

# **Cardiac Power Output og Stroke Work postoperativt etter hjertekirurgi**

Energileveranse fra hjertet det første døgnet postoperativt  
etter hjertekirurgi

*Hovedoppgave ved Det medisinske fakultetet, NTNU*

*Stud. med. Ksenia Shvets*

*Veiledere: Idar Kirkeby-Garstad og Nils Kristian Skjærvold*

*Trondheim, 2016*

# Innholdsfortegnelse

<b>SAMMENDRAG.....</b>	<b>3</b>
<b>INNLEDNING .....</b>	<b>5</b>
<b>MATERIALE OG METODE .....</b>	<b>7</b>
<b>RESULTATER .....</b>	<b>10</b>
<b>DISKUSJON.....</b>	<b>14</b>
<b>REFERANSER .....</b>	<b>18</b>

# Sammendrag

## Introduksjon

Cardiac power output (CPO) er tidsintegralet av hjerteminutt-volumet (CO) og middelarterie-trykk (MAP) og er et uttrykk for den samlede energileveransen fra hjertet. Stroke work (SW) er energileveransen per hjerteslag. Det finnes indikasjon for at CPO og SW kan være gode variabler for å vurdere hjertets kontraktile funksjon og er viktige prediktorer for pasientenes utkomme. Etter gjennomgått hjerteoperasjon er hjertefunksjonen nedsatt og den gjenopprettes gradvis. I denne studien vil vi se på hvordan energileveransen fra hjertet til sirkulasjonen henter seg inn igjen de første timene postoperativt etter hjertekirurgi.

## Materiale og metode

13 pasienter ble inkludert i denne retrospektive studien. En gruppe av pasientene hadde fått satt inn ny aortaventil (aorta valve replacement, AVR) mens en annen gruppe hadde fått utført kombinasjonsprosedyre med AVR og koronar by-pass (CABG). Forutsetning var at pasientene hadde et pulmonalarterie-kateter (PAC) innlagt med kontinuerlige målinger av (CO) og registreringer av variablene hver 15 minutt som videre ble registrert i PICIS. PICIS-datasett for hver enkel pasient ble hentet ut fra PICIS-databasen. Variablene ble bearbeidet og framstilt som tids-kurver laget med "RStudio".

## Resultater

Både CPO og SW var lave ved ankomst Thorax-kirurgisk intensiv, de begynte å stige i verdier og stabiliserte seg etter ca. 6 timer (360 minutter). CPO verdiene hentet seg igjen forttere enn SW. Kombi-opererte pasienter lå jevnt på et lavere nivå enn AVR-opererte pasienter, men begge grupper hentet seg like godt fra sin utgangsverdi i løpet av de første 6 timene postoperativt.

## **Diskusjon**

I denne studien finner vi at hjertefunksjonen i form av energileveranse til sirkulasjonen bedrer seg betydelig i løpet av ca. 6 timer. Bedringen skyldes trolig flere faktorer, først og fremst er myokard utsatt for en "stunning" etter kardioplegi og kirurgi som da går tilbake etter noe tid, en annen viktig faktor for bedret funksjon kan være stopp av kardiodepressiv sedasjon og ekstubasjon. At CPO er bedret til en stabil verdi etter noen timer betyr ikke nødvendigvis at hjertemuskelfunksjonen er normalisert da vi i denne studien ikke undersøkte pasientene preoperativt.

## Innledning

Under en hjerteoperasjon blir hjertets pumpefunksjon og lungenes tilførsel av oksygen til blodet overtatt av hjerte-lunge-maskin (cardiopulmonal bypass), mens hjertet blir stanset ved hjelp av kardioplegi. Kardioplegivæsken har som hensikt å stoppe hjertekontraksjonene og slik, ved kraftig reduksjon av myocyttenes metabolisme, begrense de skadelige effektene av ischemi. Ved ankomst Thorax-kirurgisk intensiv er hjertefunksjonen nedsatt (12, 16), trolig på grunn av muskulær "stunning" som følge av redusert oksygentilførsel til vevet under operasjonen. I tillegg er pasienten sedert og intubert i begynnelsen noe som også kan ha en negativ effekt på hjertefunksjon. I tidlig fase etter operasjonen får pasienten væsketilførsel intravenøst som muligens også kan bidra til bedring av hjertefunksjon sammen med avvikling av sedasjon og oppvåkning etter noen timer postoperativt.

Klinisk monitorering av hjertefunksjonen byr på praktiske og metodologiske utfordringer. Flere variabler som blodtrykk, hjerteminuttvolum (CO) og SvO<sub>2</sub> blir brukt under operasjoner og intensivbehandling for å overvåke hjerte-karsystemet (1, 6, 7, 9). Disse variablene er i større eller mindre grad avhengig av flere faktorer enn hjertemuskelfunksjon alene (3). Vurdering av den energien som overføres fra hjertet til sirkulasjonen i form av cardiac power output (CPO) kan være en bedre måte å se på hjertefunksjon på (1).

