

# 循環動態アカデミー Winter Camp 2024

～循環動態で攻める！ 心不全 Case conference～

**Basic Pavilion**

## 前負荷、循環平衡

国立循環器病研究センター  
循環動態制御部 佐藤啓

# 本日の内容

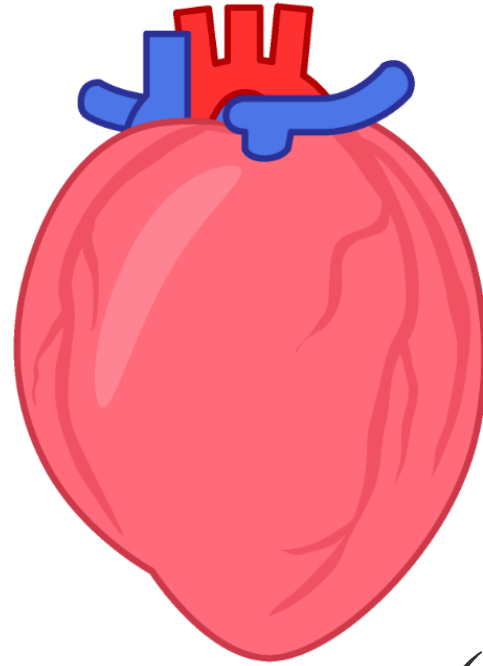
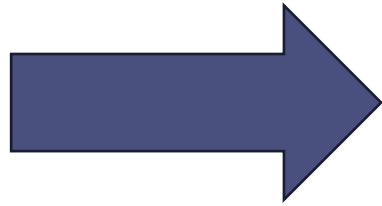
---

- 前負荷とは？
- 前負荷はどうやって決まる？（循環平衡）
- Stressed blood volume（負荷血液量）とは？
- Stressed blood volumeと心不全
- 静脈還流“平面”とは？

