterapeuter har brug for objektive og veldokumenterede metoder og redskaber til at monitorere og undersøge patienten for at finde denne balance og for viden om, hvordan netop denne gruppe af patienter i den givne kontekst kan forvente at respondere på behandlingen. Lungevolumen har hidtil, udenfor intensive afsnit og andre specialafdelinger, været beskrevet med subjektive termer som eksempelvis ”patienten har højthorakal, overfladisk vejrtrækning”, ”patienten har god, dyb respiration” – beskrivelser, som er svært sammenlignelige fra dag til dag, og som ikke nødvendigvis fortæller noget om patientens tilstand. Ny teknologi muliggør, at stadigt flere af de mere komplicerede målinger, eksempelvis af lungevolumina, kan finde sted under aktivitet og udenfor laboratorier og ambulatorier og kan benyttes af ikke-specialuddannet personale.

Ved indførelse af nye teknologier i sundhedsvæsenet, som medfører væsentlige konsekvenser for patienter, personale, økonomi eller andet, anbefaler flere regioner at udarbejde en mini-Medicinsk Teknologi Vurdering (mini-MTV) (4,5). MTV-tankegangen anskuer indførelse af teknologi ud fra hovedområderne teknologi, patient, organisation og økonomi og bygger på evidensbaseret viden og helhedsvurdering af teknologien. Sundhedsstyrelsen har udarbejdet vejledninger og skemaer til dette (6). Måling af lungevolumen i en klinisk setting har måske ikke i MTV-sammenhæng ”store og væsentlige konsekvenser”, men relevansen af at undersøge evidensen bag en eventuel ibrugtagning af et nyt behandlings- eller undersøgelsesudstyr er tilstede også ved mindre ændringer. Hvis evidensen ikke foreligger, må den fremskaffes, så formålet med og effekten af at indføre et nyt udstyr er velundersøgt, inden det tages i brug.

At indføre en ny teknologi i en klinisk praksis involverer mange forskellige aktører – både menneskelige og ikke-menneskelige - og teknologiens tilstedeværelse har ikke i sig selv nogen værdi uden samspil med de relationelle netværk mellem teknologi, mennesker og institutioner, som den skal udfolde sig i. (7) Når fysioterapeuter eksempelvis tager en ny målemetode i brug vil det ændre både fysioterapeuten, som får nye handlemuligheder i sin behandling og teknologien, som måske anvendes i andre sammenhænge eller bliver videreudviklet i samspillet med netop disse

aktører. Disse forhold kan også være hensigtsmæssige at afdække inden implementering af teknologien.

Vi kender ikke præcist sammenhængen mellem tidalvolumen, respirationsfrekvens, minutvolumen, inspirationskapacitet og alveolær ventilation hos nyopererede hjertepatienter. At få mere viden om det, vil i sig selv være en ny viden, som kan bidrage til at evidensbasere den behandling patienterne får og samtidig være et skridt på vejen til en beslutning om at indføre redskaber til at måle lungevolumina som en del af almindelig praksis i behandlingen af denne gruppe af patienter.

2 Problembaggrund

Kardiovaskulære sygdomme (CVS) er den tilstand, der på verdensplan forårsager flest dødsfald, og i Europa er CVS den største dødsårsag og skyld i 4 millioner dødsfald om året (8,9).

Hjertesygdomme udgør to tredjedele af CVS (øvrige er apopleksi og perifer karsygdom), og heraf er iskæmisk hjertesygdom den største gruppe (10). CVS er stærkt associeret til risikofaktorer i livsstil som eksempelvis rygning, overvægt, uhensigtsmæssig kost og fysisk inaktivitet, og er udover øget mortalitet forbundet med nedsat livskvalitet og nedsat funktionsevne (9,11,12).

I Europa er der, trods fortsat faldende mortalitet på grund af hjertesygdom i især de rigeste lande, fortsat omkring 1,8 millioner dødsfald årligt svarende til 20% af alle dødsfald (13). I Danmark findes ca. 200.000 personer med Iskæmisk hjertesygdom (14). Behandlingen af iskæmisk hjertesygdom består af kirurgisk og/eller medicinsk behandling og af forebyggende livsstilsintervention og medicinsk behandling før og efter kirurgisk intervention (15,16).

2.1 Kirurgisk behandling af iskæmisk hjertesygdom:

Symptomerne på iskæmisk hjertesygdom er forskellige fra det ene individ til det andet. Typiske tegn er trykkende, pressende brystmerter og/eller åndenød eller træthed (12). Symptomerne skyldes forkalkninger i en eller flere af kranspulsårerne i hjertet, som reducerer blodtilførslen, og i større eller mindre grad forårsager skader i hjertemuskulatur eller hjerteklapper.

2.1.1 Procedurer

Den kirurgiske behandling af iskæmisk hjertesygdom består af revaskulariserende interventioner som Percutan Koronar Intervention (PCI), Koronar Bypass Operation (CABG) og reparation af eller udskiftning af hjerteklapper (16).

I takt med forbedret medicinsk behandling og større andel af ballonoperationer er antallet af CABG-operationer faldende og patienterne er indlagt i kortere tid. I 2009 var der i Danmark 79,1 CABG operationer pr. 100.000 indbyggere med 5,4 dages indlæggelse, mens der i 2014 var 72,8

operationer med 4,9 indlæggelsesdage. Tilsvarende var der i England i 2014 72,8 CABG operation og 10,2 indlæggelsesdage (17).

2.2 Lungevolumina og -funktion efter hjertekirurgi

Adskillige studier viser, at lungefunktion og -ventilation er stærkt nedsat efter hjerteoperation. Et svensk studie fra 2012 af Urell (18) viser, at der er 50% reduktion i vitalkapacitet (VC), FEV₁ og inspiratorisk kapacitet (IC) på 2. dagen efter hjerteoperation, og i et andet studie fra 2012 (19) er tidalvolumen og vitalkapacitet reduceret med ca. 30% 3 dage efter CABG operation. Lignende resultater er vist i andre studier (20–22). Lungefunktionen forbliver nedsat i både uger og måneder efter operationen (23–25) og kan optræde op til 1 år efter operationen (23).

Lungefunktionsmålinger som eksempelvis FEV₁ og FVC, kan være svært gennemførlige efter en hjerteoperation, sandsynligvis fordi den forcerede ekspiration skaber et øget intrathorakalt tryk, som udløser smerte (26). Eksempelvis har 74 ud af 216 hjerteopererede patienter ikke været i stand til at udføre spirometri med FEV₁ og FVC på anden postoperative dag i et studie fra 2012, og forfatterne efterlyser mere skånsomme metoder til at måle lungefunktionen hos disse patienter (18).

2.2.1 Komplikationer efter hjertekirurgi

De mest almindelige komplikationer efter hjertekirurgi er kardiologiske og respiratoriske dysfunktioner, nyreinsufficiens, sternumløshed og -infektion, postoperativ blødning (eksempelvis tamponade) og neurologiske følger som delir, stroke eller kognitive dysfunktioner (18,27–31).

Gennem de seneste årtier er procedurerne ved hjertekirurgiske operationer forbedret betydeligt, og 30-dages mortaliteten er faldende på trods af, at stadig ældre personer bliver opereret (32,33).

Mortaliteten er lidt højere for hjerteklapoperationer end for CABG og højest ved kombinationen af hjerteklapoperation og CABG (34,35). I USA er mortaliteten under indlæggelse ved CABG og ved A-klapoperation ca. 2%, ved M-klap 5,9% og ved kombineret M-klap og CABG på 9,1 (2009) (35). I Danmark er 30-dages dødeligheden ved CABG 1,2% i 2015 og ved A-klapoperation i 2014 1,9% , CABG + klap i 2015 3,8 (34).

2.2.2 Postoperative pulmonære komplikationer

Der eksisterer ikke nogen klar definition af PPC, og det er derfor meget forskelligt, hvordan hyppigheden beskrives. Næst efter kardiologiske dysfunktioner er PPC den hyppigst forekommende komplikation efter hjertekirurgi og forekommer i større eller mindre grad hos langt de fleste patienter. Jensen og Yang (36) har i en kohorte på 315 hjertekirurgiske patienter fundet, at stort set alle patienter (99,4%) udviklede PPC i form af atelektase (97,5%), pleuraeffusion (75,6%), begge samtidigt (73,7%), pneumoni (11,7%), lungeødem (10,5%), pneumothorax (7,3%)

samt enkelte forekomster af hæmothorax (0,3%) og lungeødem (0,3%). Andre studier har rapporteret de samme hyppigst forekommende komplikationer (37,38).

Klinisk manifesterer PPC sig i symptomer, som rangerer fra mindre grad af hypoxi og/eller øget sekretmængde til svær respirationsinsufficiens, som er skyld i genindlæggelse på intensiv afdeling, øget tid i respirator og øget mortalitet (39). Patienter som efter en hjerteoperation genindlægges på intensivt afsnit har ifølge et polsk studie fra 2015 femdobbel risiko for at dø under indlæggelsen med lidt højere risiko ved CABG operation end ved klapkirurgi (30). Respiratoriske (37%) og kardiologiske (40%) komplikationer er årsag til flest genindlæggelser og hos CABG patienter genindlagt med kardiologiske komplikationer var mortaliteten 31% og 22% ved respiratoriske komplikationer (30).

2.2.3 Risikofaktorer for PPC

Der er adskillige faktorer, som bidrager til PPC, men årsagssammenhængen er kompleks og endnu ikke fuldt udredt (40). Årsagerne kan inddeles i patientrelaterede, operationsrelaterede og postoperative faktorer.

Patientrelaterede risikofaktorer

Årsager omkring patienten selv, som kan være medvirkende til udvikling af PPC er alder > 65 år, nedsat evne til hoste og sekretopbringning, kardiologisk anamnese med tidligere myokardieinfarkt og hjertesvigt, diabetes mellitus, rygning, kronisk obstruktiv lungesygdom, BMI > 25, nedsat fysisk funktionsniveau, ASA klassifikation ≥ 3 (bilag 1) samt nedsat lungefunktion præoperativt (18,33,36,41).

Operationsrelaterede faktorer

Risikofaktorer, som er involveret under selve operationen omfatter den mediane sternotomi, påvirkning af diafragmafunktionen, anæsthesien og brug af hjerte-lungemaskine.

Ved operationen bliver sternum skåret helt eller delvist igennem på langs, hvilket kan medvirke til ændringer i forholdene for respirationsbevægelserne i brystkassen (42), og kan medføre løshed af og infektion i sternum (43,44). Anæsthesien og lejringen under operationen reducerer FRC og ændrer diafragmabevægelserne med atelektase, forstyrrelser i ventilations-perfusionsforholdene og nedsat oxygenering til følge (36,45,46). Hjertelungemaskine (47,48), brug af arteria interna mammae til grafting (49,50) og påvirkning af nervus phrenicus under operationen medvirker yderligere til nedsat lungefunktion (48,51).

Postoperative risikofaktorer

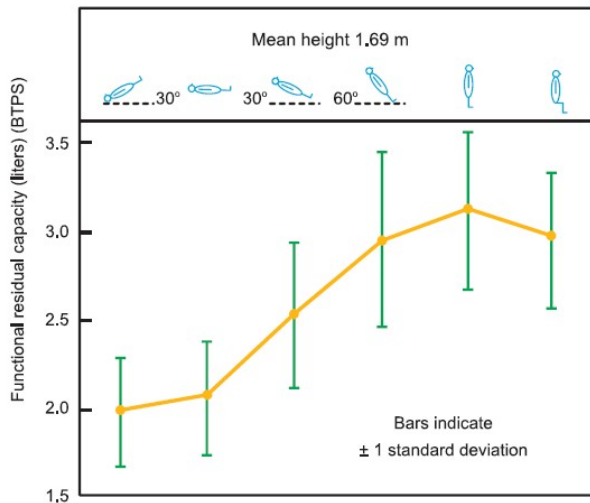
Hjertekirurgi er hos en stor del af patienterne forbundet med smerter i især thoraxregionen i de første postoperative dage (20,52), og forekommer hos 47-75% (53). Smerte er stærkt associeret til reduceret lungefunktion i form af reduceret FVC og FEV₁ samt ekspiratorisk peakflow og maksimum inspiratorisk volumen (20). Smerteniveauet er mindst i hvile, forværres ved aktivitet og dybe respirationer og er sværest ved hoste (53,54). Smerterne aftager fra operationsdagen og de næste postoperative dage (40). Tilstedeværelsen af pleuradræn er medvirkende til et øget smerteniveau (54,55). Patienter, som har smerte ved bevægelse vil ofte være immobiliserede, og hvis de har problemer med at trække vejret dybt og hoste effektivt nedsættes lungekapaciteten og sekretopbringningen bliver ineffektiv (20,26,56). En effektiv smertebehandling er derfor vigtig for at nedsætte risikoen for PPC (57). Almen utilpashed som kvalme og træthed vil også ofte medføre, at patienterne har tendens til at opholde sig mere i sengen.