CPO beregnes som produkt av hjerteminutt-volum (CO) og middelarterietrykk (MAP). CPO er et mål for effekten, det vil si energien overført per tidsenhet (sekunder). Hvis man deler CPO på hjertefrekvensen, får man et uttrykk for energien i hvert hjerteslag, såkalt stroke work (SW). En non-invasiv metode er forsøkt til å beregne CPO og SW (3, 10), men man kan også monitorere hjertefunksjon hos hjerteopererte pasienter og hente ut variablene som er nødvendige til å beregne energien som hjertet overfører til sirkulasjonen fra et pulmonalarteriekateter (PAC)

innlagt (1, 2, 5). Tradisjonelt har man brukt pulmonalarteriekateter ved alle typer hjerte-kirurgi. Bruken av disse katetrene er i midlertidig forbundet med en viss risiko, og de brukes derfor kun hos kritisk syke pasienter nå (11).

I studien vår blir formålet å se på CPO og SW, og om de kan brukes til å vurdere hvordan hjertemuskelcellenes kontraktile funksjon henter seg inn igjen i løpet av det første døgnet etter hjertekirurgi.

## Materiale og metode

Ved St. Olavs Thorax-kirurgisk Intensiv blir alle variablene som brukes til klinisk måling av hjertefunksjon under hjerte-kirurgi og i den tidlige postoperative perioden lagt inn i Klinikkk for anesthesi og akuttmedisin sitt elektroniske anesthesi- og intensivjournalssystem PICIS. Variablene blir målt hver 15 minutt via et Vigilance PAC med kontinuerlig CO-målingene så lenge pasienten overvåkes på Thorax-kirurgisk Intensiv, som er totalt ca. 16 timer. Dette gjør at vi får et presist bilde av hvordan variablene endrer seg.

PICIS ble innført ved Thorax-kirurgisk Intensiv fra september 2012, det vil si at den hadde vært i bruk i 3 år da studien vår startet. Ved å gå gjennom PICIS registeret har vi funnet ut at i løpet av den tid er det totalt 215 pasienter som fikk innlagt PAC under hjertekirurgi ved St. Olav Hospital.

Pasientdata på de 215 pasienter ble hentet ut fra pasientjournaler i Doculive ved St. Olavs Hospital. Formålet var å sortere pasienter i grupper ut i fra: prosedyre som ble utført under hjertekirurgi, preoperativ ejsjonsfraksjon (EF), preoperativ pulmonal hypertensjon, atrieflimmer, reoperasjon i løpet av første døgn og væskebalanse første postoperative døgn. Pasienter med atrieflimmer, pulmonal hypertensjon og reoperasjon på grunn av postoperativ blødning ble ekskludert. Samtidig pasienter med akutte eller sjeldne prosedyrediagnoser ble også ekskludert. De pasienter vi sto igjen med ble inndelt i grupper. Inndelingen baserte seg på type kirurgi pasientene har gjennomgått, samtidig om preoperative EF var målt til over eller under 40 %.

Vårt endelig utvalg består av 13 pasienter som fordeler seg i 2 grupper:

- 1 gruppe består av 7 aortaklaff-opererte pasienter (AVR - aortic valve replacement) med EF over 40 %, hvorav 4 menn og 3 kvinner. Pasientene er i alderen 59 til 79 år, med en median alder på 74 år.
- 2 gruppe består av 6 kombi-opererte pasienter (kombinert kirurgi der AVR og coronary artery bypass grafting (CABG) utføres samtidig) med EF over 40 %, hvorav 4 menn og 2 kvinner. Pasientene er i alderen 71 til 86 år, med en median alder på 78 år.

Vår studie er en retrospektiv deskriptiv studie. Databasen vi bruker er anonymisert, og datakoden ligger på en mine-pinne innlåst på kontoret til overlege Idar Kirkeby-Garstad.

Prosjektet er godkjent av REC (Regional Ethics Committee).

