

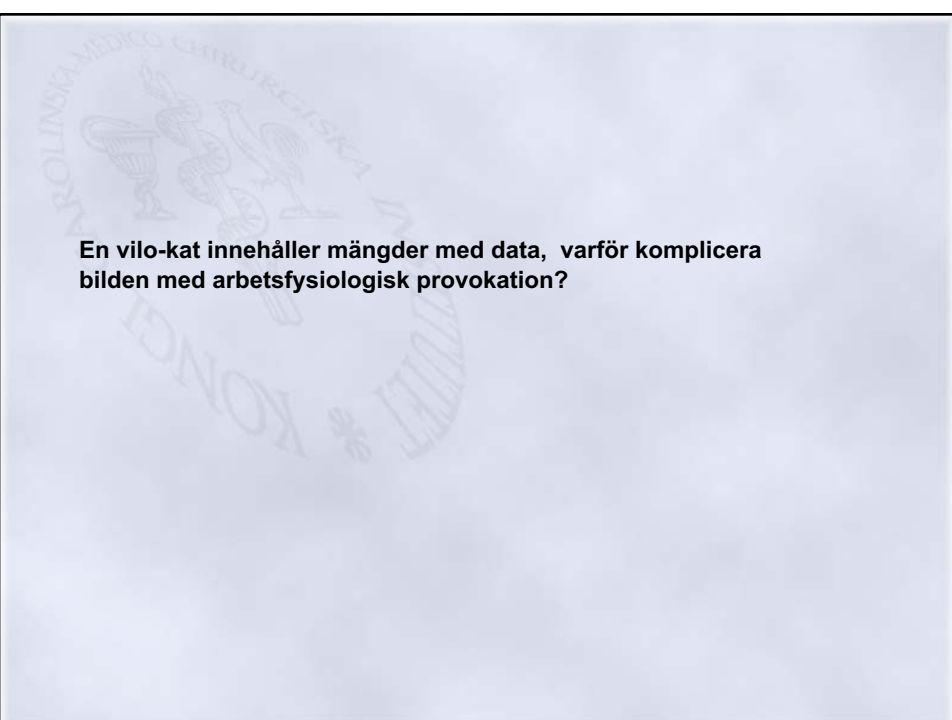


Invasiv ergospirometri

Eric Rullman

eric.rullman@ki.se

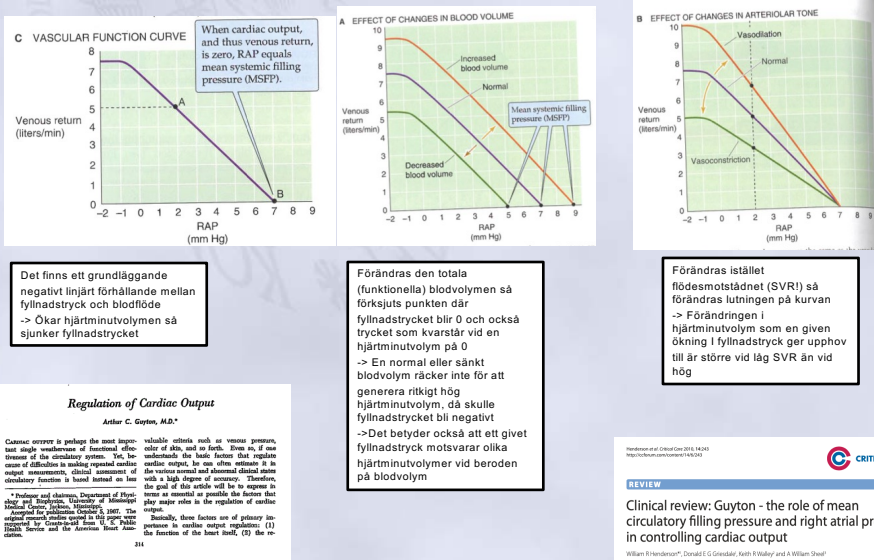
1



En vilo-kat innehåller mängder med data, varför komplicera bilden med arbetsfysiologisk provokation?