2.3 Kropspositionens betydning for lungefunktionen

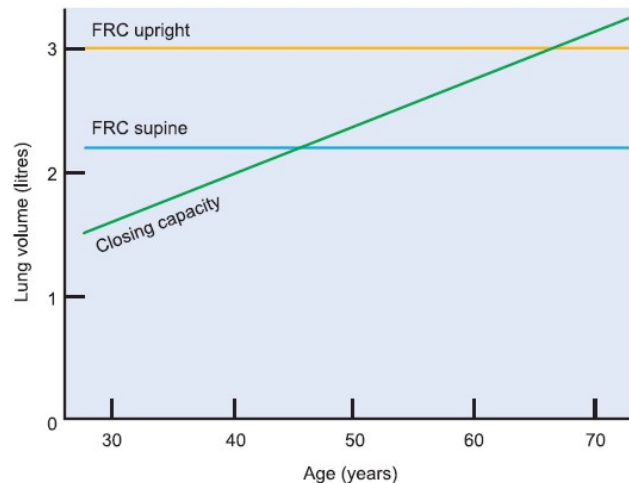
At være i oprejst position er for det raske menneske udgangspunktet for næsten al aktivitet, og betingelserne for gasudvekslingen ændres alt efter hvilken stilling kroppen befinder sig i. Hos raske er der en konstant ændring i tyngdekraftens påvirkning af lungerne, da enhver bevægelse og ændring af kropsstillingen medfører ændrede tryk og volumenforhold og dermed forskelle i gasudvekslingen i de forskellige afsnit af lungerne alt efter hvilken position kroppen befinder sig i. Også trykpåvirkning fra hjerte, indre organer og eventuel væske bevirker ændringer i lungevolumen og funktion.

2.3.1 Funktionel residualkapacitet og closing capacity

Den funktionelle residualkapacitet (FRC) er stærkt afhængig af alder og af kroppens position. FRC øges med ca. 50% fra liggende til stående stilling og 30-40% fra liggende til siddende (45,58). Figur 1 illustrerer sammenhængen mellem kroppens position og FRC. I takt med stigende alder falder tærsklen for, hvor snæver lumen i de mindste luftvejsforgreninger kan være, for at de forbliver åbentstående. Når grænsen, closing capacity (CC), er nået, kollapser alveolerne og det pågældende afsnit bliver ikke ventileret – der er sket en airway closure. Høj FRC betyder altså, under normale forhold hvor der ikke er lungesygdomme til stede, at der er mindre risiko for sammenklapning af alveolerne og medfører bedre oxygenering. Figur 2 viser det aldersbetingede forhold mellem FRC og CC, og det ses, at airway closure hos raske personer optræder allerede ved 45 års alderen i rygliggende og ved 65 års alderen i siddende stilling (59,60).



Figur 1. ændringer i funktionel residual kapacitet ved forskellige kropsholdninger. (Fra Lumb AB, Pearl RG: Nunn's applied respiratory physiology, ed 6, Philadelphia, 2005, Butterworth Heinemann).

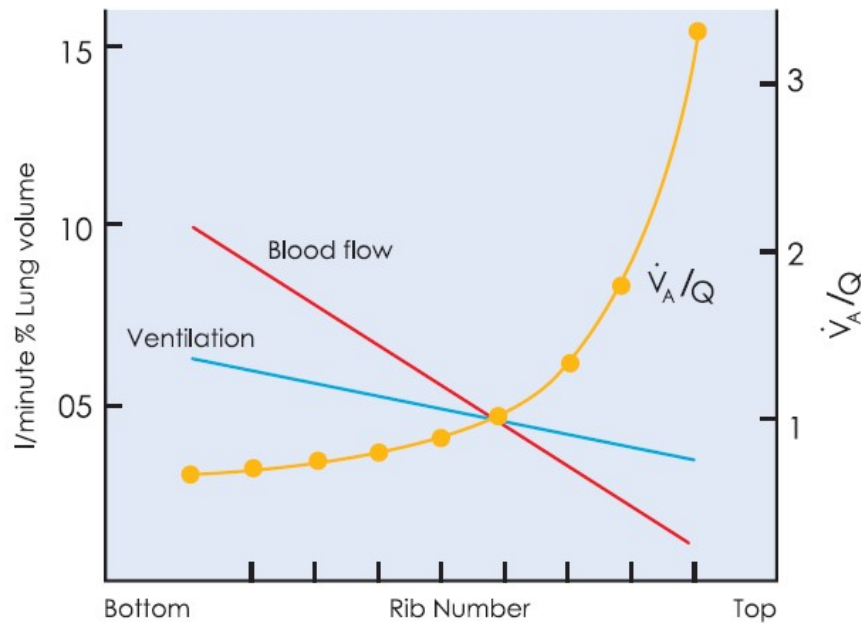


Figur 2. Funktionel residual kapacitet (FRC) og closing capacity som funktion af alder. (Fra Lumb AB, Pearl RG: Nunn's applied respiratory physiology, ed 6, Philadelphia, 2005, Butterworth Heinemann).

2.3.2 Ventilation og perfusion

I oprejst stilling er det interpleurale tryk – primært på grund af tyngdekraftens påvirkning - mindre negativt i lungernes basale dele end ved apex, og de små luftveje i bunden af lungerne har mindre volumen end i toppen. De basale dele er derfor mere kompliant og kan udvide sig mere ved respirationen, hvilket betyder, at størstedelen af gasudvekslingen foregår i de basale lungeafsnit. I tilfælde, hvor closing capacity overstiger FRC og der sker et kollaps af alveoler under expiration, vil de deklive lungeafsnit, der har mindre rumindhold og lavere compliance, dog modtage mindre ventilation end de opadtil beliggende afsnit. Dette kan være tilfælde i det tidlige postoperative forløb bl.a. som følge af narkose og sengeleje

Perfusionen er på samme måde stærkt påvirket af tyngdekraften og er ligesom ventilationen stigende fra top til bund. Perfusionen stiger dog mere end ventilationen, hvilket betyder, at de opadtil beliggende lungeafsnit er relativt hyperventilerede og de nedadtil beliggende lungeafsnit relativt hypoventilerede (figur 3). Forholdet mellem de to (V/Q ratioen), er omkring 1 i lungernes midterste afsnit og det er således her, at det optimale ventilations/perfusionsforhold er tilstede.



Figur 3. Distribution af ventilation (blå), perfusion (rød) og matching mellem ventilation og perfusion (gul) ned gennem lungen. (Fam West JB: Ventilation/bloodflow and gas exchange, ed 4, Oxford, 1985, Blackwell Scientific.)

Det anatomiske deadspace er hos raske voksne på ca. 0,15l. og består af de øvre luftveje, hvor der ikke sker noget luftskifte. Deadspace kan være forøget ved eksempelvis respiration gennem slanger og masker (61). Ved mismatch i perfusions/ventilationsforholdet ved eksempelvis lungeemboli og lungesygdom som astma eller kronisk obstruktiv lungesygdom, vil der yderligere opstå et alveolært deadspace som medvirker til at skabe et større rum, hvor der ikke sker gasudveksling og den totale alveolære ventilation vil dermed formindskes (62). Den alveolære ventilation (V_A) afhænger således af respirationsfrekvens (RF), tidalvolumen (V_t) og det samlede deadspace (V_d) og kan udtrykkes som: $V_A = (V_t - V_d) \times RF$

Patienter med smerter og angst trækker ofte vejret højkostalt og overfladisk med lav tidalvolumen. For at opretholde et tilstrækkeligt minutvolumen og dermed sufficient iltning kan lav tidalvolumen delvist kompenseres med en højere respirationsfrekvens, men forholdsmæssigt vil deadspace have større betydning ved lav tidalvolumen med et reduceret alveolært luftskifte til følge. (60,63)

2.3.3 Balance mellem iltkrav og ilttilførsel

Respirationen styres sædvanligvis af CO_2 , som dannes i stigende mængder ved aktivitet. Balancen mellem iltforbrug og ilttilførsel er nøje reguleret, og ved øget mængde CO_2 stiger respirationen og perfusionen for at sikre en adækvat tilførsel af ilt i forhold til de aktuelle behov. Der vil hos raske individer være en iltreserve tilstede, som øjeblikkeligt kan rekrutteres, når hviletilstanden pludseligt forstyrres af fysiske eller psykologiske udfordringer. Ved øget krav om ilttilførsel ved

eksempelvis mobilisering forøges ventilationen og det kardielle output med det samme, og kroppen har således på ganske kort tid tilpasset sig den nye tilstand uden at iltmætningen i blodet reduceres. Kirurgiske patienter, som i forvejen har reduceret lungefunktion og kardielle udfordringer, har i tillæg til de basale metaboliske krav et øget energiforbrug, og dermed øget risiko for ubalance i forholdet mellem iltkrav og ilttilførsel, på grund af det kirurgiske stressrespons i form af eksempelvis, øget kropstemperatur, øget respirationsarbejde, øget belastning af hjertemuskulaturen og de generelle belastninger ved helings- og reparationsprocesserne (63). Insufficient ilttransport hos patienter med øgede metaboliske krav resulterer i ikke-opfyldte iltbehov og medfører anaerobe processer med forhøjet serum laktat niveau og øget risiko for postoperative komplikationer (64,65).

Mobilisering og øvelser er således på samme tid medvirkende til at optimere ilttilførslen og iltudvekslingen og til at stille krav om større iltforbrug. Jo mere syg patienten er, jo vigtigere er det altså at vurdere forholdet mellem iltbehov og ilttilførsel.

2.3.4 Betydning af mobilisering og fysisk aktivitet for lungefunktionen

Når bevægelse og fysisk aktivitet indledes sker en lille øgning i luftvejenes omfang, forøget rekruttering af lungekapillærer og forbedring af diafragmas ekskursioner hvorved distribueringen af ventilation og perfusion fordeles ud i lungevævet og sammenklapning af alveoler og atelektase reduceres.

Fysisk aktivitet og øget mængde og størrelse af de rytmiske inflationer og deflationer i lungerne har flere vigtige effekter:

- øget alveolær ventilation – primært gennem forstørret tidalvolumen
- facilitering af lymfeflow og -drænage med betydning for lungernes væskebalance
- bedret mukociliær transport og sekretfjernelse med bl.a. betydning for reduktion af lungeinfektion
- stimulering af surfactantproduktion og -distribution som er essentiel for overfladespændingen i alveolerne og for opretholdelse af alveolestabilitet og lungernes compliance (reduktion af sammenklapning af luftveje). (63)

Der er begrænset litteratur om effekten af mobilisering på ændringer af lungefunktionen i det tidlige postoperative forløb efter hjertekirurgi. I et observationsstudie fra 2014 viste Spooner, at patienter i respirator havde en signifikant stigning i slut-ekspiratorisk lunge volumen (kan sammenlignes med FRC) ved henholdsvis 20 og 30 graders elevation af sengens hovedgærde (66). Et ældre observationsstudie fra 1988 udført på hjerteopererede patienter efter returnering til stamafdelingen viste et signifikant fald i FRC fra siddende til sideliggende og et endnu større fald, hvis patienten sad i en sammenfalden siddestilling. Et nyligt observationsstudie udført af Petterson

på CABG-opererede patienter har beskrevet, at SpO₂ stiger ved respirationsøvelser med positivt ekspiratorisk tryk (PEP), når de udføres i stående i forhold til i siddende (67). På baggrund af disse studier, kan det sammenfattende konkluderes, at FRC, som hos raske ændres med patientens stilling. Det er uklart i hvilken grad det sker, og om ændringen nødvendigvis medfører bedret ventilation. Ingen studier har siden Jenkins studiet fra 1988 undersøgt forskellen i respirationsvolumen og ventilation i liggende og siddende stilling hos nyopererede hjertepatienter, der befinder sig i de almindelige kliniske omgivelser på en sengeafdeling. Der er imidlertid sket mange ændringer i operationsprocedurer og i den præ- og postoperative behandling siden da, og samme studie vil kunne give andre resultater i dag.

2.4 Fysioterapeutisk forebyggelse og behandling af lungedysfunktion

Den fysioterapeutiske indsats i forbindelse med hjertekirurgi er primært rettet mod forebyggelse og behandling af de postoperative risikofaktorer og mod at reducere eventuelle konsekvenser af de patient- og operationsrelaterede komplikationer. Den fysioterapeutiske postoperative behandling består af tidlig mobilisering/funktionstræning, respirationsøvelser, instruktion i hosteteknikker og i at komme ind og ud af sengen (68,69). Den fysioterapeutiske respirationsundersøgelse er, udover måling af ilt saturation og respirationsfrekvens, primært baseret på subjektive vurderinger af eksempelvis respirationsdybde og -frekvens, dyspnø, sekretmængde, hosteevne og evne til at udføre dybe respirationsøvelser (69). Mere specifikke undersøgelser som eksempelvis måling af gasudveksling og måling af FRC og total lungekapacitet (TLC) kan ikke udføres rutinemæssigt i en klinisk praksis på en sengeafdeling, da det kræver specialiseret udstyr og personale.

Spirometriundersøgelser, som er den mest almindelige måling af lungefunktion og som let vil kunne benyttes på afdelingen kan, som tidligere nævnt, være svær at gennemføre for en stor del af patienter med sternotomi og vil derfor ikke være et egnet måleredskab.

2.5 Opsummering

Problembaggrunden har ledt frem til, at postoperative lungekomplikationer er årsag til forlænget indlæggelse, genindlæggelser på intensivt afsnit, øget mortalitet og nedsat fysisk funktionsniveau efter udskrivelsen hos en del af de hjerteopererede patienter. Tidlig mobilisering og fysisk aktivitet er en væsentlig indsats for at reducere antallet af lungekomplikationer. Patienterne er ofte, udover de kardielle og pulmonære komplikationer, påvirket af faktorer som smerter, angst, træthed, kvalme og nedsat mobilitet, som alle medvirker til at reducere patientens evne til fysisk aktivitet. Den fysioterapeutiske intervention hos nyopererede hjertepatienter balancerer mellem at hjælpe og motivere patienterne til at yde en ofte krævende indsats samtidigt med at grænsen for hvad de kan klare, ikke bliver overskredet. Mere specifik viden om reaktionerne på og effekten af mobilisering

for den enkelte patient vil hjælpe fysioterapeuter og andre med at opspore de patienter, som har størst brug for fysioterapi og forbedre den specifikke forebyggelses- og behandlingsindsats.