Variablene vi har brukt til måling av hjertefunksjon:

- Cardiac Output (CO), det vil si hjerteminutt-volum, er det volumet som hjertet pumper ut per minutt. Måler samlet kardiovaskulær funksjon og er tradisjonelt mest brukt. Men er et usikkert mål på hjertemuskelcellenes kontraktilitet timene etter hjertekirurgi da CO avhenger både av preload og afterload, som begge kan være endret i den postoperative fasen, spesielt afterload på grunn av vasodilatasjon i kar. CO er avhengig av hjertefrekvensen (HR) som nesten alltid er endret (økt) etter cardiopulmonal bypass (13, 14), slik at CO som mål på hjertemuskelcellenes kontraktile funksjon blir enda mer usikker.
- Slagvolum (SV) er relativt frekvens uavhengig, men avhengig av både preload og afterload som begge kan være endret i den postoperative fasen.
- Cardiac Power Output (CPO) er den hydrauliske energien som overføres fra hjertet til sirkulasjonen per sekund, det vil si hjertets effekt.  $CPO = CO \text{ ganger middelarterietrykket}$



(MAP) delt på 451 (omregningsfaktor for å regne om fra minutter til sekund og fra mmHg til Pascal). CPO måles i watt (W). Ved normal hjertefunksjon i hvile er CPO ca 1 W. CPO er relativt uavhengig av afterload i den postoperative fasen, men er avhengig av preload og HR, der spesielt HR nesten alltid er økt etter cardiopulmonal bypass.

- Stroke Work (SW) er den hydrauliske energien som overføres fra hjertet til sirkulasjonen pr hjerteslag ( $SW = CPO \cdot 60 / HR$ ), det vil si utført arbeid i hvert hjerteslag. SW måles i joule (J). SW er avhengig av preload, men er relativt uavhengig av afterload og HR, noe som gir mindre feilkilder i den postoperative fasen.
- Oksygenmetning i blandet venøs blod ( $SvO_2$ ) er normalt ca. 75 %.  $O_2$ -metning er et mål for hvor stor andel av hemoglobin i blodets røde blodceller som har bundet til seg oksygen. Oksygenmetningen avhenger av oksygentrykket i blodet ( $PO_2$ ).  $SvO_2$  er et mål på balansen mellom  $O_2$  tilbudet og etterspørselen og er indirekte et mål på om CO er adekvat i forhold til pasientens metabolske behov.

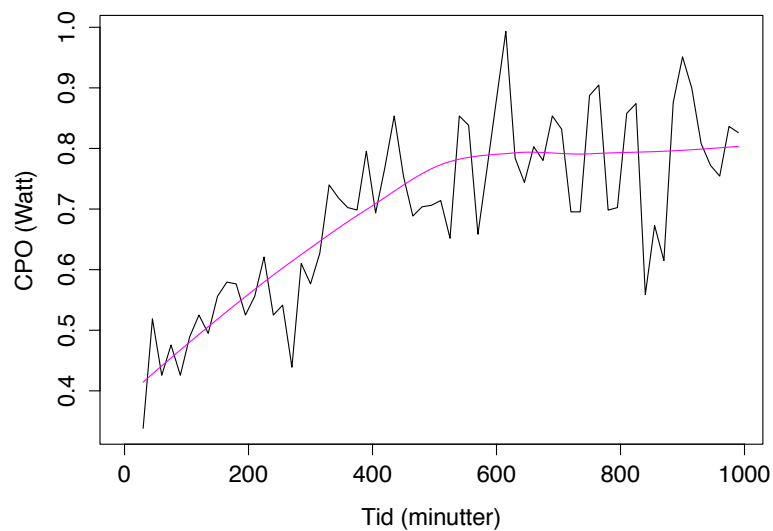
CO, SV og  $SvO_2$ , samtidig hjertefrekvens (HR) og middelarterietrykk (MAP) målingene med registreringer hver 15 minutt ble hentet ut fra PICIS-databasen som fulle PICIS-datasett, og CPO og SW ble enkelt kalkulert fra de for hver enkelt pasient.

Som en første eksplorativ undersøkelse har vi valgt å framstille resultatene for CPO og SW som tids-kurver laget ved bruk av "RStudio, version 0.99.482" som er en tilleggsprogram til "R, versjon 3.2.2". Målet var å se på eventuelle forskjeller på de 2 gruppene og intern variasjon i gruppene. På grunn av det lave antallet av pasienter i hver gruppe og de store individuelle forskjellene internt i gruppene vil vi forsøke å inkludere flere pasienter før vi gjør nærmere statistiske analyser.

## Resultater

CPO og SW ble kalkulert og framstilt grafisk for hver enkel av de 13 pasienter over 16 timer.