# 前負荷・・・そもそも何の前？

---

前

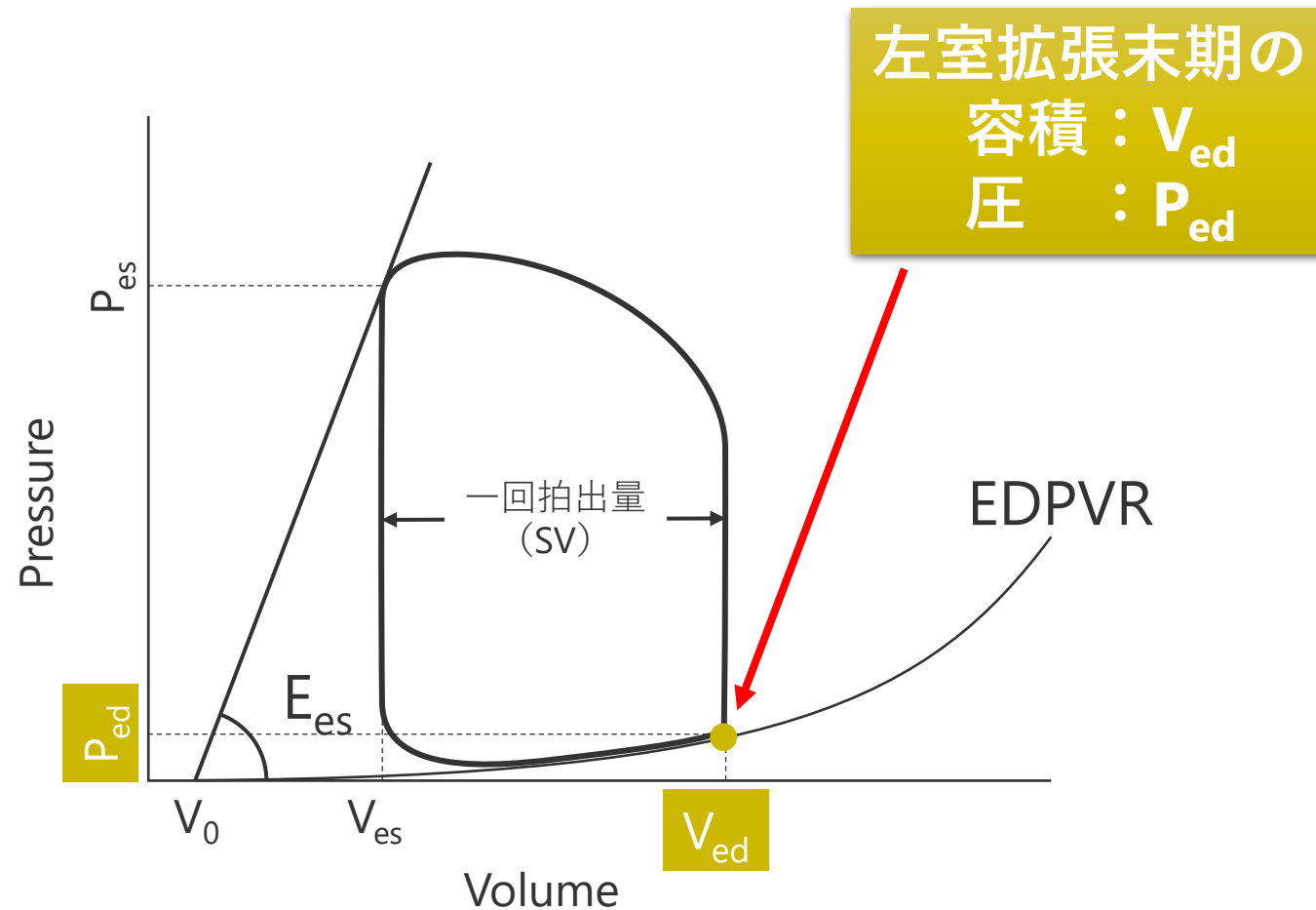


後

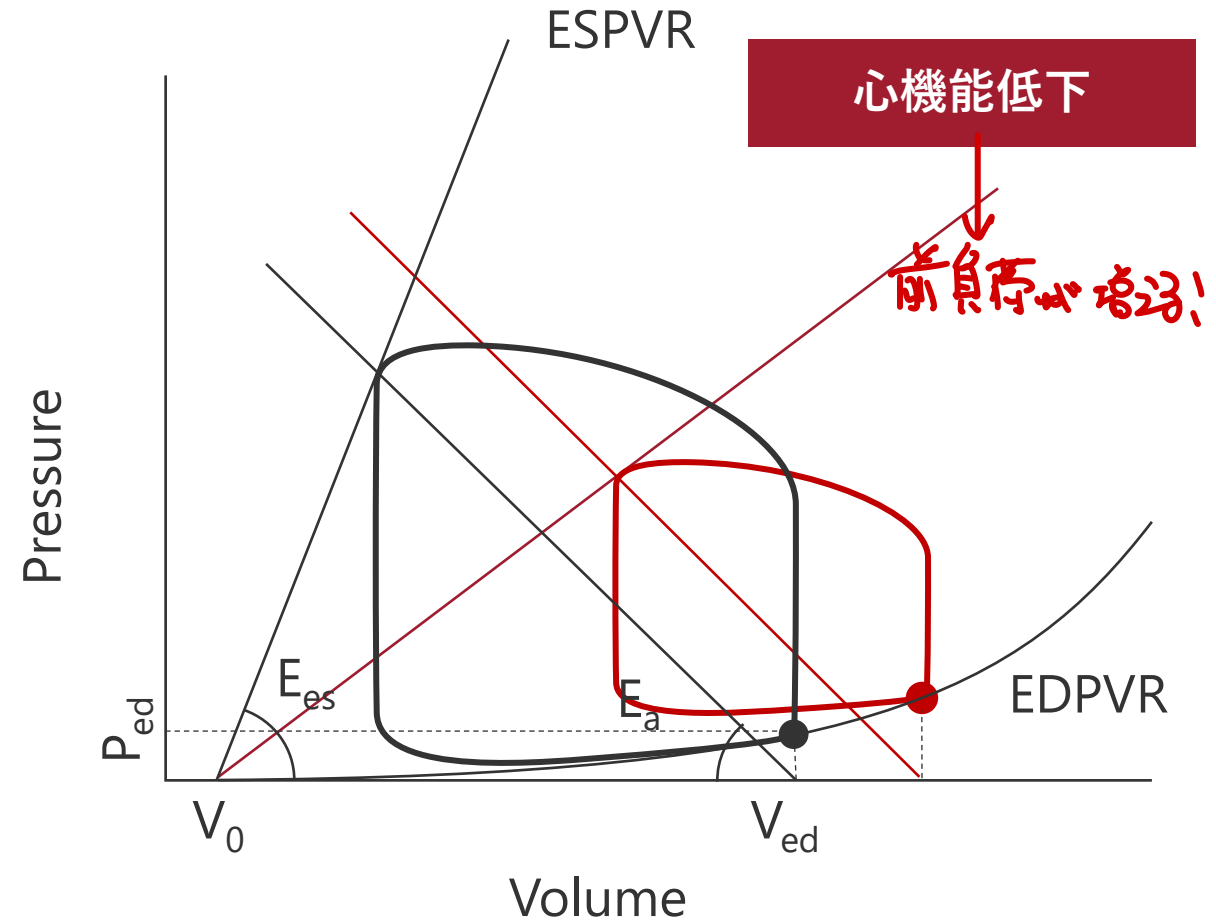