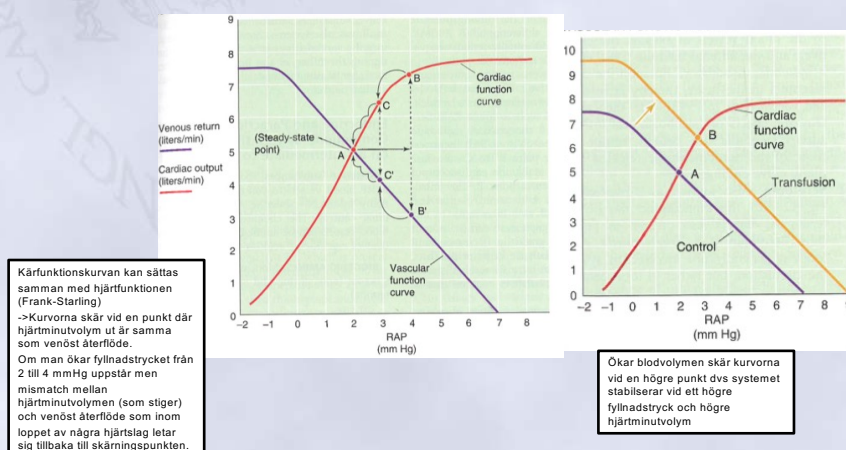
2

Guytons RAP/CO-modeller – tryck och flöden är direkt beroende



3

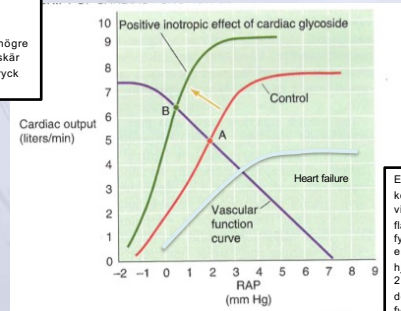
Guytons RAP/CO-modeller – ett verktyg för att förstå fylnadstryck och och hjärtminutvolym



4

Guytons RAP/CO-modeller – ett verktyg för att förstå fyllnadstryck och hjärtminutvolym

Förändras hjärtats inotropa egenskaper (läkemedel, fysisk arbete) förändras lutningen på hjärtfunktionen – samma fyllnadstryck ger då upphov till högre hjärtminutvolym och kurvorna skär varandra vid ett lägre fyllnadstryck OCH högre hjärtminutvolym.



Patienten ovan uppnår en hjärtminutvolym om 3,5 liter (normal) vid ett RA-tryck om 3-4 mmHg (normalt). En ökning av fyllnadstrycket eller en volymsbelastning skulle däremot inte generera någon nämnvärd ökning av hjärtminutvolymen

Ett sviktande hjärta innefattar två komponenter – 1. Lägre inotropi vilket gör hjärtfunktionskurvan flackare (en given ökning av fyllnadstrycket ger därför upphov till en mindre ökning av hjärtminutvolymen). 2. Tidigare avflackning av kurvan i.e den punkt där ökning av fyllnadstrycket inte längre ger upphov till någon ökning av hjärtminutvolymen alls. Detta beror av olika grad av restriktiv fyllnad, volymsbelastning och interdependence

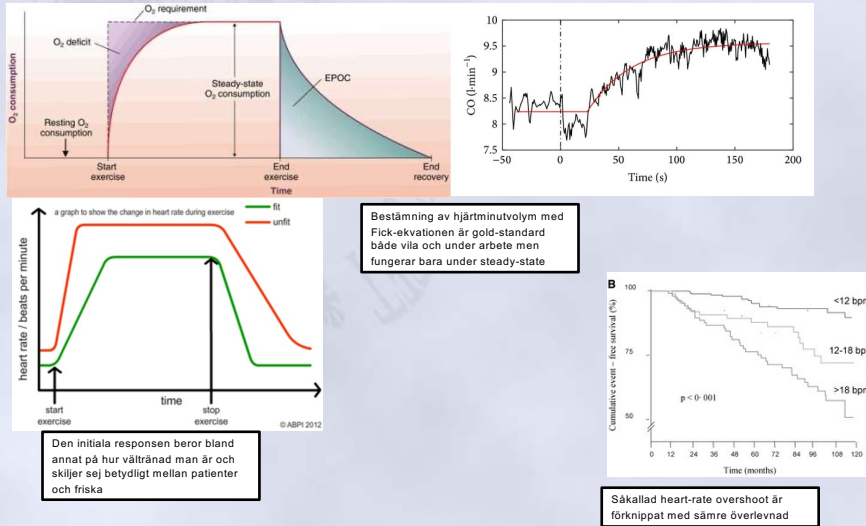
5

Om man bara mäter tryck och flöde vid **en punkt** kan man inte särskilja hjärt- ifrån kärlfunktion och cirkulerande volym – vi måste alltså hitta ett sätt att manipulera tryck och flöde så att vi kan placera patienten (eller hens hjärta) på rätt kurva.