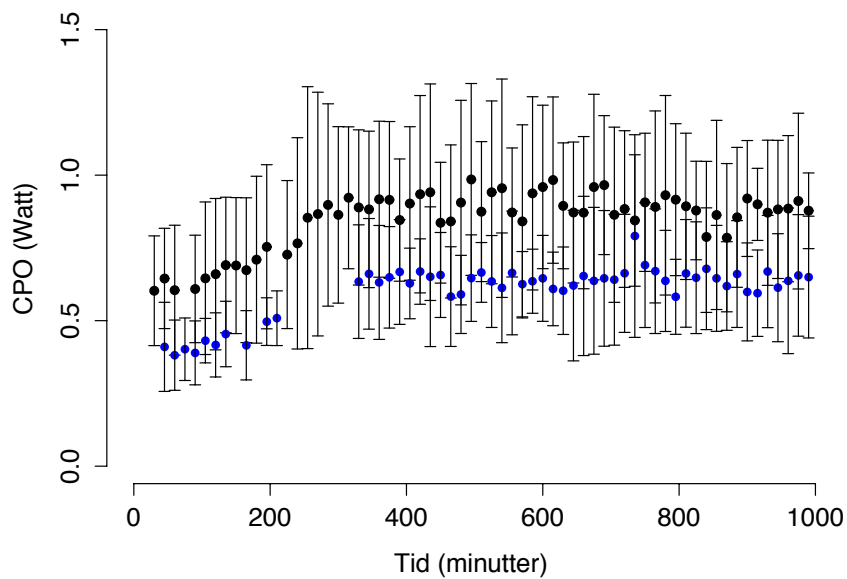
Grunnet registreringer hver 15 minutt fikk vi ca. 67 registreringer per pasient, og dermed totalt ca.  $(67 \times 13 = 871)$  871 registreringer av hver variabel. For å minimere svingninger i registreringer, som trolig skyldes fysiologiske oscillasjoner, valgte vi å glatte ut kurvene med "Loess-funksjon". Se eksempel i Figur 1.



**Figur 1**

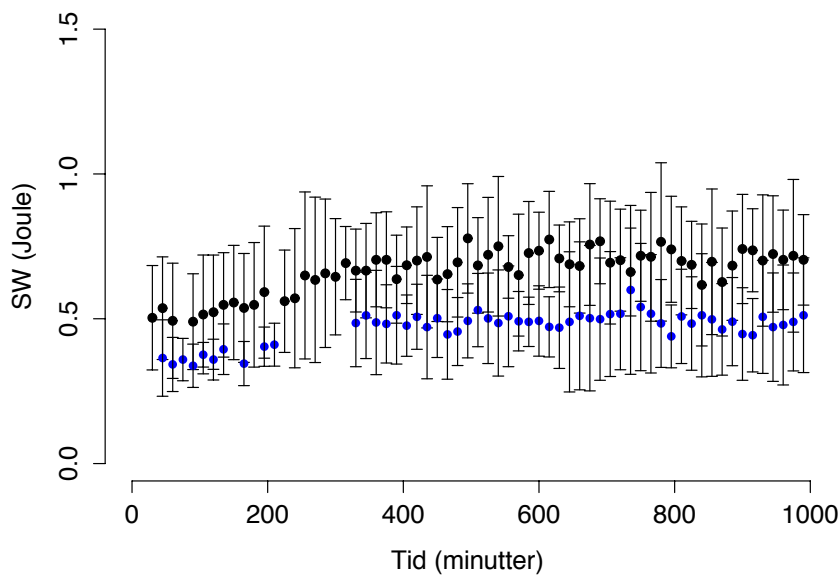
CPO for pasient nr. 3 over de første 16 timer på Thorax-kirurgisk Intensiv. Den svarte kurven er selve CPO kurven med grove oscillasjoner. Den lilla kurven er den samme CPO kurven som nå er glattet ut med "Loess-funksjon".

En annen måte å «glatte ut» svingningene i den enkelte pasienten på er ved å framstille data som gjennomsnittskurver for grupper av pasienter. Oscillasjonene bidrar til at spredningsmålene for slike kurver blir ganske vide.



**Figur 2**

De svarte prikkene representerer mean av CPO hos pasienter i gruppa 1 (AVR-opererte pasienter).  
 De blåe prikkene representerer mean av CPO hos pasienter i gruppa 2 (kombi-opererte pasienter).  
 Stolpene representerer respektive standard-avvik.