3 Formål med projektet

Formålet med dette specialeprojekt er at undersøge, hvilke ændringer der sker i lungefunktion og respirationsmønster ved mobilisering fra liggende til siddende stilling hos hjertekirurgiske patienter to eller tre dage efter operation. Resultaterne vil, afhængig af udfald, medvirke til at evidensbasere og eventuelt ændre eller justere den nuværende praksis med at mobilisere alle nyopererede hjertepatienter så tidligt som muligt. Studiet vil samtidig blive benyttet til afprøvning af en teknologi (Spiropalm, se senere) til klinisk undersøgelse af patientgruppens lungefunktion ved mobilisering og fysisk aktivitet. Dette projekt vil ikke indeholde endelige konklusioner vedrørende anvendeligheden og relevansen af at benytte Spiropalm, men blot indledende overvejelser omkring dette.

4 Problemformulering

Hvilke ændringer sker i tidalvolumen, inspiratorisk kapacitet, alveolær ventilation og perifer ilt saturation ved mobilisering fra liggende til siddende stilling hos hjertekirurgiske patienter to eller tre dage efter operation?

4.1 Hypoteser:

1. Der sker en signifikant øgning i tidalvolumen og inspiratorisk kapacitet
2. Der sker en signifikant øgning i alveolær ventilation og perifer ilt saturation

5 Metode

5.1 Litteratursøgning

Som indledning til studiet blev der foretaget en struktureret litteratursøgning i databaserne PubMed og Pedro, vedrørende emnerne

- Kropsposition i forhold til lungefunktion
- Brug af måleredskab til vurdering af smerte, dyspnø og anstrengelse
- Postoperative lungekomplikationer efter hjerteoperation
- Prævalens og ætiologi/risikofaktorer for lungekomplikationer i forbindelse med hjerteoperation

Der blev udført bloksøgninger, hvor søgetermerne indenfor det samme tema blev kombineret med "OR" og derefter kombineret med "AND" fra et eller flere af de andre temaer. Eksempler på søgetermer ses i bilag 2.

Artikler omhandlende lungeoperation, undersøgelser foretaget under operation eller i mekanisk ventilation, operationer på børn eller forsøg med dyr blev ikke medtaget. Kun engelsksprogede artikler blev benyttet.

Der blev desuden suppleret med kædesøgninger, hvor der ud fra artiklernes referencer blev fundet yderligere relevant litteratur. Der blev søgt litteratur i de to databaser under hele projektperioden efterhånden, som der opstod behov for supplerende viden.

Som basislitteratur for de lungefysiologiske afsnit er benyttet to kapitler fra bogen "Cardiovascular and pulmonary physical therapy: evidence to practice", som er redigeret af Donna Frownfelter (60,63). Bogen er i 2012 opdateret med den seneste videnskabelige litteratur og forskning omkring anatomi, fysiologi, undersøgelse og behandling indenfor cardio-pulmonal fysioterapi.

5.2 Design

Der blev udført et deskriptivt studie, hvor lungefunktionen i henholdsvis liggende og siddende stilling blev undersøgt hos patienter, som var hjerte-bypass og/eller hjerteklapopererede på Hjerte-Lungekirurgisk afdeling, Aalborg Universitetshospital.

Forsøget bestod af følgende faser:

1. Ved inklusion i studiet udførtes spirometri med registrering af FEV, FEV₁ og FEV/FVC% samt procent af forventet værdi af FEV₁ og FVC. Disse værdier blev benyttet som udtryk for patientens præoperative lungefunktion.
2. På anden eller tredje postoperative dag blev målt: Tidalvolumen (V_t), alveolær ventilation (V_a), inspiratorisk kapacitet (IC), hjerterefrekvens (HR), respirationsfrekvens (RF) samt iltmætning (SpO₂):
 - a) 3 minutters måling i liggende stilling
 - b) 3 minutters måling i siddende stilling.

Faserne er illustreret i figur 4.



Figur 4. oversigt over studiets faser.

5.3 In- og eksklusionskriterier

5.3.1 Inklusionskriterier:

- Elektivt hjerteopererede patienter på Hjerte-Lungekirurgisk afdeling T, Aalborg Universitetshospital som er CABG- og/eller hjerteklapopererede via fuld eller partiel sternotomi
- Patienter som kan forstå og tale dansk
- Patienter som har udfyldt informeret samtykkeerklæring

5.3.2 Eksklusionskriterier

- Akut eller subakut opererede patienter
- Patienter med kognitive funktionsnedsættelser som følge af fx demens og hjerneskade, der er diagnosticeret i patientjournalen

5.4 Rekruttering

Alle patienter, der opfylder in- og eksklusionskriterierne blev fortløbende rekrutteret. Afdelingens sekretær uddelte deltagerinformationsbrev (bilag 3) samt skrivelsen ”Forsøgspersoners rettigheder i et sundhedsvidenskabeligt forskningsprojekt” (70) ved ankomsten til afdelingen sidste hverdag inden operationen. Patienten blev bedt om at læse informationsmaterialet igennem, hvorefter den forsøgsansvarlige kontaktede patienten senere på dagen med henblik på at gennemgå materialet og svare på eventuelle spørgsmål. Patienter, som indvilligede i at deltage, udfyldte samtykkeerklæring og fik udført spirometri. Patienter, som ønskede betænkningstid blev kontaktet igen sidst på eftermiddagen eller om aftenen, hvor eventuel inklusion og spirometri foregik. Forsøgsansvarlig noterede patientens deltagelse i patientjournalen. Tekst ses i bilag 4.

5.5 Ethiske overvejelser

Patienter blev skriftligt og mundtligt informeret om, at deltagelse var frivillig, og at et givet tilsagn til enhver tid kunne trækkes tilbage uden at dette på nogen måde ville få indflydelse på den aktuelle eller fremtidige behandling (jf. Helsinki II deklARATIONEN).

Patienten blev informeret om muligheden for at medtage bisidder til informationssamtalen, og at det var muligt at få betænkningstid inden afgivelse af samtykke.

Der forventedes ikke, at være gener forbundet med undersøgelserne udover eventuelt oplevelse af lette lugtgener og følelse af ubehag ved vejrtrækningen ved at få en maske placeret hen over næse og mund.

Alle data i undersøgelsen blev behandlet fortroligt og data var adskilt fra resultater ved at hver forsøgsperson blev tildelt et ID nummer. Forsøgspersoner vil være anonymiseret ved publikation, og data vil kun blive anvendt i fortolkning af nærværende forsøg. Data opbevares i aflåst rum i Fysio- og Ergoterapi, Aalborg Universitetshospital og bearbejdes ved hjælp af IT løsninger stillet til rådighed og godkendt af Region Nordjylland.

Forsøget blev anmeldt til Videnskabetisk Komite, som fandt studiet ikke anmeldelsespligtigt (N-20170010) og til Datatilsynet (2008-58-0028). Se bilag 5 og 6.

5.6 Målemetoder

5.6.1 Demografiske data

Der blev indsamlet demografiske data om alder, køn, højde, vægt og etnicitet. Data blev trukket fra patientjournalen og suppleret med oplysninger fra patienten selv, hvis ikke journaloplysninger var dækkende. Data blev indtastet i Spiropalm (se afsnit 5.6.3.) og overført til forsknings pc.

Data vedr. køn, alder, operationstype og -dag blev skrevet i Case Report File og ført over i databehandlingsskema i Excel. Se bilag 7

5.6.2 Outcomes

Der blev foretaget spirometri med registrering af FEV₁, FVC og FEV₁/FVC% ved inklusion i forsøget som udtryk for den præoperative lungestatus.

Primære outcomes ved de postoperative lungefunktionsundersøgelser i liggende og siddende var V_t, IC, V_A og SpO₂. Sekundære outcomes var RF, HR, V_d, smerte og dyspnø samt anstrengelse ved forflytning.

Til angivelse af oplevet smerte (NRS-P), dyspnø (NRS-D) og anstrengelse (NRS-E) blev benyttet Numeric Rating Scale (NRS) (71–75).

5.6.3 Måleudstyr

Måling af V_t, IC, RF, HR og SpO₂ blev foretaget med Spiropalm 6 MWT (Cosmed, Italien), som er et bærbart udstyr til måling af lungefunktion og respirationsmønster. Spiropalm er valideret til brug ved 6-minutters gangtest og kan bruges både i hvile og i aktivitet. Spiropalm består af et

turbineflowmeter, en håndholdt monitorenhed og et pulsoxymeter. Turbinen tilsluttes en Hans Rudolph silikonemaske (7450 series, Hans Rudolph Inc, USA), der placeres over patientens næse og mund og spændes fast med et headset (figur 5).



Figur 5. Spiropalm med turbine(a), monitorenhed (b), pulsoxymeter (c), maske (d) og headset (e). Cosmed Italy, 2015

Spiropalm giver hvert 15 sekund output for IC, forceret vital kapacitet, slow vital kapacitet, Vt, SpO₂ samt HR og RF og kan udføre spirometri. SpO₂ blev målt med det medfølgende pulsoxymeter.

Spiropalm blev valgt til projektet, fordi det er et eksempel på et brugervenligt udstyr, som er let at bruge og at transportere, og som kan benyttes i de omgivelser patienten befinder sig i på sengeafdelingen. Der medfølger et software program Omnia version 1.5 (Cosmed, Italien), hvor data præsenteres både som tal og som kurver og diagrammer.

Spiropalm er CE-godkendt og valideret til måling af lungevolumina i aktivitet og er derfor fundet relevant at afprøve som en teknologi til lungefunktionsundersøgelse i en klinisk praksis. Yderligere oplysninger findes på producentens hjemmeside (76). Måling af V_A og V_d blev foretaget med Beacon Caresystem (BEACON 5, Mermaid Care A/S, Danmark) (77). Beacon er i modsætning til Spiropalm i stand til at foretage måling af gasudvekslingen og kan give oplysninger om blandt andet den alveolære ventilation (V_a) og deadspace (V_d), som ikke kan indhentes alene med Spiropalm. Ved behov for supplerende ilt (se kriterier senere) blev der benyttet en iltregulator (MultiOx™, Eco, adult, adjustable venturi mask kit, Intersurgical, United Kingdom), som blev tilsluttet ved enden af måleudstyret (figur 6).



Figur 6. Iltregulator til Beacon

Iltflow og -koncentration blev beregnet ud fra værdierne i tabel 1.

Nasalt O ₂ flow (l/min)	O ₂ % på regulatoren (% O ₂ konc.)	O ₂ flow i væggen (l/min)
1	26%	3
2	28%	4
3	31%	6
4	35%	8

Tabel 1. Omregning fra nasal O₂ til O₂ på regulator til Beacon

5.7 Testprocedure

5.7.1 Spirometri

Der blev udført spirometri i forbindelse med deltagerinformationsamtale og inklusion.

Forsøgspersoner, som havde fået foretaget lungefunktionsmålinger i sygehusregi indenfor en uge fik ikke foretaget undersøgelsen igen, og data blev indhentet fra patientjournalen.

Spirometriundersøgelserne foregik i siddende stilling, med næseklip og fulgte retningslinjer fra European Respiratory Society og American Thoracic Society (78). Spirometri blev udført med Spiropalm (figur 7).

Referenceværdier for lungefunktionen var relateret til alder, højde og køn og ifølge normalværdier rapporteret at Quanjer et al (79). Obstruktiv lungefunktionsnedsættelse blev defineret hvis FEV₁/FVC% var < 70% OG FEV₁ OG FVC < 80% (80).

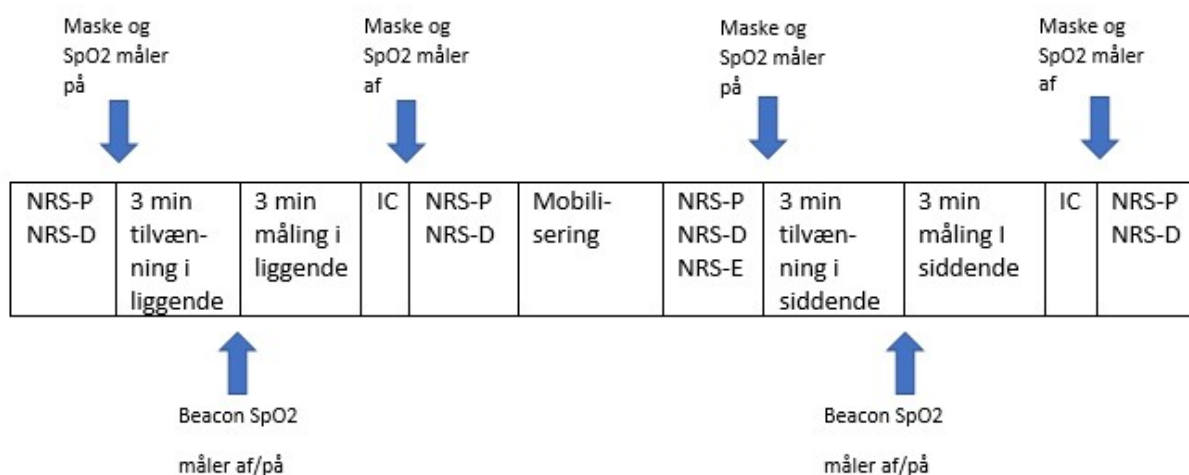
5.7.2 Lungefunktionsundersøgelse

Forsøget blev udført på anden eller tredje postoperative dag på sengeafdelingen. Forsøgsansvarlig kontaktede patient og plejepersonale om morgenen samme dag for at aftale tid for målingen, så den så vidt muligt kunne falde sammen med, at patienten alligevel skulle mobiliseres til stol. Patienter, som havde forlænget ophold på intensivt afsnit blev testet dér, hvis forsøgsleder i samråd med patientens intensivsygeplejerske og/eller- læge vurderede, at ilt saturationen kunne opretholdes med det udstyr, som blev anvendt i forsøget.