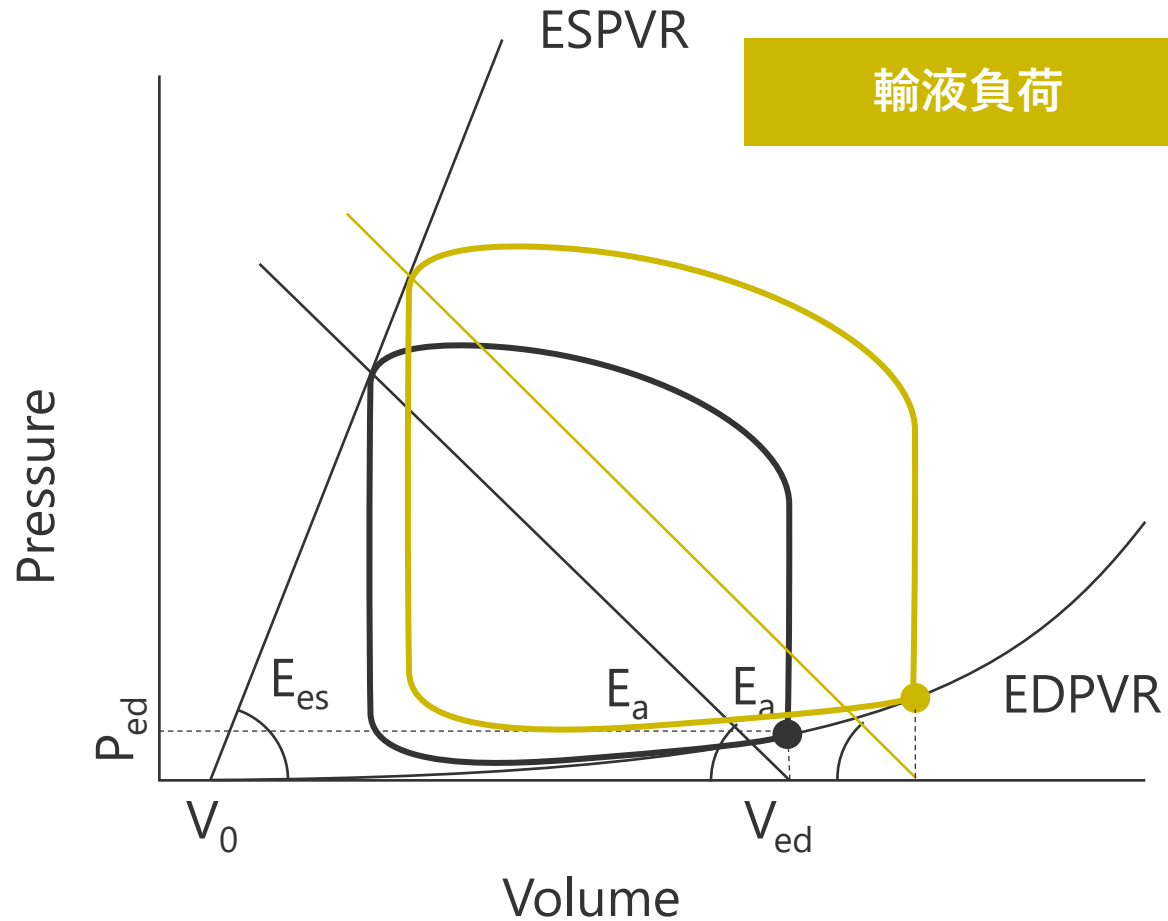
- ✓ 心臓に戻ってくる血液による負荷  
(血液量・圧)
- ✓ 左室にとっては駆出する直前である  
**左室拡張末期の圧・容積**