- Fysiskt arbete är den manipulation som ger störst påverkan på både tryck och flöden

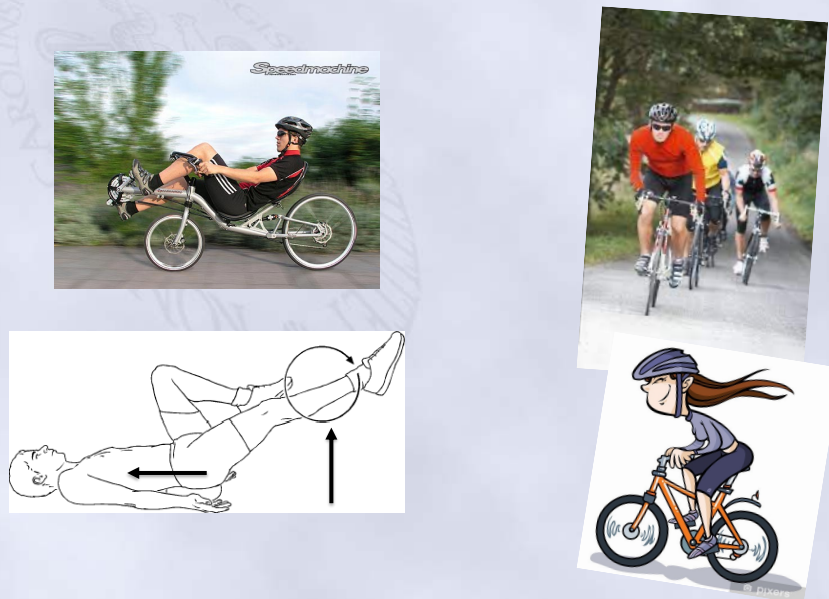
6

Fysiskt arbete förändrar tryck och flöden på ett linjärt och reproducerbart sätt - åtminstone vid steady state



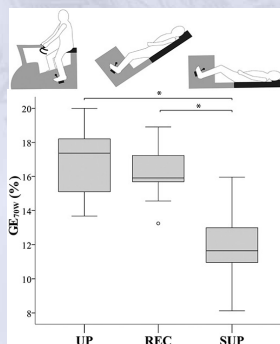
7

Sittande vs liggande cykel i labbet – hur cyklar du?



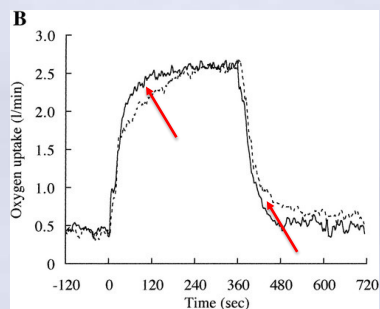
8

Liggande versus sittande cykling – fysiologiskt delvis olika



Mekanisk verkningsgrad vid cykling i olika positioner

Acta physiol. scand. 1968. 49. 279-287
From the Department of Clinical Physiology, Karolinska Spital and the Laboratory of Clinical Physiology, Thoracic Clinic, Karolinska Spital, Stockholm, Sweden
The Effect of Body Position on the Circulation at Rest and During Exercise, with Special Reference to the Influence on the Stroke Volume
By
S. BAVENSHAW, A. HÖRANAN, and B. JONSSON
Received 15 February 1968



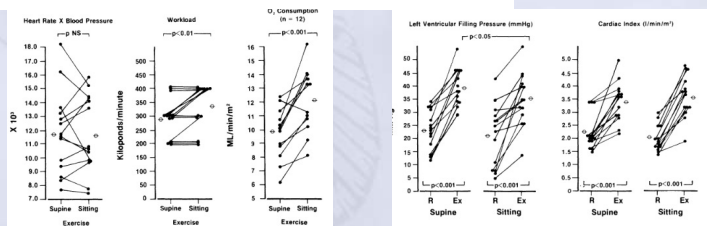
Response of $\dot{V}O_2$ for transition from unloaded cycling to moderate exercise (A) and heavy exercise (B) in representative subject under conditions of upright (solid lines) and supine position (dashed lines). During moderate exercise, $\dot{V}O_2$ kinetics were slower in supine position.