Figur 8 viser detaljeret oversigt over forsøgsforløbet.



Figur 7. Spirometri udført med Spiropalm



Figur 8. Oversigt over testforløbet med måling af lungefunktionen: NRS-P: Numeric Rating Scale Pain, NRS-D: Numeric Rating Scale Dyspnø, NRS-E: Numeric Rating Scale Effort (anstrengelse), IC: inspiratorisk kapacitet

5.7.3 Fremgangsmåde

Måling i liggende

Forsøgspersonen lå på ryggen i sengen med hovedgærdet eleveret ca. 30 grader. Om nødvendigt hjalp forsøgsansvarlig patienten med at komme til at ligge, så hoften var ud for knækket i sengen og underarmene var understøttet af en pude, således at der var optimalt udgangspunkt for respiration (figur 9).



Figur 9. Udgangsstilling for lungefunktionsmåling i liggende stilling

1. Patienten angav smerteniveau. Hvis smerten blev angivet til ≥ 4 kontaktede forsøgsansvarlig sygeplejersken for at patienten kunne få mere smertestillende og undersøgelsen blev genoptaget, når niveauet var under fire.
2. Patienten angav niveau for dyspnø.
3. Maske og saturationsmålere blev påsat og patienten trak vejret roligt gennem masken i ca. 3 minutter mens apparaturet blev gjort klar.
4. Inden start blev saturationsmåleren fra Beacon taget af i minimum 10 sekunder for at starten kunne være tydelig på optagelserne. Den blev sat på samtidig med at der blev trykket på "start test" i displayet på Spiropalm.
5. Efter tre minutters optagelse, hvor patienten trak vejret stille og roligt gennem masken, blev testen stoppet og patienten bedt om at foretage en maksimal indånding. Maske og saturationsmålere blev taget af og patienten angav niveau for smerte og dyspnø.

5.7.4

Måling i siddende

Efter en kort pause forflyttede patienten sig fra seng til stol. Stolen var placeret lige overfor sengen, så patienten skulle gå to-tre skridt og vende sig 180 gr. Forsøgslederen assisterede om nødvendigt i forflytningen og hjalp patienten med at komme til at sidde godt i stolen (figur 10). Forflytningen skete efter gældende retningslinjer for nyopererede hjertepatienter (43,69,81).



Figur 10. Udgangstilling for lungefunktionsmåling i siddende stilling

1. Patienten angav niveau for smerte, dyspnø og anstrengelse.
2. Testen blev gentaget som ovenfor og afsluttedes med angivelse af smerte og dyspnø.

Patientens fysiske og psykiske tilstand blev fulgt på vanlig vis og behandlingen stoppet, hvis der var indikation for dette. Hvis iltmætningen faldt til 92% eller derunder i forbindelse med mobilisering blev givet supplerende ilt. Dette er vanlig praksis ifølge gældende instruks vedr. mobilisering af hjerteopererede patienter (69).

Udførlig procedurevejledning er vedlagt i bilag 8.

5.8 Databehandling og statistiske overvejelser

Data blev analyseret med softwareprogrammet SPSS Statistics version 24. Gennemsnitsværdier blev beregnet ud fra målinger det sidste minut for at opnå stabilitet i målingerne. Numeriske data blev opgivet som gennemsnit \pm standardafvigelsen (SD), og kategoriske data som frekvenser. Data blev testet for normalfordeling med Q-Q plots og med Shapiro Wilks test. Ved normalfordeling blev benyttet parret t-test til at vise eventuelle forskelle i lungevolumina fra liggende til siddende for hver enkelt outcomevariabel; ved ikke-normalfordeling med Wilcoxon signed rank test. Korrelationen mellem tidalvolumen og inspiratorisk kapacitet blev analyseret med Pearsons (ved normalfordeling) eller Spearmans (ved ikke-normalfordeling) korrelationskoefficient og illustreret med scatterplots. Relative ændringer blev udregnet som gennemsnittet af forskellene for hver enkelt forsøgsperson.

Deadspace blev beregnet ud fra formlen: $V_d = V_t - \frac{V_{CO_2}}{e_{tCO_2} \times RF}$

Beregnet V_A blev beregnet ud fra formlen: $V_A = (V_t - V_d) \times RF$, hvor V_d blev estimeret med gennemsnitsværdierne for henholdsvis liggende og siddende stilling.

For at sikre, at de to måleapparater målte ens blev der udført parret t-test (ved normalfordeling) eller Wilcoxon signed rank test (ved ikke normalfordeling) på forskellene mellem middelværdierne af variableerne. Signifikansniveauet for alle statistiske test var sat til $p < 0,05$.

5.9 Økonomi

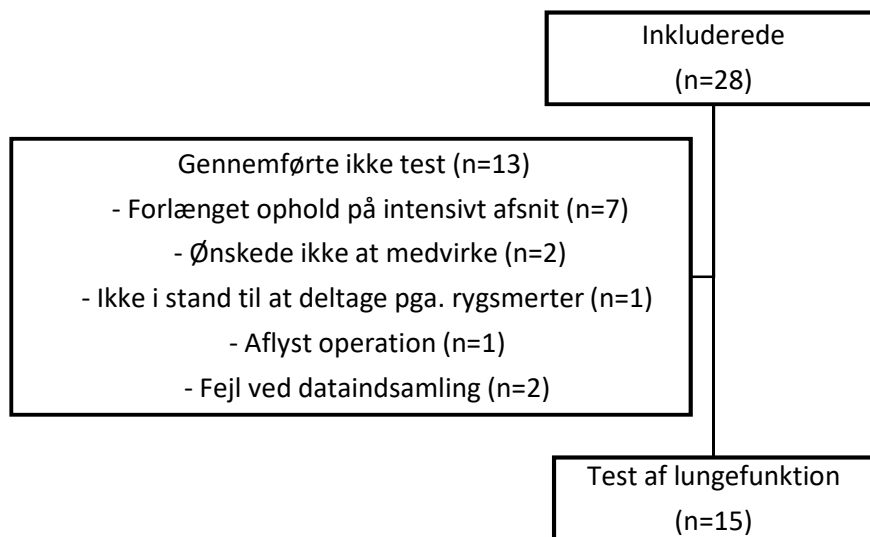
Spiropalm blev stillet til rådighed for dette projekt af Ph.d., RPT Elisabeth Westerdahl fra Örebro Universitet, Sverige. Beacon Caresystem var udlånt til projektet af Institut for Medicin og Sundhedsteknologi, Aalborg Universitet. Udgifter til Rudolph masker afholdtes af School of Medicine and Health, Aalborg Universitet.

Udgifter til engangsudstyr i forbindelse med lungefunktionsmålinger afholdtes af Fysio- og Ergoterapiafdelingen, Aalborg Universitetshospital.

6 Resultater

28 personer, heraf 19 mænd, udfyldte informeret samtykke og blev inkluderet i forsøget. Gennemsnitsalderen var $67,96 \pm 8,12$. 13 af de inkluderede gennemførte ikke lungefunktions-testene: syv på grund af komplikationer, som medførte forlænget ophold på intensivt afsnit, to ønskede ikke at deltage i tests på grund af utilpashed eller angst, én fik operationen aflyst efter

inklusion på grund af præoperativ infektion, én havde svære rygmerter og kunne ikke ligge på ryggen, og to udgik på grund af fejl ved indsamlingen af data. Se figur 10.



Figur 11. Consortdiagram over forsøget.

6.1 Baggrundsoplysninger for forsøgsdeltagerne

15 personer gennemførte de postoperative tests, heraf 9 mænd. Gennemsnitsalderen var $68,3 \text{ år} \pm 8,02 \text{ år}$. Tre fik udført CABG operation, 11 hjerteklapoperation og én kombineret CABG/hjerteklapoperation. Demografiske data, operationstype og lungefunktion for forsøgspersonerne er præsenteret i tabel 2. En deltager havde nedsat lungefunktion med både $FEV_1/FVC < 70\%$ og FEV_1 og $FVC < 80\%$ af forventet værdi. Fire havde både FEV_1 og $FVC < 80\%$ af forventet. Den gennemsnitlige præoperative lungefunktion var normal i forhold til angivne referenceværdier. Gennemsnitlige FVC var på $88,27\% \pm 18,66$ af forventet værdi, FEV_1 på $84,33\% \pm 20,12$ af forventet værdi og $FEV_1/FVC\%$ på $73,41 \pm 8,19$ (tabel 2). Demografiske data for hver enkelt forsøgsdeltager er vedlagt i bilag 9.

Baggrundsplysninger for forsøgspersonerne (n=15)		
9 mænd, 6 kvinder		
3 CABG, 11 hjerteklap, 1 CABG + hjerteklap		
Demografi	Middelværdi (SD)	Min / max
Alder (år)	68,3 (8,0)	57 / 82
Højde (m)	1,73 (0,06)	1,64 / 1,83
Vægt (kg)	78,9 (9,7)	63 / 94
BMI	26,3 (3,3)	22,0 / 32,7
Præoperativ lungefunktion		
FVC % af forventet	88,3 (18,7)	58 / 119
FEV1% af forventet	84,3 (20,1)	54 / 119
FEV1/FVC%	73,4 (7,5)	58,1 / 83,8

Tabel 2. Alder, køn, højde, vægt, BMI (body mass index), operationstype og præoperativ lungefunktion. FVC: Forceret Vital Kapacitet. FEV1: Forceret Ekspiratorisk Volumen i 1. sekund.

6.2 Normalfordeling

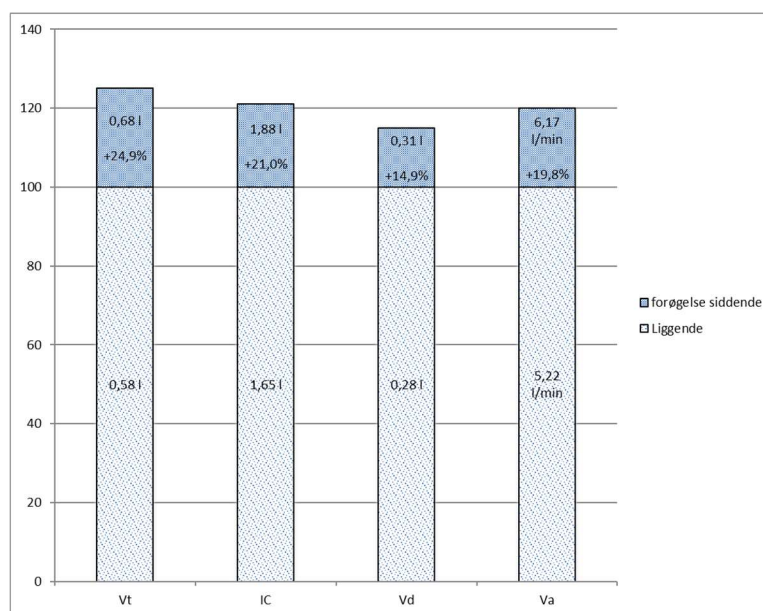
Q-Q plots og Shapiro Wilks test viste normalfordeling af alle variabler for både Spiropalm og Beacon (bilag 10). Øvrige beregninger blev derfor foretaget med parametriske tests.

6.3 Forskelle i lungefunktion i liggende og siddende stilling

Ved sammenligning med parret p-test i liggende og i siddende blev fundet statistisk signifikant forskel i Vt ($t(14) = -2,784$, $p = 0,015$), IC ($t(14) = -2,318$, $p = 0,036$), SpO₂ ($t(14) = -2,690$, $p = 0,018$), V_A ($t(14) = -5,285$, $p < 0,000$) og Vd ($t(14) = -2,819$, $p = 0,014$). Der var ikke statistisk signifikant forskel i RF ($t(14) = 0,175$; $p = 0,864$) eller HR ($t(14) = -1,334$, $p = 0,203$). Den relative ændring i Vt var på 24,9%, IC 21,0%, SpO₂ 0,89%, RF -0,33%, HR 1,09, V_A 19,8% og Vd 14,9%. Resultaterne kan ses i tabel 3 og figur 12 illustrerer den relative forskel i de målte parametre mellem liggende og siddende stilling.