- ✓ 心臓から出ていく血液に対する負荷
- ✓ 左室にとっては駆出時の大動脈圧及び  
それを構成する心血管要素

# 前負荷 ( $V_{ed}$ 、 $P_{ed}$ )



# 前負荷が増加するPV loopを図示してみよう



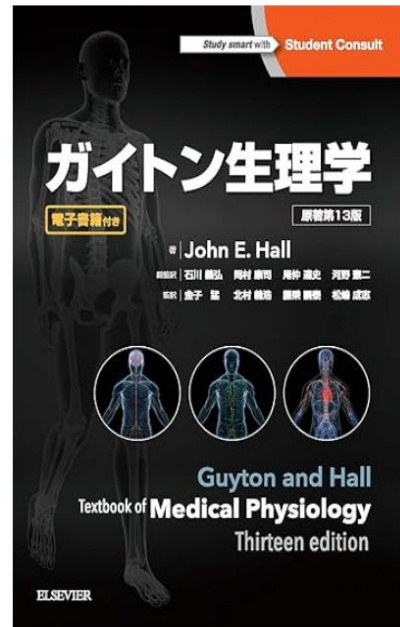
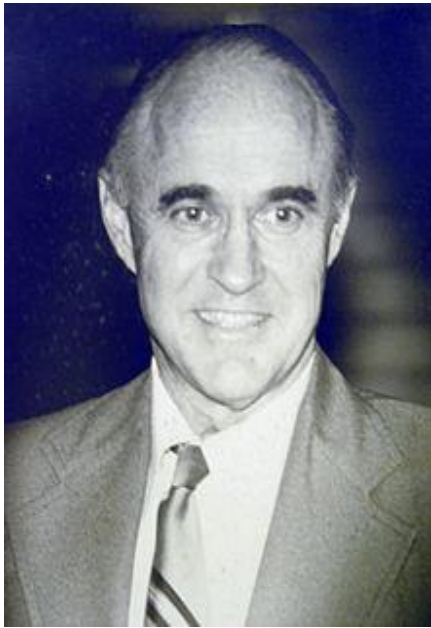


# 前負荷はどうやって決まる？

---

“心臓は戻ってくる血液以上に拍出できない”

Arthur Guyton (1919-2003)