9

Liggande versus sittande cykling – patientdata

Hemodynamic Differences Between Supine and Upright Exercise in Patients with Congestive Heart Failure

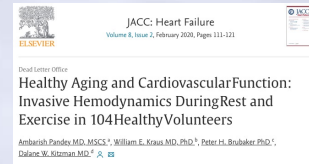
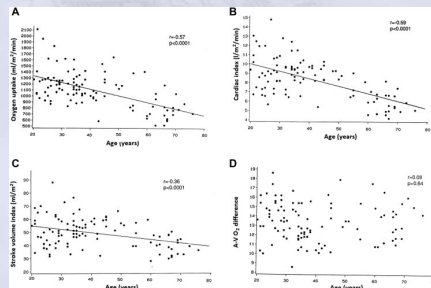
BARRY KRAMER, M.D., BARRY MASSIE, M.D., AND NINA TOPIC, R.N.



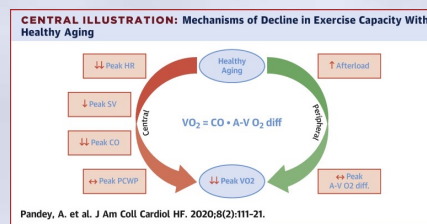
Studier på unga friska indikerar att Q_{max} , W_{max} och VO_{2max} inte påverkas signifikant av position men data på patienter visar att många uppnår lite högre arbetsförmåga och som en följd därav av också lite högre Q_{max} och peak VO_2

10

Invasiv ergo – ett mindre normaldataset finns sedan 2020

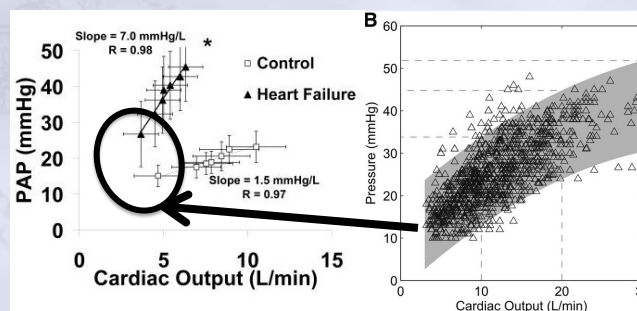


Stämmer väl med andra referensmaterial, viktigaste bidraget är AV-differensdata



11

Invasiv ergo – varför vill man mäta tryck och flöden under arbete?



- Både PA-tryck och LVEDP varierar väldigt mycket i vila och även om genomsnittet skiljer stort mellan pt och kontroller så finns det gott om friska med höga tryck i vila
- Överlappen i Q är ännu större – vilomätningar av Q har därigenom tveksamt värde

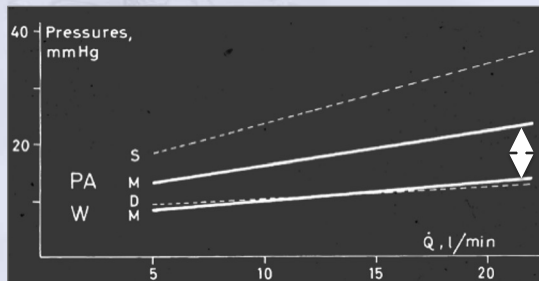
Pulmonary Vascular Response Patterns During Exercise in Left Ventricular Systolic Dysfunction Predict Exercise Capacity and Outcomes

Gregory D. Lewis, MD¹, Ryan M. Murphy, BA¹, Ravi V. Shah, MD¹, Paul P. Pappagianopoulos, MEd¹, Rajeev Malhotra, MD¹, Kenneth D. Bloch, MD^{1,2}, David M. Systrom, MD¹, and Marc J. Semigran, MD¹

¹Cardiology Division, at Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA 02114

15

Invasiv ergo – varför är tryck-flödes-sloper så bra?



Transpulmonella gradienten (TPG)
– konstant men individberoende

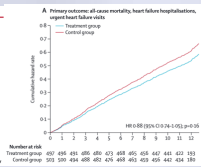
Hjärtminutvolym vs PA-tryck (systoliskt, diastoliskt och medel) samt wedge-tryck

PA-tryck (särskilt i diastole) överensstämmer väl med PAWP/LVEDP och TPG är oftast relativt konstant så en förändring i PA-tryck == förändring i LVEDP

Haemodynamic-guided management of heart failure (GUIDE-HF): a randomised controlled trial

Johns J, Landerholm, Michael D, et al. *Journal of the American Medical Association*. 2016;315(18):2101-2110. doi:10.1001/jama.2016.0351