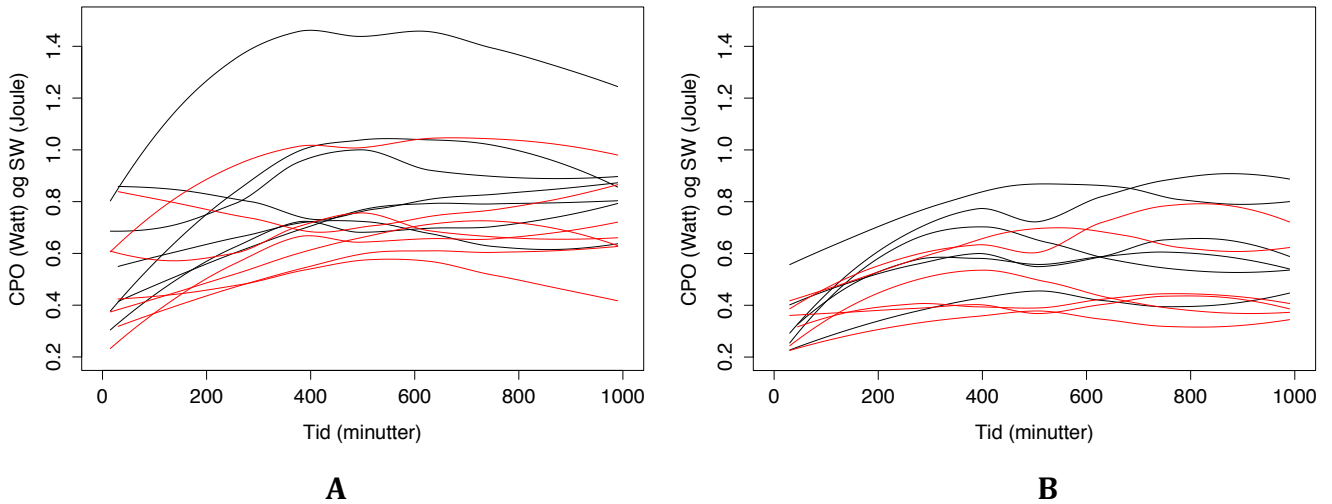
**Figur 3**

De svarte prikkene representerer mean av SW hos pasienter i gruppa 1 (AVR-opererte pasienter).  
 De blåe prikkene representerer mean av SW hos pasienter i gruppa 2 (kombi-opererte pasienter).  
 Stolpene representerer respektive standard-avvik.

Disse kurvene viser likevel tydelig at både CPO og SW holder seg lave ved ankomst intensiv, og i løpet av første postoperative døgn begynner begge å stige i verdiene. Figur 2 og 3 viser en generell gradvis økning av CPO og SW for begge grupper, og da særlig en avflating av kurvene uten mer økning etter 6 timer (360 minutter) på Thorax-kirurgisk Intensiv som kan tyde på at hjertemuskelfunksjon har hentet seg igjen her. CPO virker subnormal på første dags morgen. CPO henter seg igjen raskest, mens SW henger litt etter.

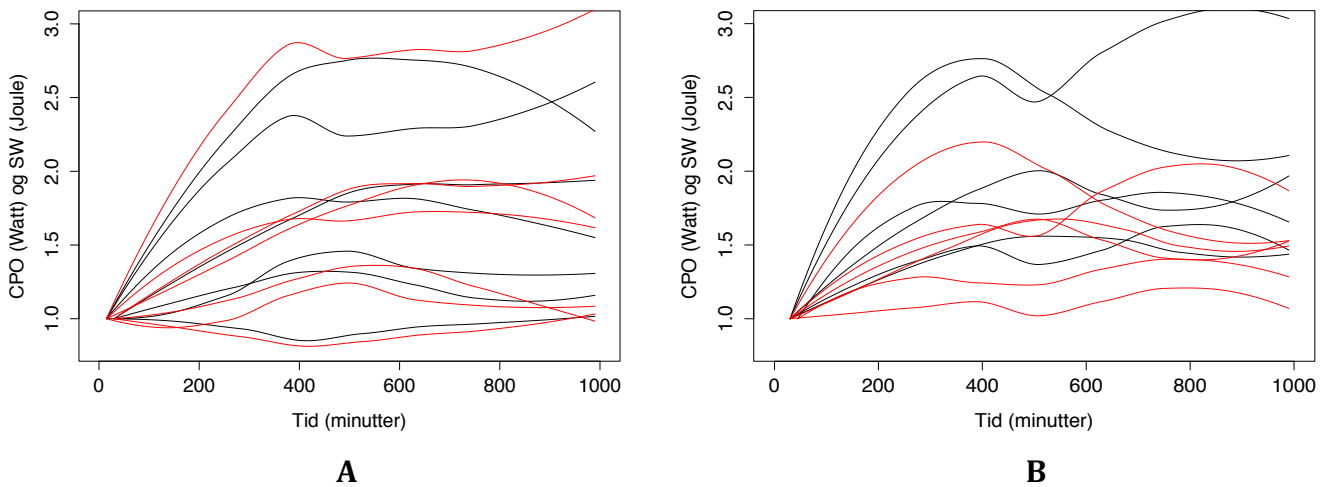
De 13 pasientene ble ekstubert i løpet av 165 min til 570 min etter at de ankom Thorax-kirurgisk Intensiv, med en median ekstubasjons-tidspunktet på 225 min (3 timer og 45 minutter). Det var ingen vesentlig forskjell for ekstubasjons-tidspunktet for de 2 gruppene. Power-kurvene (CPO og SW) har steget jevnt, ikke vist noe stor stepp ved ekstubasjon og har stabilisert seg en kort tid etter-på.