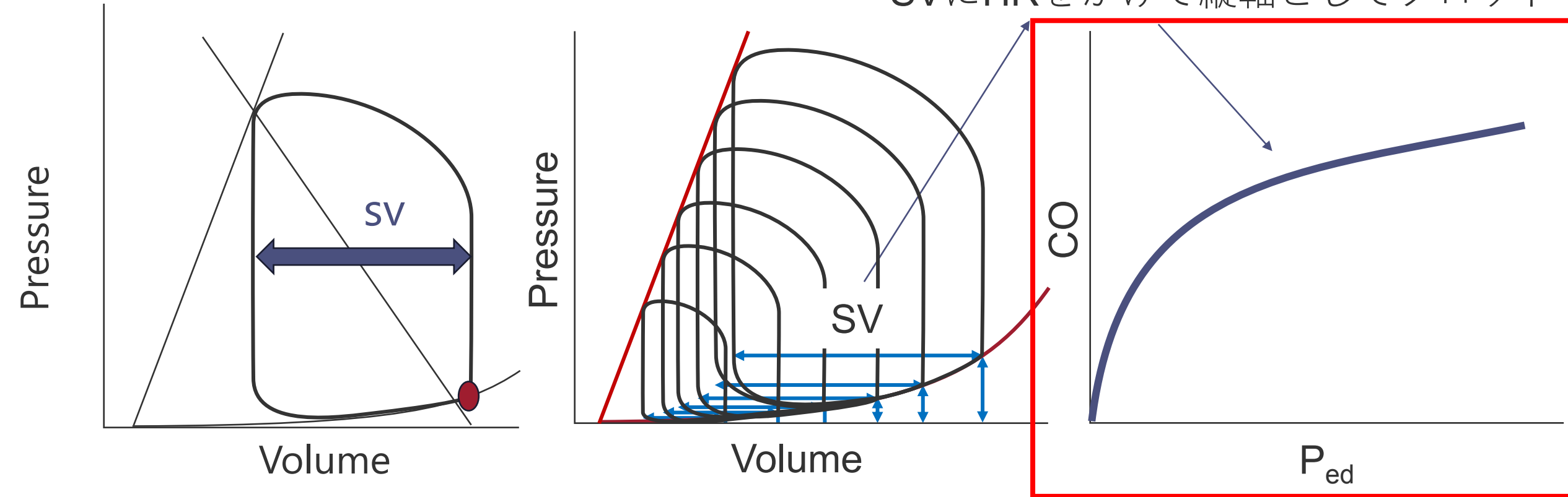


①心臓からでていく血液量（心拍出量）  
と  
②帰ってくる血液量（静脈還流量）

は原則同じ

# ①心拍出量曲線（心臓からでていく血液量）の成り立ち

SVにHRをかけて縦軸としてプロット

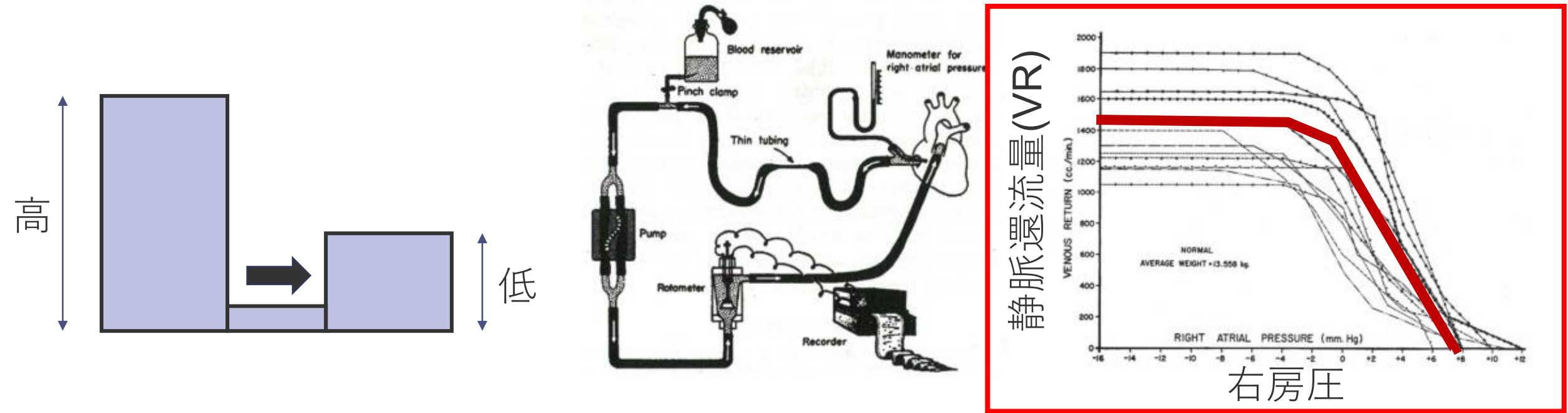


一回拍出量（**SV**）は、ある与えられた前負荷に対して定義される