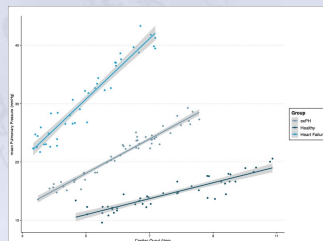
Summary
Background Previous studies have suggested that haemodynamic-guided management using an implantable pulmonary artery pressure monitor reduces heart failure hospitalizations in patients with moderately symptomatic (New York Heart Association NYHA functional class III) chronic heart failure and a hospitalization in the past year, irrespective of ejection fraction. It is unclear if these benefits extend to patients with mild (NYHA functional class II) or severe (NYHA functional class IV) symptoms of heart failure or to patients with elevated systolic blood pressure without a recent heart failure hospitalization. This trial was designed to evaluate whether haemodynamic-guided management reduces mortality, morbidity, or resource use in patients with heart failure, systolic blood pressure <180 mmHg, and no recent heart failure hospitalization.



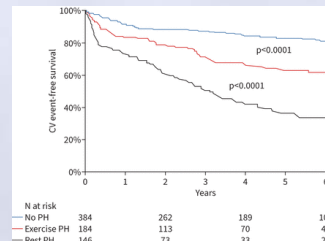
PA-trycksmonitorering –
CardioMems –
mätningen går bra,
utfallet ~~er~~ lovande

16

Invasiv ergo – varför är tryck-flödes-sloper så bra?



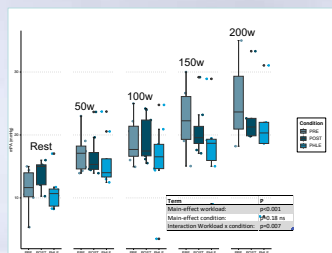
Trycket i stiger direkt proportionellt mot flödet men förändring i flöde men lutningen är individberoende och förändras dramatiskt vid sjukdomar som involverar lungcirkulationen



Updated definition of exercise pulmonary hypertension

DOI: <https://doi.org/10.1183/20734735.0232-2022>

PH redan i vila är farligt men även om trycket är normalt i vila kan det stiga för brant vid arbete – också prognostiskt ogynnsamt

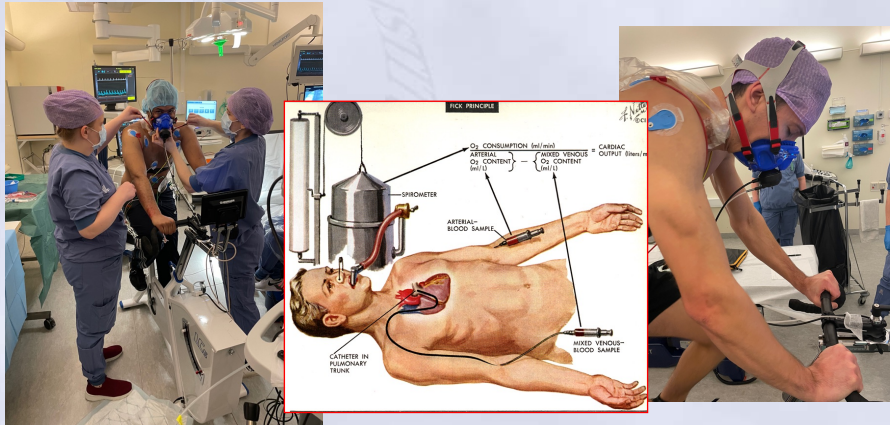


PA-tryck sittande i vila, vid submaximala belastningar och vid VO2max
Linjär ökning i proportion till belastning
Efter ett träningsprogram sjunker trycken vid samma arbetsbelastning – flebotomi sänker trycken i vila men inte vid arbete

17

Invasive cardiopulmonary exercise testing.

Integrerad bedömning av arbetsförmåga och tryck-flödesförhållanden?
Ett sätt att närma sig end-diastolic pressure volume relationship?



18

Invasiv ergo – när ska man göra det?