	Liggende	Siddende	Forskel	p-værdi	Relativ forskel i %
Vt (l)	0,58 (\pm 0,18)	0,68 (\pm 0,19)	0,10 (\pm 0,15)	0,015*	24,9 (\pm 43,21)
IC (l)	1,65 (\pm 0,60)	1,88 (\pm 0,63)	0,23 (\pm 0,39)	0,036*	21,00 (\pm 43,20)
RF	19,11 (\pm 4,22)	19,03 (\pm 4,54)	0,07 (\pm 1,60)	0,864	-0,33 (\pm 9,06)
SpO ₂ (%)	94,51 (\pm 1,73)	95,33 (\pm 1,52)	0,83 (\pm 1,20)	0,018*	0,89 (\pm 1,26)
HR	84,36 (\pm 11,24)	85,25 (\pm 11,60)	0,89 (\pm 2,59)	0,203	1,09 (\pm 3,1)
V _A (l/min)	5,22 (\pm 1,37)	6,17 (\pm 1,43)	0,95 (\pm 0,70)	<0,000*	19,83 (\pm 16,80)
Vd (l)	0,28 (\pm 0,57)	0,31 (\pm 0,07)	0,04 (\pm 0,51)	0,014*	14,90 (\pm 18,39)

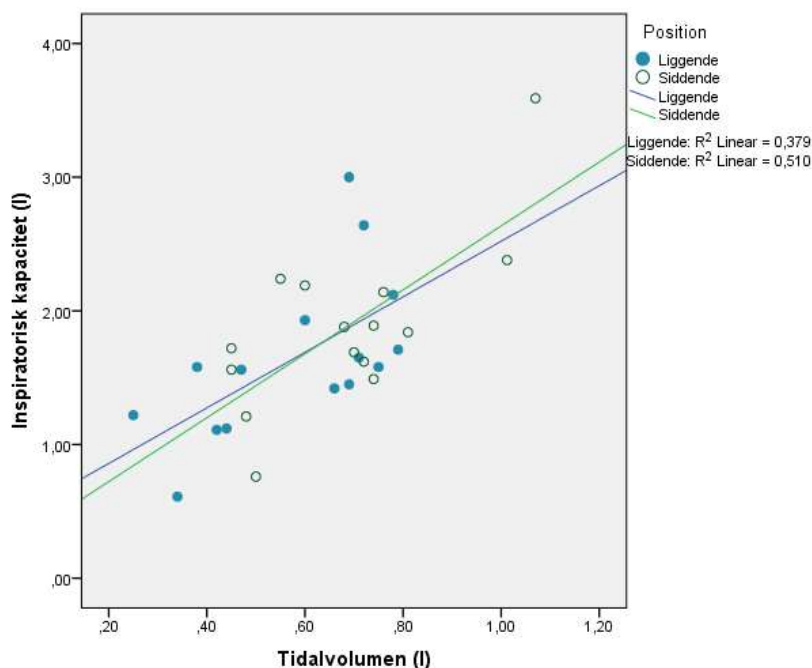
Tabel 3. Data præsenteres som middelværdier (\pm SD) af målinger foretaget i liggende og siddende stilling med Spiropalm (Vt, IC, RF, SpO₂, HR) og Beacon (Va, Vd). Relativ forskel i % = gennemsnittet af de relative stigninger. Vt = tidalvolumen; RF=respirationsfrekvens; IC = inspirationskapacitet; SpO₂ = perifer kapillær iltmætning; HR = hjerterefreknens; V_A = alveolær ventilation; Vd = deadspace; p-værdi refererer til parret t-test for forskellen mellem liggende og siddende stilling. * = statistisk signifikans,



Figur 12 Ændring i lungevolumen ved skift fra liggende til siddende stilling. Den gennemsnitlige værdi i liggende er indeks 100. Vt (= tidalvolumen), Vd (= deadspace), IC (= inspiratorisk kapacitet), Va (alveolær ventilation).

6.4 Korrelation mellem Vt og IC

Der blev fundet signifikant, moderat til stærk korrelation mellem Vt og IC i både liggende ($r = 0,616$, $r^2 = 0,379$, $p = 0,015$) og i siddende ($r = 0,714$, $r^2 = 0,510$, $p = 0,003$) (figur 12). Den totale variation i Vt forklares kun delvist af IC med henholdsvis 37,9% og 51% i liggende og siddende stilling.



Figur 13. Forholdet mellem tidalvolumen og inspiratorisk kapacitet i liggende ($r = 0,616$, $r^2 = 0,379$, $p = 0,015$) og siddende ($r = 0,714$, $r^2 = 0,510$, $p = 0,003$), ($n = 15$)

6.5 Smerte og dyspnø

Middel smertescore ved start i liggende var 1,5 ($\pm 1,35$) point, ved start i siddende stilling 1,4 ($\pm 1,35$) point på NRS. Forskellen var ikke statistisk signifikant ($t(14) = 0,414$, $p = 0,685$). Fire personer havde smertescore over to ved forsøgets start og tre havde mere smerte ved start af måling i siddende end før start i liggende. Smerten blev i alle tre tilfælde forværret med 1 point. Der var ingen smerte > 4 ved start af målingerne.

Middel dyspnø i liggende var 1,8 ($\pm 1,74$) point, ved start i siddende stilling 2,6 ($\pm 1,40$) point på NRS. Forskellen mellem liggende og siddende er ikke statistisk signifikant ($t(14) = -1,666$, $p = 0,118$). Fem havde dyspnø > 2 ved start og 8 ved start i siddende. Fem var mere dyspnøiske ved start af måling i siddende end i liggende. Der var ikke dyspnø over 5 ved nogen målinger. Resultaterne for middelværdier og forskel kan ses i tabel 4.

Der var ingen sammenhæng mellem smerte og dyspnø scoringer og Vt eller IC (bilag 11).

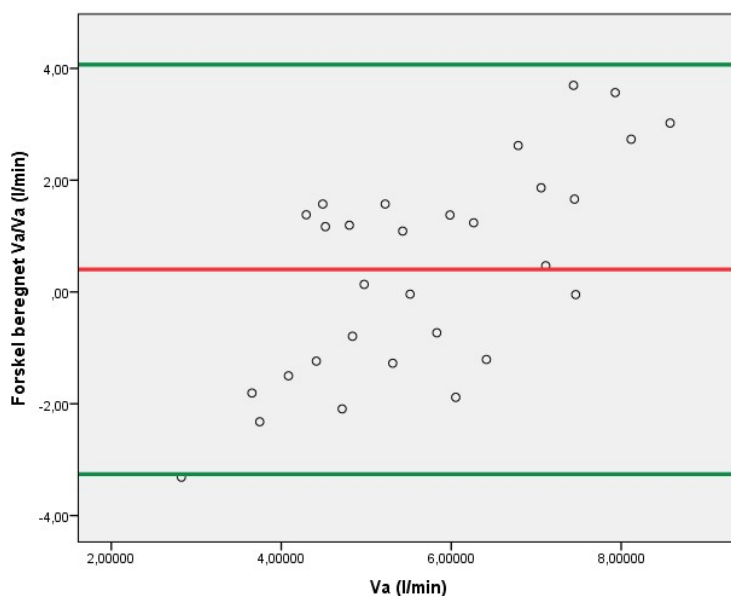
	start liggende	start siddende	p-værdi for forskel
Smerte	1,5 ($\pm 1,35$)	1,4 ($\pm 1,35$)	0,685
Dyspnø	1,8 ($\pm 1,74$)	2,6 ($\pm 1,40$)	0,118

Tabel 4. Data præsenteres som middelværdier ($\pm SD$) af smerte- og dyspnøscore på Numerisk Rating Scale (0-10) foretaget i liggende og siddende stilling.

6.6 Beregnet V_A i forhold til målt V_A

Der var ikke signifikant forskel på beregnet og målt V_A ($t(29) = 1,184$, $p = 0,246$) i henholdsvis liggende og siddende. Der var signifikant korrelation mellem de to variabler ($r = 0,899$, $p < 0,00$).

Bland Altman plot havde bias på 0,40 og limits of agreements på 3,66. Forskellen var stigende med stigende V_A



Figur 14. Bland Altman Plot. X-aksen: målt V_A , Y-aksen: forskellen mellem beregnet V_A og målt V_A . Rød linje: gennemsnit af differencerne/bias; grønne linjer: 95% Limits of Agreement.

6.7 Overensstemmelse mellem Spiropalm og Beacon

Målingerne af Vt i liggende ($t(14) = 1,325$, $p = 0,207$), RF i liggende ($t(14) = -0,107$, $p = 0,916$) og RF i siddende ($t(14) = -1,158$, $p = 0,266$) er ikke signifikant forskellige mellem, Spiropalm og med Beacon.

Vt i siddende ($t(14)=2,359$, $p=0,033$), SpO₂ i liggende ($t(14)=3,947$, $p=0,001$) og SpO₂ i siddende ($t(14)=4,788$, $p<0,000$) var statistisk signifikant forskellige (Tabel 5).

	Forskel liggende	p-værdi	Forskel siddende	p-værdi
Tidalvolumen (l/min)	0,018 ($\pm 0,053$)	0,207	0,036 ($\pm 0,06$)	0,033*
Respirationsfrekvens	0,03 ($\pm 1,18$)	0,916	0,47 ($\pm 1,56$)	0,266
SpO ₂ (%)	0,95 ($\pm 0,93$)	0,001*	1,13 ($\pm 0,92$)	<0,000*

Tabel 5. Data præsenteres som forskel i middelværdier ($\pm SD$) mellem målinger foretaget med Spiropalm og med Beacon i liggende og siddende stilling ($n=15$). SpO₂ = perifer kapillær iltmætning; p-værdi refererer til parret t-test for forskellen mellem måling med Spiropalm og med Beacon. * = statistisk signifikans, ($n=15$)

7 Diskussion

7.1 Opsummering af formål og metode

Formålet med dette studie var at undersøge hvilke ændringer, der sker i Vt, IC, Vd og V_A og i forholdet mellem dem ved mobilisering fra liggende til siddende stilling hos hjertekirurgiske patienter to eller tre dage efter operation. Sekundære outcomes var respirationsfrekvens, SpO₂, HR, smerte og dyspnø samt anstrengelse ved forflytning. Der blev testet i 3 minutter i hver stilling og gennemsnittet af det sidste minut blev benyttet. Idet studiet vil blive benyttet i en senere vurdering af Spiropalms egnethed til undersøgelse af nyopererede hjertepatienter, blev denne benyttet som det primære måleredskab og suppleret med Beacon til måling af V_A og Vd.

7.2 Diskussion af resultater

7.2.1 Tidalvolumen og inspiratorisk kapacitet

Der er i dette studie vist signifikante stigninger i Vt og IC ved ændring af stilling fra liggende til siddende, hvilket bekræfter den første hypotese. Der er ikke fundet andre studier, der direkte har undersøgt ændringer i Vt og IC ved ændring af position fra liggende til siddende få dage efter hjertekirurgisk operation. Jenkins et al (82) fandt i 1988, at FRC, total lungekapacitet (TLC) og vitalkapacitet (VC) ved CABG-opererede patienter blev øget fra liggende til siddende stilling og at inspiratorisk reservekapacitet (IRV), som er den totale lungekapacitet minus FRC og VT, blev mindre. Faldet i IRV er ikke diskuteret i artiklen, men med stigning i TLC og FRC og fald i IRV kan

Vt udmærket være steget i Jenkins studiet også og vejrtrækningen være foregået med større udnyttelse af TLC.

Det er velundersøgt at smerte og mekaniske forhold omkring brystvæg og abdomen kan medvirke til at reducere respirationsbevægelser og Vt samt nedsætte evne til og motivation for at udføre dybe vejrtrækninger efter hjertekirurgi (20,24,56,83). I et mindre studie med tolv mandlige patienter med svær obstruktiv lungesygdom er tidalvolumen steget i siddende i forhold til i liggende. Der var større stigning ved at sidde uden rygstøtte end med, hvilket forklares med, at respirationsmusklerne bliver mere aktive, når der ikke er et ydre tryk på thorax. Det vil være rimeligt at antage, at en del af forskellen i Vt og IC mellem de to positioner er, at der i siddende er forbedrede forhold for respirationsmuskulaturen, hvis styrke i forvejen er reduceret postoperativt (19,84,85). Eksempelvis har diafragma mere funktionelle længde-tensionsforhold, og der vil være et reduceret tryk fra det abdominale indhold i siddende sammenlignet med i liggende. Den større compliance af brystvæggen medfører, at der kan udvikles et større negativt intrapleuralt tryk og derved en forstørrelse af den totale lungekapacitet.

Der var i nærværende studie ikke signifikant sammenhæng mellem smerte- eller dyspnø og Vt eller IC, hvilket ikke er i overensstemmelse med andre studier hvor smerteværdierne på 2. og 3. dagen efter operation i hvile og i siddende gennemsnitligt ligger mellem 2 og 5 (20,53,54,56) i sammenligning med dette studies gennemsnitlige scoringer omkring 1.5 point. Forskellen i smerteopfattelse kan skyldes flere faktorer, som ligger uden for dette studies rammer at diskutere, men bedre smertedækning og proceduren med ikke at udføre målinger på patienter med smerte ≥ 4 point, har sandsynligvis haft stor indflydelse på dette forhold.

7.2.2 Korrelation mellem tidalvolumen og inspiratorisk kapacitet

Der er stærk korrelation mellem Vt og IC, hvilket vurderes at være forventeligt, da begge værdier er steget ved mobilisering. Vt er sammen med RF, som er uændret i dette studie, udtryk for den mængde luft, som forsøgspersonerne spontant bruger for at opfylde organismens behov for ilt. IC er i højere grad betinget af forhold som smerte, abdominalt tryk, almentilstand og samarbejdsevne. Disse forhold kan muligvis forklare, at korrelationskoefficienten ikke er højere end henholdsvis 0,616 og 0,714. Stigningen i determinationskoefficienten fra liggende (0,379) til siddende (0,501) er et udtryk for, at der er mere variation, som er forårsaget af andre parametre i liggende end i siddende – eksempelvis kan forsøgspersonerne være mindre hæmmede i at udføre en maksimal inspiration i siddende end i liggende.