Ved å se på de 2 pasient gruppene hver for seg på Figur 4 ser vi at power-målingene alltid ligger høyest for AVR-opererte pasienter (Figur 4-A), mens power-målingene for kombi-opererte pasienter (Figur 4-B) ligger lavest under hele forløpet. Selv om kurven for kombi-opererte pasienter ligger jevnt på et lavere nivå, ser vi også her et knekkpunkt etter 6 timer og at power henter seg inn. For å illustrere dette enda bedre har vi utført en normalisering av CPO- og SW-kurver for de 2 pasient grupper hver for seg mot utgangsverdi 1 (100 %) som vist i Figur 5. Her beskriver kurvene en relativ endring av variablene fra sin utgangsverdi, og ikke kun endringen i absolutte tall. Og da ser pasientgrupper fra Figur 5-A og 5-B mer like ut. Vi ser tydelig at kombi-opererte pasienter henter seg like godt inn fra sin utgangsverdi som AVR-opererte pasienter.



**Figur 4**

Illustrerer forskjell for de 2 pasient gruppene. Figur 4-A viser endring i power hos AVR-opererte pasienter. Figur 4-B viser endring i power hos kombi-opererte pasienter. CPO som svarte kurver og SW som røde kurver etter glattning med "Loess-funksjon".



**Figur 5**

Illustrerer normalisering av "glattet" CPO og SW for de 2 pasient gruppene mot utgangsverdi 1. Figur 5-A representerer AVR-opererte pasienter. Figur 5-B representerer kombi-opererte pasienter. CPO som svarte kurver og SW som røde kurver.

## Diskusjon

Både CPO og SW var svært lave ved ankomst Thorax-kirurgisk Intensiv, først og fremst på grunn av "stunning" etter kirurgi og kardioplegi, men antagelig dels også som følge av at pasienten var i narkose, og begynte gradvis å hente seg igjen i løpet av de første timene postoperativt. Som studien vår viser har alle pasienter i snitt økt sin hjertemuskel-funksjon til et stabilt nivå i løpet av de første 6 timene. Det er flere faktorer som kan være med på å forklare den jevne bedringen av energileveransen fra hjertet til sirkulasjonen og en stabilisering etter ca. 6 timer. For det første har tiden etter operasjonen gått, slik at hjertets "stunning" kan ha gått tilbake samtidig med at sedasjonen som har en viss kardiodepressiv effekt er også slått av. I tidlig fase etter operasjonen ble pasienten stabilisert med væsketilførsel, dette har bidratt til å optimalisere preload og CO, og dermed hjertefunksjon. Selv om ekstubasjons-tidspunktet ikke har gitt en vesentlig endring på power-kurver, vet vi at trykket fra respiratoren påvirker sirkulasjonen på en negativ måte (20, 21). Selve overføringen av pasienten fra intubert til ekstubert tilstand er med på å forbedre den generelle sirkulasjonen og den sentrale hemodynamikken. 10 av 13 pasienter ble ekstubert før det har gått 6 timer siden de ankom Thorax-kirurgisk Intensiv.

CPO verdiene er avhengig av hjertefrekvens og stiger derfor forttere enn SW, og ser til å være normale dagen postoperativt, mens SW henger etter. Dette kan forklares blant annet med at HR nesten alltid øker etter hjertekirurgi (13, 14) med cardiopulmonal bypass. Den postoperative tachycardien kan være en kompensasjonsmekanisme for å opprettholde CPO, opprettholde energilevering fra hjertet til sirkulasjonen per tidsenhet, mens selve energilevering per hjerteslag (SW) kan trenge lengere tid for å hente seg igjen til referanseverdiene.

Dermed vil normalisering av CPO på første postoperative dags morgen ikke nødvendigvis bety at hjertemuskelfunksjonen er normalisert. Den hydrauliske energien som overføres fra hjertet til sirkulasjonen, og dermed den energien som brukes til å transportere blodet ut til cellene i

kroppen er normalisert, mens hjertemuskelcellenes arbeid per hjerteslag er fremdeles redusert. Derfor vil SW kanskje være et bedre mål her for å vurdere hjertemuskelcellenes funksjon timene postoperativt etter hjertekirurgi.

Til tross for at cardiac power (PWR) har hentet seg inn vesentlig hos alle pasienter i løpet av de første 6 timene, så vi at de 2 pasient gruppene skilte seg fra hverandre. CPO og SW målingene for kombi-opererte pasienter lå jevnt på et lavere nivå enn hva power-målingene for AVR-opererte pasienter gjorde. Men dette kan samsvare godt med pasientens kliniske bilde. Pasienter som blir vurdert for å utføre kombinert hjerte-kirurgi har større grad av hjertesykdom i utgangspunktet. Dette kan bidra til at disse pasientene tåler ischemien under hjerteoperasjonen dårligere. Selve operasjonstiden for kombinert kirurgi der AVR og coronary artery bypass grafting (CABG) utføres samtidig tar også noe lengere tid enn hva en AVR-operasjon alene gjør. Hjertemuskelen hos kombi-opererte pasienter må derfor tåle en lengere periode med iskemi (16). Følgelig har kombi-opererte pasienter en hjertemuskel som har en større ischemisk belastning, er mer "stunnet" og trenger sannsynligvis en lengere tid for å hente seg inn til referanseverdiene, og klarer kanskje heller ikke å hente seg igjen helt i løpet av det første postoperative døgnet.