前負荷を変えた際の**CO**（ $SV \times HR$ ）と左室拡張末期圧の関係をグラフ化→**心拍出量曲線**



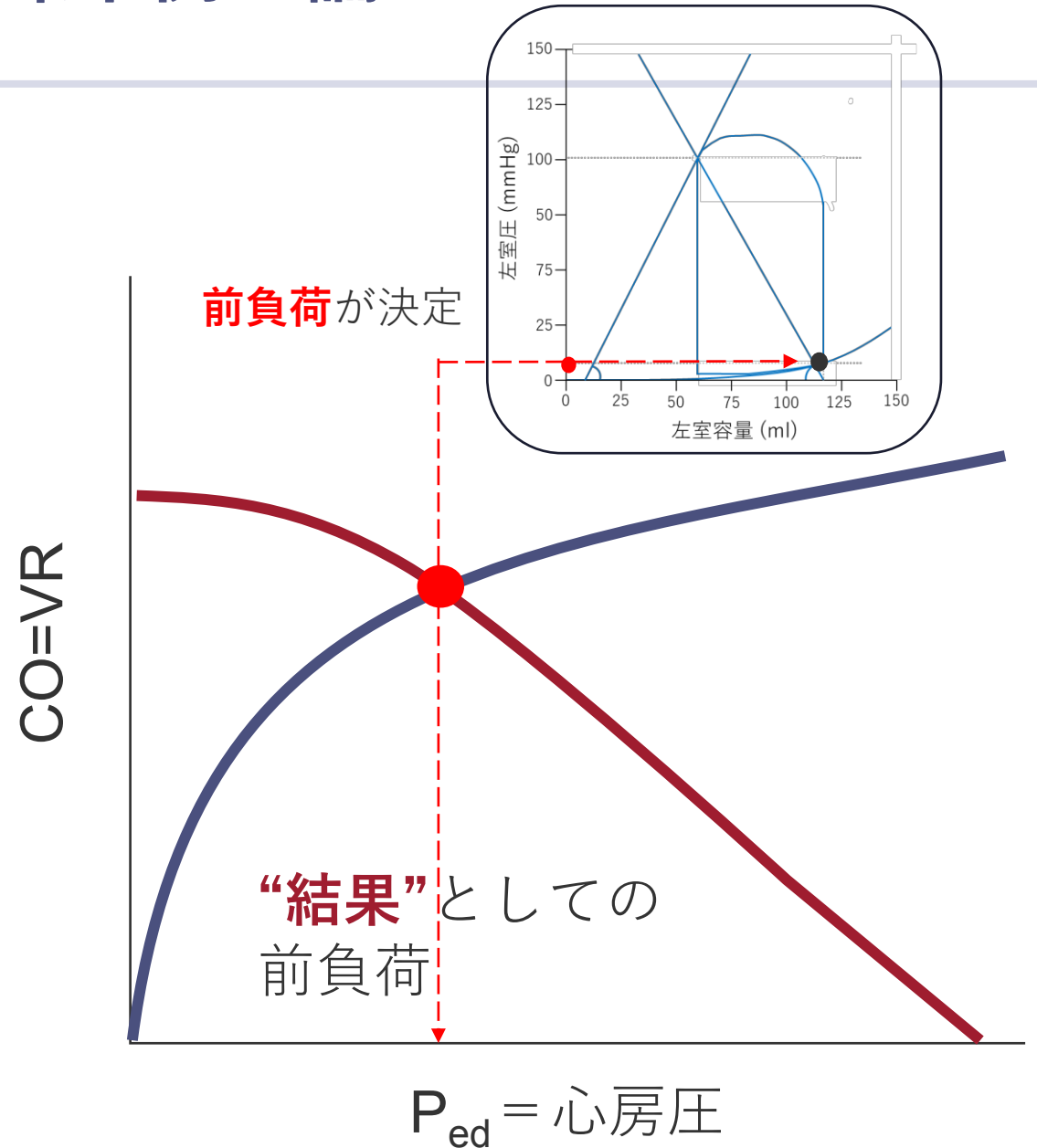
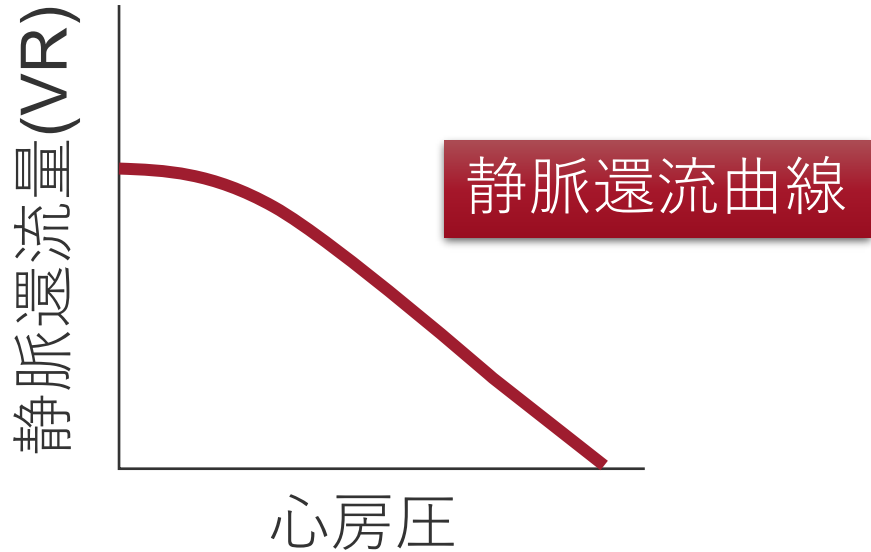
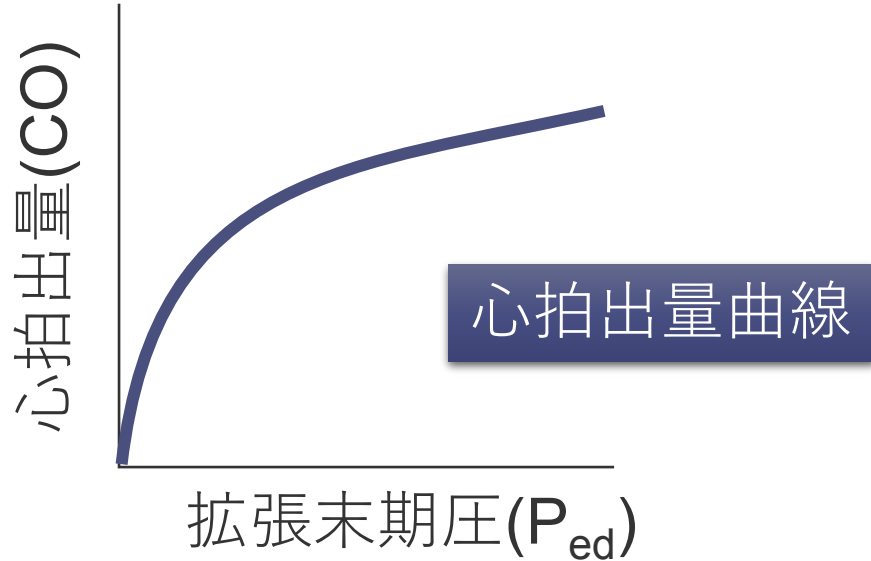
## ② 静脈還流曲線（心臓に帰ってくる血液量）の成り立ち