7.2.3 Alveolær ventilation og perifer iltmætning

V_A er steget signifikant ved skiftet fra liggende til siddende som antaget i studiets anden hypotese. En stigende udveksling af gasser i lungerne må antages primært at være et udtryk for et øget behov for ilt, som opstår ved skiftet fra liggende til siddende, og som kan blive imødekommet bl.a. ved de forbedrede inspiratoriske forhold som nævnt ovenfor, hvor et større areal deltager i luftudvekslingen. En anden årsag til forbedret oxygenering kan være, at der ophobes mindre sekret, som kan reducere gasudvekslingen i de slimfyldte afsnit, når en større mængde luftveje åbnes. (86).

Stigende V_A og stort set uændret SpO_2 indikerer, at forsøgspersonernes efterspørgsel efter ilt blev honoreret, og med stabil RF og HR kan det også sandsynliggøres, at personerne har været relativt ustressede. Dette understøttes af smertescoringer på gennemsnitligt 1,5 og 1,4 point på NRS i henholdsvis liggende og siddende og dyspnøscoringer på 1,8 i liggende og 2,6 point på NRS i siddende. Der var en stigning fra liggende til siddende i dyspnø på 0,8, men stigningen er ikke statistisk og næppe heller klinisk relevant. Der er i andre studier fundet metabolisk ubalance mellem ilt krav og iltforbrug ved mobilisering 1. eller 2. dag efter hjertekirurgi, primært i form af øget laktatindhold og faldende central venøs saturation, men der var i disse studier ingen klinisk relevante bivirkninger eller årsag til at undlade mobilisering (87,88).

Kirkeby-Garstad observerede i et studie fra 2005, at faldet i den blandede venøse iltmætning ved mobilisering var helt tilsvarende det fald, der var hos de samme patienter ved udførsel af den samme aktivitet præoperativt og da hjerteindekset var uændret, antog de at det øgede iltbehov måtte blive kompenseret ved, at en større del af iltindholdet blev frigivet til blodet (29).

SpO_2 benyttes i klinisk praksis som den primære indikator på, om patientens iltbehov dækkes, og sammen med patientens kliniske tilstand afgør denne, om der skal foretages mere specifik undersøgelse af iltmætningen. Det vil oftest være i form af en invasiv måling af iltindholdet i det arterielle blod (SaO_2). I nærværende forsøg blev den øgede alveolære ventilation ikke afspejlet i SpO_2 , hvor forskellen mellem de to positioner var statistisk signifikant, men næppe klinisk relevant. Den begrænsede stigning i ilt saturation var uventet i forhold til de almindelige antagelser om, at saturationen stiger ved mobilisering og fysisk aktivitet hos nyopererede patienter. Andre studier har dog også fundet beskeden eller uændret SpO_2 i forbindelse med stillingsændring på dagen for eller dagen efter operationen (87,89,90). Måling af SpO_2 ligger indenfor en usikkerhed på $\pm 2-4\%$ (91,92), så forskellen på 0,86% ligger således indenfor måleusikkerhedsgrænsen og kan derfor ikke forventes at afspejle de reelle forhold. I nærværende forsøg var patienterne velsaturerede inden målingerne blev foretaget, og alle med iltmætning i liggende under 92% fik supplerende ilttilskud i begge positioner. Hvis de patienter, som havde lav saturation var blevet målt uden ilttilskud, ville der muligvis være sket en større ændring i saturationen

7.2.4 Deadspace

Som de øvrige lungevolumina steg deadspace i nærværende studie fra liggende til siddende stilling. Med udgangspunkt i lungefysiologien er denne stigning forventelig, fordi en større del af de sammenklappede dele af bronkietræet, som er uden brusk og derfor mere følsomme for trykændringer, er åbnet for at transportere luften ned i de tilhørende alveoler. Det betyder, at der som en konsekvens af flere åbne alveoler opstår et større areal, som ikke deltager i luftudvekslingen. Størstedelen af den fundne litteratur omkring måling af Vd's størrelse hos voksne er lavet på patienter med akut lungesvigt, som er i respiratorbehandling. En stigning i Vd/Vt ratioen er associeret med øget mortalitet og yderligere forværring af lungesygdommen, og monitorering af Vd anses som et værdifuldt redskab i optimering af ventileringen til patienter med svære akutte lungesygdomme (93–96).

Det er velundersøgt, at fremliggende stilling nedsætter Vd/Vt ratioen og forbedrer de mekaniske forhold omkring respirationen hos mekanisk ventilerede patienter med akut lungesvigt (94,97). Et mindre studie udført på 14 patienter, som var under generel anæstesi i forbindelse med posterior spinal operation viste, at der ikke var forskel på Vd/Vt ratioen fra ryg- til fremliggende stilling og at der var en mindre men ikke statistisk signifikant stigning i oxygeneringen (98). Der er ikke fundet studier, som har undersøgt størrelse af Vd/Vt ratio hos postoperative hjertekirurgiske patienter eller af effekten af stillingsændring fra liggende til siddende hos denne eller andre patientgrupper efter kirurgi. Hos en mindre gruppe torakotomipatienter blev der ikke fundet forskel i Vd/Vt ratio mellem sideliggende og rygliggende (99). Det blev på denne baggrund fundet interessant at undersøge, om der i nærværende studie skete et fald i Vd/Vt rationen ved stillingskiftet. Der blev fundet et fald fra 0,4961. ($\pm 0,047$) til 0,4901. ($\pm 0,061$), hvilket ikke er hverken statistisk signifikant eller klinisk relevant. Billedet kan dog være forstyrret af det store apparatdeadspace, men det er ikke undersøgt nærmere.

7.2.5 Sammenligning af V_A og beregnet V_a

At måle eksakte værdier for V_A kræver et udstyr, som kan måle gasudveksling, og da Spiropalm ikke er ikke i stand til det, blev Beacon brugt til disse målinger. Det blev testet, om der med måling af Vt og med kendskab til de gennemsnitlige værdier for Vd kunne foretages estimeringer af V_a , som var statistisk signifikante og klinisk acceptable. Resultatet var, at beregnet V_A ikke var signifikant forskelligt fra det målte V_a , og der var god korrelation og god overensstemmelse mellem de to. Der var stor spredning på gennemsnittet af forskellen ($0,951 \pm 0,701$), og Bland Altman plottet viser store limits of agreement på $\pm 3,66$ på begge sider af gennemsnittet. Der er stigende

forskel mellem målemetoderne, når V_A fjerner sig fra gennemsnitsværdierne, hvilket viser, at metoden fungerer og laver gode resultater omkring gennemsnittet, men at det måler over og under ved henholdsvis lave og høje V_t . Dette beror på, at der er fratrukket en gennemsnitlig værdi for V_d (0,28 i liggende og 0,31 i siddende) fra alle V_t og indikerer, at brugen af dette gennemsnit ikke er nuanceret nok. Med et gennemsnitligt V_d kan der således ikke foretages en klinisk acceptabel beregning af V_a . Mere specifikke referenceværdier for V_d i forhold til køn, alder og evt. højde/BMI ville sandsynligvis medføre betydeligt mere nøjagtig estimering af V_a .

7.3 Diskussion af metode

7.3.1 Populationen

Baselinedata for deltagerne adskilte sig i forhold til køn, alder, BMI og præoperativ lungefunktion ikke væsentligt fra andre studier (24,25,36,100). Der var i dette forsøg et usædvanligt forhold mellem CABG (3 patienter) og hjerteklapopererede (11 patienter). Ifølge tal fra Hjerte-lunge kirurgisk afdeling, Aalborg Universitetshospital blev der i 2016 foretaget 144 CABG operationer, 164 hjerteklap- og 36 kombinerede procedurer (bilag 12), så perioden for dataindsamling har ikke været repræsentativ med hensyn til fordeling af operationstyper. Der har i dette forsøg været forholdsvist flere CABG- end klapopererede, som havde forlænget indlæggelse eller af andre grunde ikke gennemførte forsøget (7 hjerteklap- og 5 CABG opererede og 2 med kombineret procedure) (se figur 11). Dette stemmer ikke overens med, at der generelt er større risiko for komplikationer ved klapoperationer end ved CABG operationer (101). Det større frafald af CABG patienter i studiet kan ikke forklares med aldersfaktoren, da gennemsnitsalderen for CABG opererede blandt alle inkluderede var 65,3 og for klapopererede 73,4, og forskellen må formodes at bero på lokale forhold eller rent tilfælde. Da der ikke er forskel på den fysiologiske respons på postoperativ mobilisering ved de to operationstyper (29) antages det derfor i dette studie, at der ikke er forskelle i lungevolumina hos patienter, som har fået foretaget CABG eller hjerteklapoperation.

Der ville muligvis have været en anderledes effekt af stillingsændringen i den gruppe, som ikke gennemførte målingerne (13 ud af 28), og studiets resultater kan således kun generaliseres til patienter med relativt ukompliceret postoperativt forløb. Et større antal forsøgspersoner ville styrke generaliserbarheden af studiet.

Studiet har undersøgt nogle patienter på 2. og andre på 3. dagen efter operation. Andre studier viser, at reduktionen i lungevolumina formindskes i løbet af de første postoperative dage (19,22,102) og det kunne derfor have været relevant kun at undersøge på én af dagene for at have en mere tydelig tidsfaktor. Hvis det var muligt blev alle patienter undersøgt på 2. dagen og

undersøgelse på 3. dagen er derfor et udtryk for, at patienterne enten har opholdt sig på intensivafdelingen eller har frabedt sig undersøgelse. Fire ud af 15 er undersøgt 3. dag og det ville muligvis have medført et lidt anderledes resultat, hvis de var undersøgt dagen før. Da patienterne imidlertid kun er sammenlignet med sig selv, ville det sandsynligvis ikke have betydet nogen klinisk relevant forskel.

Mere homogene grupper, som i højere grad blev analyseret hver for sig efter eksempelvis operationstype, dag for måling, præoperativ lungefunktion, køn eller alder ville muligvis have givet andre resultater, men ville kræve betydeligt flere forsøgspersoner og formodes ikke at afspejle den kliniske praksis i samme grad som den mere uhomogene gruppe.

7.3.2 Målemetode

Begge måleinstrumenter er validerede og sammenligningen mellem dem viser da også, at målinger af Vt stort set er ens. Der var en statistisk signifikant forskel i siddende, som kan forklares med, at en enkelt patient havde usædvanligt stor stigning i Vt på Spiropalmmålingerne. Hvis data fra denne forsøgsperson blev taget ud, var forskellen reduceret, så der var ens målinger i siddende også.

At benytte to redskaber har kompliceret den praktiske udførelse af studiet en smule og betød, at der blev sat et målerør mere foran masken. Dette forhold resulterede i et forstørret apparatdeadspace, som kan have haft indflydelse Vd/Vt ratioen hos især personer med lav tidalvejrtrækning, og som kan have betydet længere tids tilvæning til maske og måleudstyr inden en stabil måling kunne finde sted.

7.3.3 Testprocedure

Umiddelbart før mobilisering og straks efter, blev der målt i tre minutter hvoraf data fra det sidste minut blev benyttet. De tre minutter blev valgt for at opnå balance mellem at opnå stabilitet i målingerne (måleapparat, tilvæning til at trække vejret gennem masken og til forøget deadspace, normalisering af vejrtrækning og hjertefrekvens) og ikke at udsætte forsøgspersonerne for længere målinger end højst nødvendigt. Der havde muligvis været andre resultater, hvis stabiliserings- og/eller måleperioden havde været længere.

Mobiliseringsproceduren er meget tæt på den, der foregår i klinisk praksis, hvor patienterne flere gange om dagen mobiliseres fra liggende til siddende. Omgivelserne svarer til dem patienterne udskrives til efter ophold på intensiv afdelingen, og målingerne er taget på tidspunkter, hvor de alligevel skulle ud af sengen. Dette anses for at være en styrke for forsøgets relevans for klinisk praksis, men der kan også være ulemper forbundet med det. Eksempelvis kan forstyrrelser fra medpatienter, personale og pårørende påvirke forsøgspersonens og testerens koncentration, og undersøgelsen har i flere tilfælde i patientens opfattelse været blandet sammen med lungefysioterapi i form af CPAP, der også foregår med maske.

7.3.4 Blinding

For at øge reliabiliteten af studiet og undgå bias kunne det have været hensigtsmæssigt, at den som foretog forsøget ikke var den samme som behandler og analyserer data (103). Det har ikke været muligt i nærværende forsøg, og kan have afspejlet sig i en ubevidst skævvridning mod positive resultater i både dataindsamling og dataanalyse. Dette er forsøgt undgået med grundige procedurebeskrivelser for forsøg og databehandling.

8 Konklusion

Det primære formål med dette projekt var at udføre et studie, som undersøger, hvilke ændringer der sker i lungernes volumen og kapacitet ved ændring af stilling fra liggende til siddende hos nyopererede hjertepatienter. Der kan konkluderes, at der har været statistisk signifikante stigninger i V_t , IC, V_A og V_d med relative stigninger mellem 14 og 25%. Resultaterne bekræfter studiets hypoteser. Stigningerne er af en størrelse, som må anses for at være særdeles klinisk relevante og støtter derfor op om praksis med, at patienterne skal mobiliseres så tidligt som muligt efter hjerteoperation. Der var statistisk signifikant men ikke klinisk relevant ændring i SpO_2 . HR og RF var stort set uændrede. Ændringerne tilskrives primært et forbedret fysiologisk udgangspunkt for respirationen i siddende i forhold til i liggende. Forsøgspersonerne var generelt velsaturerede og oplevede kun smerte og dyspnø i ringe omfang. 13 ud af 28 inkluderede kunne ikke blive undersøgt på grund af forlænget ophold på intensiv afdeling, utilpashed eller andet. Resultaterne er således kun udtryk for tilstanden hos patienter med relativt ukomplicerede forløb og sample size er for lille til at generalisere til andre patienter i populationen.