Selv om blodtrykk og CO (cardiac output) fremdeles er mest brukt i klinikken i dag, finnes det indikasjoner på at CPO kan være et enda bedre mål for å vurdere sirkulatorisk status hos kritisk syke pasienter. CPO korrelerte godt med utkomme for akutt kardiogent sjokk (1, 2, 4), kronisk hjertesvikt (3, 5) og flere andre kardielle tilstander. Det er imidlertid gjort få studier der en vurderer CPO rett etter en gjennomgått hjerteoperasjon med bruk av cardiopulmonal bypass. Hjertemuskelen må tåle perioder med ischemi og reperfusjon under den type kirurgi, og tiltros for den medikamentelle beskyttelsen som blir iverksatt vil myocardielle kontraktile dysfunksjon være en hyppig komplikasjon(16). Dermed får pasienten en midlertidig svekket hjertemuskelfunksjon.

Eneste studie jeg har støttet på som beskriver målinger av cardiac power første timene postoperativt etter hjertekirurgi er studien til L. Tritapepe fra 2009 (Referanse nr 16). I studien sin beskriver han bruk av levosimendan på CABG-opererte pasienter for å se om dette kan gi postoperativ bedring i hjertefunksjon, øke cardiac power og gi en kortere tid på respirator. Pasientene i studien til Tritapepe var omtrent like gamle som våre pasienter, samtidig hadde de også en bra preoperativ EF og EuroSCORE. Pasienter som er vurdert for CABG-kirurgi er noe sykere enn pasienter som er vurdert for AVR-kirurgi og friskere enn pasienter som er vurdert for kombinert-kirurgi i utgangspunktet. I tillegg til operasjonstype, er det også tiden på respirator som skiller studien hans fra vår. I studien til Tritapepe ble pasientene ekstubert ca. 11-13 timer postoperativt, mens våre pasienter ble ekstubert ca. 3-5 timer postoperativt. For å måle energien som hjertet lever til sirkulasjonen brukte han cardiac power indeks (CPI) i resultatene sine.  $CPI = CPO / BSA$  (Body Surface Area som er ca. 2 m<sup>2</sup>). I studien hans var CPI hos pasienter som fikk forbehandling med levosimendan målt til 0.5 watt 24 timer postoperativt, mens placebo-gruppa hans lå på 0.4 watt 24 timer postoperativt. Om vi regner CPI resultatene hans om til CPO vil dette tilsvare 1 watt for de som fikk forbehandling med levosimendan og 0.8 watt for placebo gruppa. Studien vår er i utgangspunktet ikke sammenlignbar mot studien til Tritapepe grunnen noe ulike pasientgrupper og ulik formål ved studie. Men det kan se ut som om resultatene våre om PWR samsværer godt med resultatene han fikk i studien sin.

Studien vår er en retrospektiv deskriptiv studie med et begrenset antall pasienter så langt. Grunnen til at det ble kun 13 pasienter igjen av 215, er at det var så mange som falt utenfor de kriteriene vi hadde laget om hvordan vårt endelig pasientutvalget skulle se ut. Det er mange pasienter som ble ekskludert ut i fra operasjonstype og pre- og postoperative hendelser.

Vi kan også merke oss at spredning i variablene og målingene fra pasient til pasient var store. Dette kan forklares blant annet ut i fra individuelle forskjeller, særlig når vi ikke kjenner til pasientenes cardiac power målingene preoperativt da de ikke var undersøkt for det.



CPO er for eksempel i utgangspunktet noe lavere hos kvinner og reduseres naturlig med økende alder (1, 5). Også selv om en av kriteriene våre var at pasientenes preoperative EF skulle være over 40 %, er det kun de dårligste pasientene som får innlagt PAC under hjertekirurgi nå. Dermed er pasientene som er med i studien vår er ekstra syke i utgangspunktet.

## **Konklusjon**

Studien har vist at CPO og SW kan brukes til å vurdere hvordan hjertemuskelcellenes kontraktile funksjon bedrer seg det første døgnet etter hjertekirurgi. CPO vil være best til å vurdere leveransen av den hydrauliske energien fra hjertemuskulaturen til sirkulasjon per tidsenhet. Mens SW kan være et bedre mål på å vurdere hjertemuskelcellenes kontraktile funksjon.