ESC
European Society of Cardiology
Position Paper
Exercise testing in heart failure with preserved ejection fraction: an appraisal through diagnosis, pathophysiology and therapy – A clinical consensus statement of the Heart Failure Association and European Association of Preventive Cardiology of the European Society of Cardiology
Marco Guazzi^{1,2}, Matthew Wilson³, Martin Halle^{4,5}, Ewelina Yan-Casasnovas^{6,7}, Harald Kemp^{8,9}, Rüdiger A. de Boer¹⁰, Andrew J.S. Coats¹¹

Table 1 (Continued)

Variable	Cut-off	Interpretation
Risk stratification		
VO ₂ peak (ml/kg/min)	<14	Predicts higher risk of HF hospitalization and the composite outcome of all-cause death, LVAD implantation, or heart transplantation, in particular when combined with VE/VCO ₂ slope >30 ¹⁰⁸
VE/VCO ₂ slope	>30	Predicts higher risk of HF hospitalization and the composite outcome of all-cause death, LVAD implantation, or heart transplantation, in particular when combined with VO ₂ peak <14 ml/kg/min ¹⁰⁸
EOV	Present	Predicts higher risk of CV death ¹²¹
HRR at 1 min (bpm)	<12 decrease	Predicts higher risk of the composite outcome of CV death, HF hospitalization, or abnormal resting PCWP on future right heart catheterization ¹¹¹
PCWPI/CO slope (mmHg/L/min) ³	>2	Predicts higher risk of all-cause mortality, independently of baseline PCWP ¹⁰⁵
PCWPI/workload/kg (mmHg/W/kg) ³	>25.5	Predicts higher risk of all-cause mortality, independently of baseline PCWP ¹⁰⁵
PAP/CO slope (mmHg/L/min) ³	>3	Predicts higher risk of first HF hospitalization or all-cause mortality, both in patients with or without resting PH ^{104,102}

Förs fram som 'should be considered' i vissa position-papers
MEN
Finns inga end-point studier
Inga utrednings-guidelines

ACTA CARDIOLOGICA
Review Article
The role of invasive cardiopulmonary exercise testing in patients with unexplained dyspnea: a systematic review
Leif Behrns¹, Maria Barrios-Lara², Michael Fetscher³, Benjamin Loubert⁴ and Michel Bevilacqua⁵

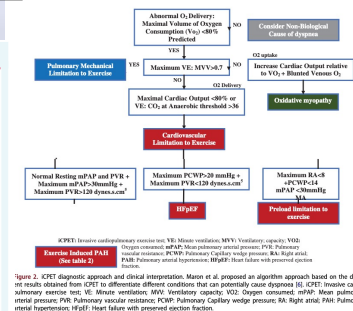


Table 3. Causes of limitation to exercise supported by iCPET.

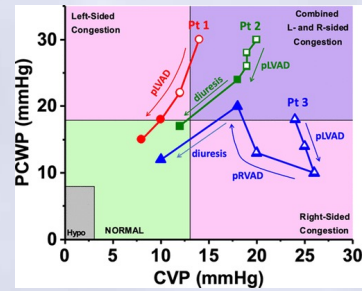
Cardiovascular	Pulmonary	Oxidative myopathy	Non-biological
Exercise-induced PAH	Restrictive lung disease	Mitochondrial disorders	Deconditioning
Exercise-induced HFpEF	Obstructive lung disease	Inborn error of metabolism	
Preload limitation to exercise (Dysautonomia)	Chest wall deformities		

HFpEF: Heart Failure with Preserved Ejection Fraction; PAH: Pulmonary Arterial Hypertension; iCPET: Invasive Cardiopulmonary Exercise Test.

19

Är Gyutons kurvor tillämpbara (och användbara) vid svår svikt och kardiogen chock?

- Ja!
- I första hand som modell för att förstå och integrera kärlsystemet (blodvolym, SVR), fyllnadstryck och hjärtminutvolym
 - Ökad inotropi vid normala eller låga fyllnadstryck
 - Ökning av systemtryck (fyllnad) vid normal respektive sänkt kontraktil reserv (fluid responsiveness)
 - Förstå effekten av vasoaktiva läkemedel
- Vid uttalad svikt och chock (från stadium A och uppåt) kompliceras modellen och man får I ökande grad nytta av data på både höger och vänsterkammare.



Circulation
Volume 141, Number 14, 7 April 2020; Pages 1184-1187
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042002>

WHITE PAPER

Value of Hemodynamic Monitoring in Patients With Cardiogenic Shock Undergoing Mechanical Circulatory Support

Ashwin Sarna, MD, A. Reshad Garan, MD, Navin K. Kapur, MD, William W. O'Neill, MD, JoAnn Lindenfeld, MD, Sean P. Floney, MD, Nir Unsel, MD, Daniel Bunkhoff, MD, PhD, and Morton Kern, MD