Det sekundære formål med projektet var at foretage en afprøvning af måleapparatet Spiropalm som muligt instrument til undersøgelse og monitorering af lungefunktionen hos postoperative hjertepatienter. Spiropalm er let at benytte, giver letforståelige outputs og laver pålidelige målinger af V_t og IC. Den kliniske relevans af at undersøge V_t hos patientgruppen eller dele af denne er ikke udforsket nærmere i dette projekt, men forsøg på at beregne V_A ud fra V_t og gennemsnitsværdier for V_d giver så stor spredning på resultaterne, at den metode ikke kan anbefales at benytte.

9 Perspektivering

Lungekomplikationer efter hjerteoperation er som belyst i problembaggrunden årsag til øget mortalitet, forlænget indlæggelse og langvarige funktionsnedsættelser. En øget viden om, hvordan respirationens størrelse hænger sammen med lungefunktionen hos den specifikke patientgruppe vil potentielt kunne hjælpe fysioterapeuter til at målrette deres behandling, så den rette

intervention bliver tilbudt den rette patient. Dette studie har vist, at lungevolumina, som forventet, stiger ved mobilisering fra liggende til siddende hos patienter med ukompliceret forløb og som er relativt ustressede. For at styrke resultaterne fra dette studie, vil det være hensigtsmæssigt at gennemføre de samme målinger med en større gruppe af patienter og føre de nye data sammen med de eksisterende.

Som forlængelse af studiet vil det være nærliggende at måle lungevolumina og -funktion under fysisk aktivitet som eksempelvis stående og gående stilling, hvor de respiratoriske udfordringer er større. Desuden vil det være interessant, og antagelig mere relevant, at undersøge den gruppe af patienter, som havde forlænget ophold på intensivafdelingen, og som sandsynligvis vil være mere udsatte for yderligere komplikationer og forlænget indlæggelse, når de kommer på sengeafdelingen. En ændring af tidspunktet for måling til eksempelvis at være dagen efter operationen uanset opholdsafdeling, med opfølgning efter et antal dage, vil inkludere en mere bred population, som afspejler hele patientgruppen bedre, med mulighed for at lave sammenligninger mellem patienter med ukomplicerede forløb og patienter med mere komplekse forløb. Det vil dog kræve andre muligheder for at udføre målingerne samtidigt med at patienten får fugtet ilt med stort flow.

Lungefunktion er et meget komplekst område, hvor utallige faktorer kan undersøges og tages i betragtning. Måleapparatet Beacon, som er brugt i studiet, er meget avanceret, og indeholder flere data fra målingerne, som ikke er blevet brugt. Bl.a. er der værdier for VO_2 og VCO_2 , som kunne være interessante at sammenholde med de andre data, og der er værdier for Energy Expenditure (EE), som kan være med til at vise, om patienterne er stressede. Det kan især være interessant at monitorere hos de respiratorisk marginale patienter, som får dyspnø og giver udtryk for svær anstrengelse ved mobilisering.

I dette projekt er det forsøgt at undersøge, om let målelige faktorer som V_t og RF kan have værdi som et objektive mål for patienternes respiration. Det er der ikke kommet noget endegyldigt svar på, men med den teknologi der er mulig i dag, vil det måske give bedre resultater at benytte måleredskaber, der også kan måle CO_2 og eventuelt O_2 indhold i udåndingsluften. Men for at fysioterapeuter skal kunne bruge undersøgelserne i en travl hverdag vil det være af stor betydning, at redskaberne og resultaterne er lette at bruge og aflæse – og at der er konkrete anvisninger til interventioner forbundet med undersøgelsesresultaterne. Det vil kræve yderligere studier, afprøvninger og vurderinger at implementere et nyt undersøgelsesredskab, men i et mere og mere specialiseret sundhedsvæsen med korte og effektiviserede patientforløb er det hensigtsmæssigt at udvikle og implementere enkle, brugervenlige og subjektive metoder til at diagnosticere og forebygge komplikationer efter hjerteoperation.

10 Referenceliste

1. Hodgson CL, Berney S, Harrold M, Saxena M, Bellomo R. Clinical review: early patient mobilization in the ICU. *Crit Care Lond Engl*. 2013 Feb 28;17(1):207.
2. Asher R. The dangers of going to bed. *Br Med J*. 1947 Dec 13;2(4536):967.
3. Ministeriet for sundhed og forebyggelse. Nationalt kvalitetsprogram for sundhedsområdet 2015-2018 [Internet]. 2015 [cited 2017 May 23]. Available from: http://www.sum.dk/~media/Filer%20-%20Publikationer_i_pdf/2015/Nationalt-kvalitetsprogram-for-sundhedsomraadet/Nationalt%20kvalitetsprogram%20for%20sundhedsomr%C3%A5det%20-%20april%202015.ashx
4. Region Syddanmark. Mini-MTV [Internet]. 2016 [cited 2017 May 3]. Available from: <http://www.ouh.dk/wm122682>
5. Region Nordjylland. Mini medicinsk teknologivurdering (MTV) [Internet]. 2014 [cited 2017 May 3]. Available from: <https://pri.rn.dk/Sider/17536.aspx>
6. Sundhedsstyrelsen. Introduktion til mini-MTV: -et ledelses- og beslutningsstøtteværktøj til kommunerne. Sundhedsstyrelsen; 2008.
7. Huniche L, Olesen F. Teknologi i sundhedspraksis. Kbh.: Munksgaard; 2014.
8. European Society of Cardiology. 2012 European Cardiovascular Disease Statistics [Internet]. 2012 [cited 2016 Oct 14]. Available from: <https://www.escardio.org/The-ESC/What-we-do/Initiatives/EuroHeart/2012-European-Cardiovascular-Disease-Statistics>
9. Eurostat - Statistics Explained. Cardiovascular diseases statistics [Internet]. 2016 [cited 2017 Mar 14]. Available from: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Cardiovascular_diseases_statistics
10. Statens Institut for Folkesundhed. Forskning i hjertekarsygdom [Internet]. 2013 [cited 2017 Mar 14]. Available from: <http://www.si-folkesundhed.dk/Forskning/Sygdomme%20og%20tilskadekomst/Hjerte-%20og%20kredsl%C3%B8ssygdomme.aspx>
11. American Heart Association. What is Cardiovascular Disease? [Internet]. 2017 [cited 2017 Mar 14]. Available from: http://www.heart.org/HEARTORG/Support/What-is-Cardiovascular-Disease_UCM_301852_Article.jsp
12. Dansk Cardiologisk Selskab. Forebyggelse af hjertesygdom [Internet]. 2016 [cited 2017 Mar 14]. Available from: <http://nbv.cardio.dk/forebyggelse>
13. Nichols M, Townsend N, Scarborough P, Rayner M. Cardiovascular disease in Europe 2014: epidemiological update. *Eur Heart J*. 2014 Nov 7;35(42):2950–9.
14. Galatius S, Tilsted H-H. Stabil iskæmisk hjertesygdom [Internet]. Dansk Cardiologisk Selskab. 2016 [cited 2017 Mar 14]. Available from: <http://nbv.cardio.dk/ihs>

15. Sundhedsstyrelsen. National klinisk retningslinje for hjerterehabilitering. 2015.
16. Sundhedsstyrelsen. Diagnostik og behandling af iskæmisk hjertesygdom i Danmark: KAG, PCI, by-pass og klapkirugi. 2005.
17. Eurostat - Statistics Explained. Surgical operations and procedures statistics [Internet]. 2016 [cited 2017 Mar 14]. Available from: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Surgical_operations_and_procedures_statistics
18. Urell C, Westerdahl E, Hedenström H, Janson C, Emtner M. Lung Function before and Two Days after Open-Heart Surgery. *Crit Care Res Pract.* 2012;2012:1–7.
19. Matheus GB, Dragosavac D, Trevisan P, Costa CE da, Lopes MM, Ribeiro GC de A. Postoperative muscle training improves tidal volume and vital capacity in the postoperative period of CABG surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2012;27(3):362–9.
20. Baumgarten M. Pain and pulmonary function in patients submitted to heart surgery via sternotomy.pdf. *Rev Bas Cir Cardiovasc.* 2009;24(4):497–505.
21. Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T, Friberg O, Hedenstierna G, Tenling A. Deep-breathing exercises reduce atelectasis and improve pulmonary function after coronary artery bypass surgery. *Chest.* 2005 Nov;128(5):3482–8.
22. Westerdahl E, Lindmark B, Almgren S-O, Tenling A. Chest Physiotherapy After Coronary Artery Bypass Graft Surgery - a Comparison of Three Different Deep Breathing Techniques. *J Rehabil Med Taylor Francis Ltd.* 2001 Apr;33(2):79–84.
23. Jonsson M, Urell C, Emtner M, Westerdahl E. Self-reported physical activity and lung function two months after cardiac surgery--a prospective cohort study. *J Cardiothorac Surg.* 2014 Mar 28;9:59.
24. Rouhi-Boroujeni H, Rouhi-Boroujeni H, Rouhi-Boroujeni P, Sedehi M. Long-term pulmonary functional status following coronary artery bypass grafting surgery. *ARYA Atheroscler.* 2015 Mar;11(2):163–6.
25. Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T, Hedenstierna G, Tenling A. The immediate effects of deep breathing exercises on atelectasis and oxygenation after cardiac surgery. *Scand Cardiovasc J.* 2003 Jan;37(6):363–7.
26. Santos PMR, Ricci NA, Suster é. AB, Paisani DM, Chiavegato LD. Effects of early mobilisation in patients after cardiac surgery: a systematic review. *Physiotherapy.* 2017 Mar;103(1):1–12.
27. Corredor C, Thomson R, Al-Subaie N. Long-Term Consequences of Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2016 Jan;30(1):69–75.
28. Gosselt AN, Slooter AJ, Boere PR, Zaal IJ. Risk factors for delirium after on-pump cardiac surgery: a systematic review. *Crit Care Lond Engl.* 2015 Sep 23;19:346.
29. Kirkeby-Garstad I, Stenseth R, Sellevold OFM. Post-operative myocardial dysfunction does not affect the physiological response to early mobilization after coronary artery bypass grafting. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2005 Oct 1;49(9):1241–7.

30. Litwinowicz R, Bartus K, Drwila R, Kapelak B, Konstany-Kalandyk J, Sobczynski R, et al. In-Hospital Mortality in Cardiac Surgery Patients After Readmission to the Intensive Care Unit: A Single-Center Experience with 10,992 Patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2015 Jun;29(3):570–5.
31. Patel N, Minhas JS, Chung EML. Risk Factors Associated with Cognitive Decline after Cardiac Surgery: A Systematic Review. *Cardiovasc Psychiatry Neurol*. 2015;2015:1–12.
32. Hansen L, Jakobsen C-J, Hjortdal V, Andreasen J, Mortensen P. 30-day mortality after coronary artery bypass grafting and valve surgery has greatly improved over the last decade, but the 1-year mortality remains constant. *Ann Card Anaesth*. 2015;18(2):138.
33. Nashef SAM, Roques F, Sharples LD, Nilsson J, Smith C, Goldstone AR, et al. EuroSCORE II. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2012 Apr;41(4):734-744-745.
34. Dansk Hjerteregister. Årsrapport for dansk hjerteregister 2015 [Internet]. 2015 [cited 2017 Mar 17]. Available from: https://www.sundhed.dk/content/cms/72/4672_%C3%A5rsrapport-for-dansk-hjerteregister-2015.pdf
35. Society of Thoracic Surgeons. Adult Cardiac Surgery Database Executive Summary [Internet]. 2016 [cited 2017 Mar 17]. Available from: http://www.sts.org/sites/default/files/documents/2016Harvest2_ExecutiveSummary_new.pdf
36. Jensen L, Yang L. Risk factors for postoperative pulmonary complications in coronary artery bypass graft surgery patients. *Eur J Cardiovasc Nurs*. 2007 Sep;6(3):241–6.
37. Hulzebos EH, Helders PJ, Favié NJ, De Bie RA, de la Riviere AB, Van Meeteren NL. Preoperative intensive inspiratory muscle training to prevent postoperative pulmonary complications in high-risk patients undergoing CABG surgery: a randomized clinical trial. *Jama*. 2006;296(15):1851–1857.
38. Schuller D, Morrow LE. Pulmonary complications after coronary revascularization. *Curr Opin Cardiol*. 2000 Sep;15(5):309–15.
39. Asimakopoulos G, Smith PL, Ratnatunga CP, Taylor KM. Lung injury and acute respiratory distress syndrome after cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*. 1999 Sep;68(3):1107–15.
40. Urell C. Lung function, respiratory muscle strength and effects of breathing exercises in cardiac surgery patients. [Uppsala]: Acta Universitatis Upsaliensis; 2013.
41. Leavitt BJ. Long-Term Survival of Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease Undergoing Coronary Artery Bypass Surgery. *Circulation*. 2006 Jul 4;114(1_suppl):I-430-I-434.
42. Kristjánsdóttir A, Ragnarsdóttir M, Hannesson P, Beck HJ, Torfason B. Respiratory movements are altered three months and one year following cardiac surgery. *Scand Cardiovasc J SCJ*. 2004 May;38(2):98–103.
43. Brocki BC, Thorup CB, Andreasen JJ. Precautions related to midline sternotomy in cardiac surgery: a review of mechanical stress factors leading to sternal complications. *Eur J Cardiovasc Nurs J Work Group Cardiovasc Nurs Eur Soc Cardiol*. 2010 Jun;9(2):77–84.