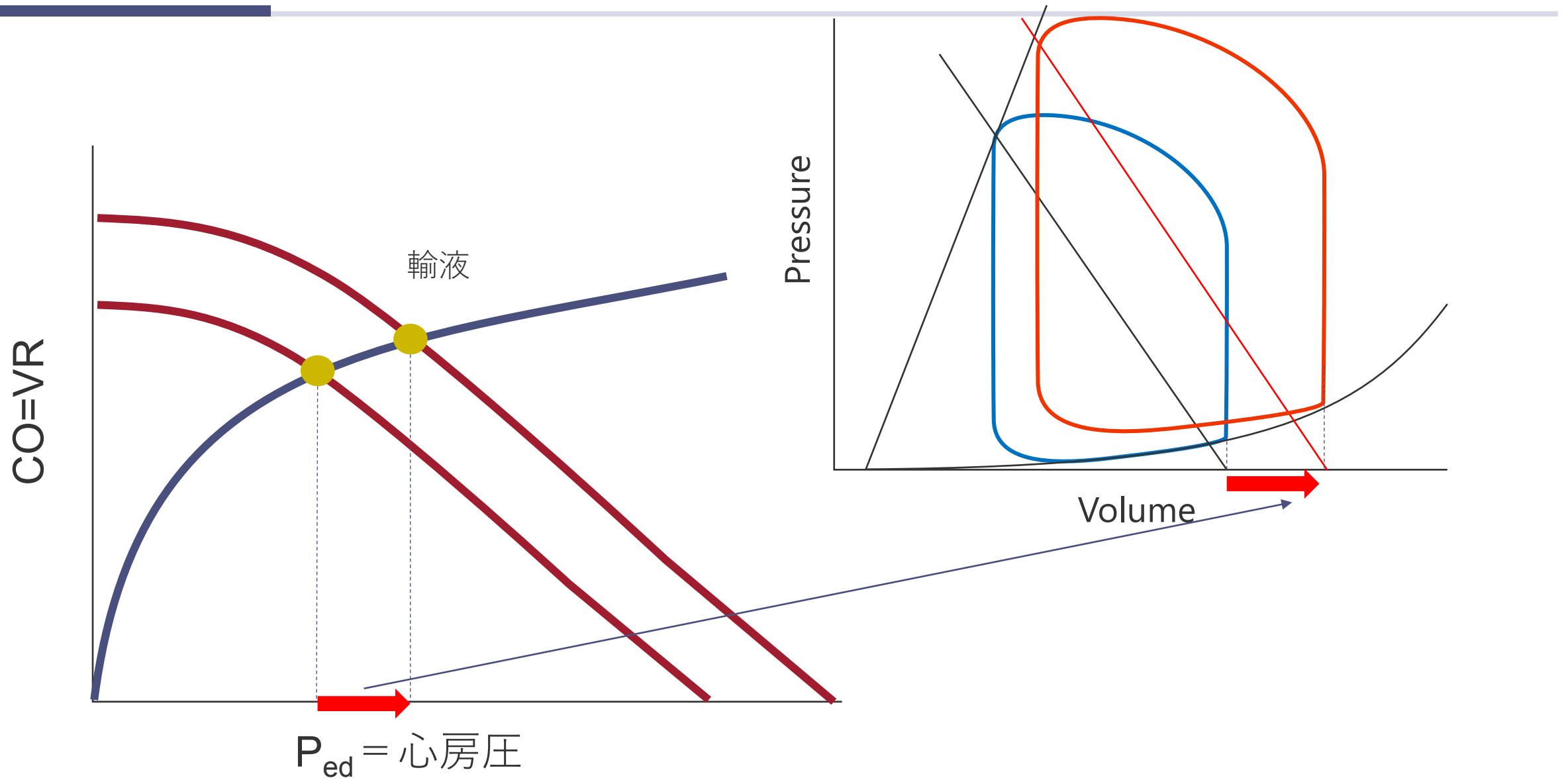
中心静脈圧（この実験では右房圧）を瞬時に変化できる実験系

中心静脈圧が“ある値”以上になると静脈還流がなくなる  
→ 静脈還流曲線

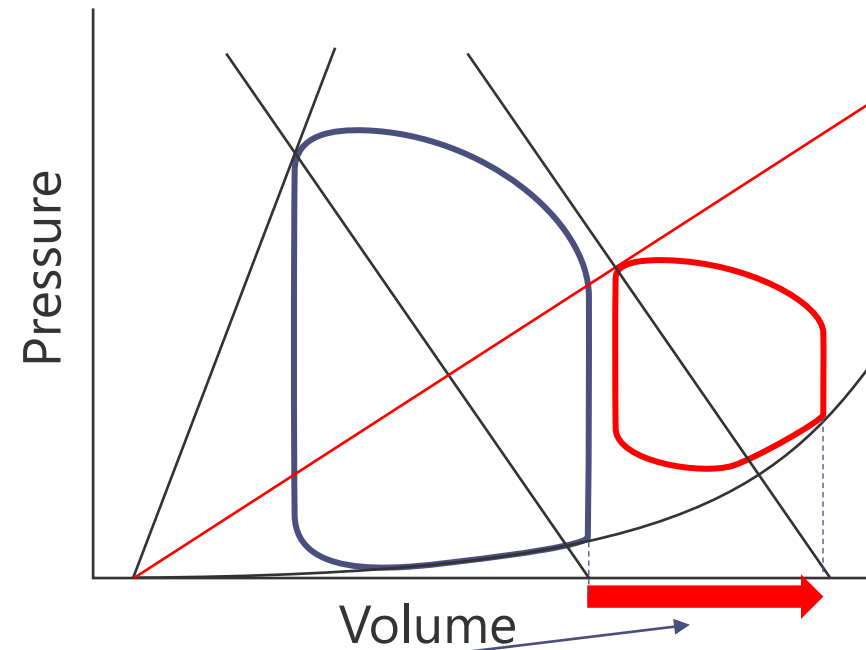
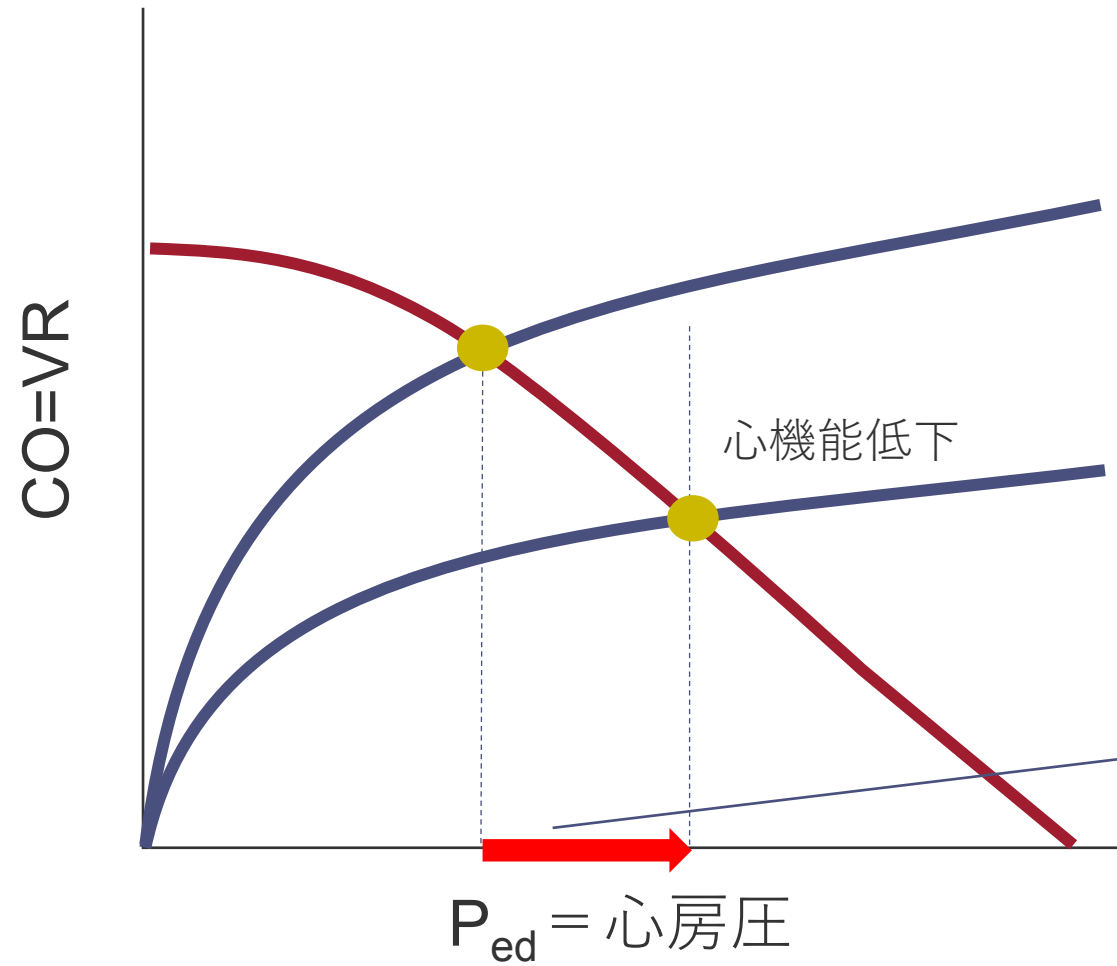
# 前負荷はどうやって決まる？循環平衡理論