## Referanser

1. Rupert Fincke, Judith S. Hochman, April M- Lowe, Venu Menon, James N. Slater, John G. Webb, Thierry H. Lejemtel, Gad Cotter. Cardiac Power is the strongest Hemodynamic correlate of mortality in cardiogenic shock: A report from the SHOCH trial registry. *Jornal of American College of Cardiologi* 2004, 21;44(2):340-8
2. Dorinna D. Mendoza, Howard A. Cooper, Julio A. Panza. Cardiac power output predicts mortality across a broad spectrum of patients with acute cardiac disease. *American Heart Journal* 2007, 153(3):366-70
3. S. G. Williams, G. A. Cooke, D. J. Wright, W. J. Parsons, R. L. Riley, P. Marshall, L-B. Tan. Peak exercise cardiac power output, A direct indicator of cardiac function strongly predictive of prognosis in chronic heart failure. *European Heart Journal* 2001, 22(16):1496-503
4. Heiner Post, Michael Schwarzl, Paul Steendijk, Stefan Huber, Heinrich Maechler, Burkert Pieske. Abstract P111: Cardiac power output accurately reflects cardiac stroke work over a wide range of inotropic states. *American Heart Association* 2009;120:S1465
5. Gad Cotter, Simon G. Williams, Zvi Vered, Lip Bun Tan. Role of cardiac power in heart failure. *Current Opinion in Cardiology* 2003, 18:215-222
6. Pølønen P., Hippelainen M., Takala R., Ruokonen E., Takala J. Relationship between intra- and postoperative oxygen transport and prolonged intensive care after cardiac surgery: a prospective study. *Acta Anaesthesiol Scand* 1997, 41(7):810-7
7. Pølønen P., Ruokonen E., Hippelainen M., Pøyhønen M., Takala J. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac patients. *Anesth Analg* 2000 90(5):1052-9
8. Audun E. Rimehaug, Oddveig Lyng, Dag O. Nordhaug, Lasse Løvstakken, Petter Aadahl, Idar Kirkeby-Garstad. Cardiac power integral: a new method for monitoring cardiovascular performance. *Physiological Reports* 2013, 1(6):e00159. doi: 10.1002/phy2.159
9. Connors AF Jr., Speroff T, Dawson NV, et al., for the SUPPORT Investigators. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA* 1996;276:889-97
10. Cooke GA, Marshall P, Al-Timman JK, Wright DJ, Riley R, Tan LB. Physiological cardiac reserve; development of a non-invasive method and first estimates in man. *Heart* 1998; 79: 289-94

11. Jean-Louis Vincent. The pulmonary artery catheter. *J Clin Monit Comput* 2012, 26:341-345
12. De Hert S, Moerman A. Myocardial injury and protection related to cardiopulmonary bypass. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2015, 29(2):137-149
13. Chung MK. Cardiac surgery: postoperative arrhythmias. *Crit Care Med* 2000, 28(10):136-144
14. Mitchell LB, Crystal E, Heilbron B, Pagé P. Atrial fibrillation following cardiac surgery. *Can J Cardiol* 2005, 21(B):45-50
15. Kjetså E, Skjaervold NK, Skogvoll E, Kirkeby-Garstad I. Synchronizing thermodilution cardiac output measurements with spontaneous breathing does not improve precision. *Acta Anaesthesiol Scand* 2015, doi: 10.1111/aas.12650
16. L. Tritapepe, V. De Santis, D. Vitale, F. Guarracino, F. Pellegrini, P. Pietropaoli, M. Singer. Levosimendan pre-treatment improves outcomes in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *British Journal of Anaesthesia* 2009, 102(2):198-204
17. Cohen-Solal A, Tabet JY, Logeart D, Bourgoin P, Tokmakova M, Dahan M. A non-invasively determined surrogate of cardiac power ('circulatory power') at peak exercise is a powerful prognostic factor in chronic heart failure. *European Heart Journal* 2002, 23, 806-814
18. Schmidt C, Roosens C, Struys M, Deryck YL, Van Nooten G, Colardyn F, Van Aken H, Poelaert JI. Contractility in humans after coronary artery surgery. *Anesthesiology* 1999, 91(1):58-70
19. Borlaug BA, Kass DA. Invasive hemodynamic assessment in heart failure. *Cardiol Clin* 2011, 29(2):269-80
20. Goodwin MJ, Bissett L, Mason P, Kates R, Weber J. Early extubation and early activity after open heart surgery. *Crit Care Nurse* 1999, 19(5):18-26
21. Fitch ZW, Debesa O, Ohkuma R, Duquaine D, Steppan J, Schneider EB, Whitman GJ. A protocol-driven approach to early extubation after heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014, 147(4):1344-50