44. Toumpoulis IK, Anagnostopoulos CE, DeRose J Joseph J, Swistel DG. The impact of deep sternal wound infection on long-term survival after coronary artery bypass grafting*. *Chest*. 2005 Feb 1;127(2):464–71.
45. Craig DB, Wahba WM, Don H. Airway closure and lung volumes in surgical positions. *Can Anaesth Soc J*. 1971 Jan 1;18(1):92–9.
46. Hedenstierna G. Oxygen and anesthesia: what lung do we deliver to the post-operative ward? *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012 Jul;56(6):675–85.
47. Huffmyer JL, Groves DS. Pulmonary complications of cardiopulmonary bypass. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2015 Jun;29(2):163–75.
48. Ji Q, Mei Y, Wang X, Feng J, Cai J, Ding W. Risk factors for pulmonary complications following cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Int J Med Sci*. 2013;10(11):1578–83.
49. Bonacchi M, Prifti E, Giunti G, Salica A, Frati G, Sani G. Respiratory dysfunction after coronary artery bypass grafting employing bilateral internal mammary arteries: the influence of intact pleura. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2001 Jun;19(6):827–33.
50. Kristjánsdóttir A, Ragnarsdóttir M, Hannesson P, Beck HJ, Torfason B. Chest wall motion and pulmonary function are more diminished following cardiac surgery when the internal mammary artery retractor is used. *Scand Cardiovasc J SCJ*. 2004 Dec;38(6):369–74.
51. Rock P, Rich PB. Postoperative pulmonary complications. *Curr Opin Anesthesiol*. 2003;16(2):123–131.
52. Gélinas C. Management of pain in cardiac surgery ICU patients: Have we improved over time? *Intensive Crit Care Nurs*. 2007 Oct;23(5):298–303.
53. de Mello LC, Rosatti SFC, Hortense P. Assessment of pain during rest and during activities in the postoperative period of cardiac surgery. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2014;22(1):136–43.
54. Milgrom LB, Brooks JA, Qi R, Bunnell K, Wuestefeld S, Beckman D. Pain levels experienced with activities after cardiac surgery. *Am J Crit Care*. 2004 Mar;13(2):116–25.
55. Mueller XM, Tinguely F, Tevaearai HT, Ravussin P, Stumpe F, von Segesser LK. Impact of duration of chest tube drainage on pain after cardiac surgery. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2000 Nov;18(5):570–4.
56. Sasseron AB, Figueiredo LC de, Trova K, Cardoso AL, Lima NMFV, Olmos SC, et al. Does the pain disturb the respiratory function after heart surgeries? *Rev Bras Cir Cardiovasc [Internet]*. 2009 [cited 2017 Apr 4]; Available from: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/39662>
57. Gurses E, Berk D, Sungurtekin H, Mete A, Serin S. Effects of high thoracic epidural anesthesia on mixed venous oxygen saturation in coronary artery bypass grafting surgery. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res*. 2013 Mar 27;19:222–9.
58. Leblanc P, Ruff F, Milic-Emili J. Effects of age and body position on “airway closure” in man. *J Appl Physiol*. 1970 Apr;28(4):448–51.

59. Brocki BC, Poulsgaard IJ, Alsted AJ. Lungefysioterapi: en grundbog. Kbh.: Munksgaard Danmark; 2011.
60. Dean E. Cardiovascular and Pulmonary Physical Therapy - Body positioning. In: Frownfelter DL, Dean E, editors. Cardiovascular and pulmonary physical therapy: evidence to practice. 5th ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Mosby; 2012. p. chapter 20.
61. Lyager S. Respirationsfysiologi. 2010.
62. Anderson J. Embolism. In: J. S. Gravenstein, Jaffe MB, Paulus DA, editors. Capnography: clinical aspects: carbon dioxide over time and volume. Cambridge, UK ; New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2004. p. 187–90.
63. Dean E, Butcher S. Cardiovascular and Pulmonary Physical Therapy - Interventions. In: Frownfelter DL, Dean E, editors. Cardiovascular and pulmonary physical therapy: evidence to practice. 5th ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Mosby; 2012. p. chapter 18.
64. Laine GA, Hu BY, Wang S, Thomas Solis R, Reul GJ. Isolated high lactate or low central venous oxygen saturation after cardiac surgery and association with outcome. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013 Dec;27(6):1271–6.
65. Li S, Peng K, Liu F, Yu Y, Xu T, Zhang Y. Changes in blood lactate levels after major elective abdominal surgery and the association with outcomes: a prospective observational study. *J Surg Res.* 2013 Oct;184(2):1059–69.
66. Spooner AJ, Corley A, Sharpe NA, Barnett AG, Caruana LR, Hammond NE, et al. Head-of-Bed Elevation Improves End-Expiratory Lung Volumes in Mechanically Ventilated Subjects: A Prospective Observational Study. *Respir Care.* 2014 Oct 1;59(10):1583–9.
67. Pettersson H, Faager G, Westerdahl E. Improved oxygenation during standing performance of deep breathing exercises with positive expiratory pressure after cardiac surgery: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2015;47(8):748–52.
68. Antonsson M, Fagevik Olsén M, Johansson H, Sandström L, Urell C, Westerdahl E, et al. Riktlinjer för andningsvårdande behandling inom sjukgymnastik för patienter som genomgår buk- och thoraxkirurgi [Internet]. 2010 [cited 2017 Jan 15]. Available from: <http://www.akademiska.se/Global/Neuro/Sjukgymnastik/Dokument/Behandlingsriktlinjer/Nationella%20riktlinjer/Nationella%20riktlinjer%20Resp%20vid%20kir%20Slutversion.pdf>
69. Fysio- og Ergoterapiafdelingen, Aalborg Universitetshospital. Fysioterapi til patienter der har fået foretaget en hjerteoperation via sternotomi [Internet]. 2015 [cited 2016 Dec 28]. Available from: <https://pri.rn.dk/Sider/8842.aspx>
70. Den Nationale Videnskabsetiske Komite. Forsøgspersoners rettigheder i et sundhedsvidenskabeligt forskningsprojekt [Internet]. 2014 [cited 2017 May 5]. Available from: <https://www.cancer.dk/dyn/resources/File/file/7/4927/1438355005/forsoegspersoners-rettigheder-i-et-sundhedsvidenskabeligt-forskningsprojekt.pdf>
71. Gift AG, Narsavage G. Validity of the numeric rating scale as a measure of dyspnea. *Am J Crit Care.* 1998;7(3):200.

72. Göransson KE, Heilborn U, Selberg J, von Scheele S, Djärv T. Pain rating in the ED—a comparison between 2 scales in a Swedish hospital. *Am J Emerg Med.* 2015 Mar;33(3):419–22.
73. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, French M. Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF. *Arthritis Care Res.* 2011 Nov;63(S11):S240–52.
74. Kjeldsen HB, Klausen T, Rosenberg J. Kjeldsen. Preferred Presentation of the Visual Analog Scale for measurement of Postoperative Pain. *Pain Pract.* 2016;16(8):980–4.
75. Bijur PE, Latimer CT, Gallagher EJ. Validation of a verbally administered numerical rating scale of acute pain for use in the emergency department. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* 2003 Apr;10(4):390–2.
76. Cosmed Italy. Spiropalm 6MWT. 2015.
77. Mermaid Care. About Mermaid Care and BEACON Caresystem ventilation management [Internet]. Mermaid Care. 2016 [cited 2016 Dec 30]. Available from: <http://mermaidcare.com/ventilation-management/>
78. Miller MR. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J.* 2005 Aug 1;26(2):319–38.
79. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl.* 1993 Mar;16:5–40.
80. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). GOLD 2017 Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD [Internet]. 2017 [cited 2017 May 23]. Available from: <http://goldcopd.org>.
81. Aalborg Universitetshospital, Klinik Hjerter-Lunge, Hjerter- og lungekirurginik Hjerter-Lunge, Aalborg Universitetshospital. Postoperativ mobilisering af patienter, som har fået foretaget fuld sternotomi i forbindelse med en hjerteroperation [Internet]. 2015 [cited 2016 Dec 28]. Available from: <https://pri.rn.dk/Sider/13947.aspx>
82. Jenkins S. The Effects of Posture on Lung Volumes in Normal Subjects and in Patients Pre- and Post-coronary Artery Surgery. *Physiotherapy.* 1988;74(10):492–6.
83. Ragnarsdóttir M, Kristjánsdóttir Á, Ingvarsdóttir I, Hannesson P, Torfason B, Cahalin LP. Short-term changes in pulmonary function and respiratory movements after cardiac surgery via median sternotomy. *Scand Cardiovasc J.* 2004 Jan;38(1):46–52.
84. Morsch KT, Leguisamo CP, Camargo MD, Coronel CC, Mattos W, Ortiz LDN, et al. Ventilatory profile of patients undergoing CABG surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc Orgao Of Soc Bras Cir Cardiovasc.* 2009 Jun;24(2):180–7.
85. Riedi C, Mora CTR, Driessen T, Coutinho M de CG, Mayer DM, Moro FL, et al. Relation between respiratory muscle strength with respiratory complication on the heart surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc Orgao Of Soc Bras Cir Cardiovasc.* 2010 Dec;25(4):500–5.

86. Yang M, Yan Y, Yin X, Wang BY, Wu T, Liu GJ, et al. Chest physiotherapy for pneumonia in adults. In: Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2013 [cited 2017 May 22]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD006338.pub3/abstract>
87. Cassina T, Putzu A, Santambrogio L, Villa M, Licker MJ. Hemodynamic challenge to early mobilization after cardiac surgery: A pilot study. *Ann Card Anaesth*. 2016;19(3):425–32.
88. Kirkeby-Garstad I, Sellevold OFM, Stenseth R, Skogvoll E, Karevold A. Marked mixed venous desaturation during early mobilization after aortic valve surgery. *Anesth Analg*. 2004 Feb;98(2):311–317, table of contents.
89. Price P. Physiologic effects of first-time sitting among male patients after coronary artery bypass graft surgery. *Dyn Pemb Ont*. 2006;17(1):12–9.
90. Sala V, Petrucci L, Monteleone S, Dall'Angelo A, Miracca S, Conte T, et al. Oxygen saturation and heart rate monitoring during a single session of early rehabilitation after cardiac surgery. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016 Feb;52(1):12–9.
91. Batchelder PBR, Raley DMB. Maximizing the Laboratory Setting for Testing Devices and Understanding Statistical Output in Pulse Oximetry. [Review]. *Anesth Analg*. 2007 Dec;105(6).
92. Milner QJW, Mathews GR. An assessment of the accuracy of pulse oximeters. *Anaesthesia*. 2012 Apr 1;67(4):396–401.
93. Kallet RH. Measuring dead-space in acute lung injury. *Minerva Anestesiol*. 2012 Nov;78(11):1297–305.
94. Matthay MA, Kallet RH. Prognostic value of pulmonary dead space in patients with the acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Lond Engl*. 2011;15(5):185.
95. Nuckton TJ, Alonso JA, Kallet RH, Daniel BM, Pittet J-F, Eisner MD, et al. Pulmonary Dead-Space Fraction as a Risk Factor for Death in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. 2002 Apr 25;346(17):1281–6.
96. Sinha P, Flower O, Soni N. Dead-space ventilation: a waste of breath! *Intensive Care Med*. 2011 May;37(5):735–46.
97. Dixon B, Campbell DJ, Santamaria JD. Elevated pulmonary dead space and coagulation abnormalities suggest lung microvascular thrombosis in patients undergoing cardiac surgery. *Intensive Care Med*. 2008 Jul;34(7):1216–23.
98. Hachenberg T, Tenling A, Nyström SO, Tyden H, Hedenstierna G. Ventilation-perfusion inequality in patients undergoing cardiac surgery. *Anesthesiology*. 1994 Mar;80(3):509–19.
99. Charron C, Repesse X, Bouferrache K, Bodson L, Castro S, Page B, et al. PaCO₂ and alveolar dead space are more relevant than PaO₂/FiO₂ ratio in monitoring the respiratory response to prone position in ARDS patients: a physiological study. *Crit Care Lond Engl*. 2011 Jul 25;15(4):R175.
100. Soro M, García-Pérez ML, Belda FJ, Ferrandis R, Aguilar G, Tusman G, et al. Effects of prone position on alveolar dead space and gas exchange during general anaesthesia in surgery of long duration. *Eur J Anaesthesiol*. 2007 May;24(5):431–7.

101. Seaton D, Lapp NL, Morgan WK. Effect of body position on gas exchange after thoracotomy. *Thorax*. 1979 Aug;34(4):518–22.
102. Roncada G, Dendale P, Linsen L, Hendriks M, Hansen D. Reduction in pulmonary function after CABG surgery is related to postoperative inflammation and hypercortisolemia. *Int J Clin Exp Med*. 2015 Jul 15;8(7):10938–46.
103. Stephens RS, Whitman GJR. Postoperative Critical Care of the Adult Cardiac Surgical Patient: Part II. *Crit Care Med*. 2015 Sep;43(9):1995–2014.
104. Jenkins SC, Soutar SA, Forsyth A, Keates JR, Moxham J. Lung function after coronary artery surgery using the internal mammary artery and the saphenous vein. *Thorax*. 1989 Mar;44(3):209–11.
105. Karanicolas PJ, Farrokhyar F, Bhandari M. Blinding: Who, what, when, why, how? *Can J Surg*. 2010 Oct;53(5):345–8.