# 輸液した時の前負荷の変化



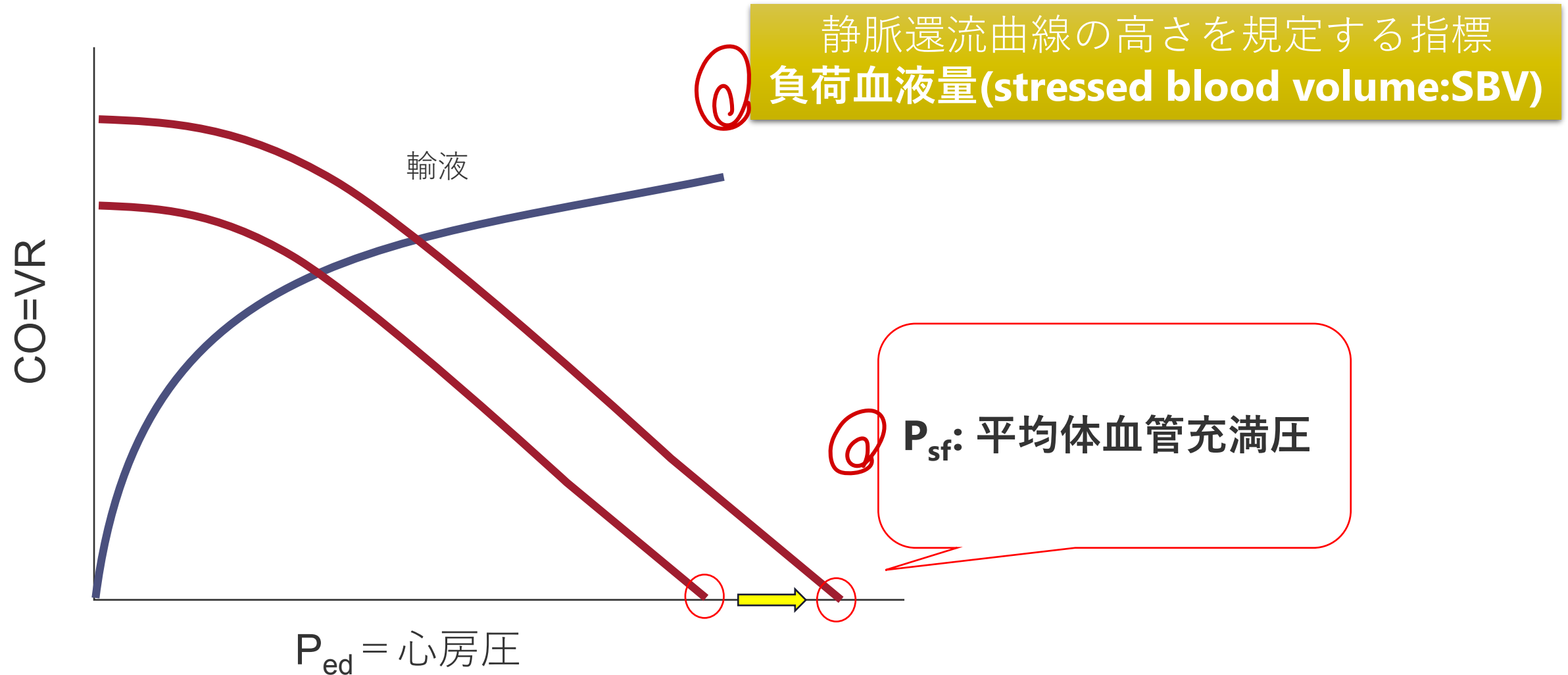
# 心機能が低下した時の前負荷の変化



# Stressed blood volume（負荷血液量）とは？

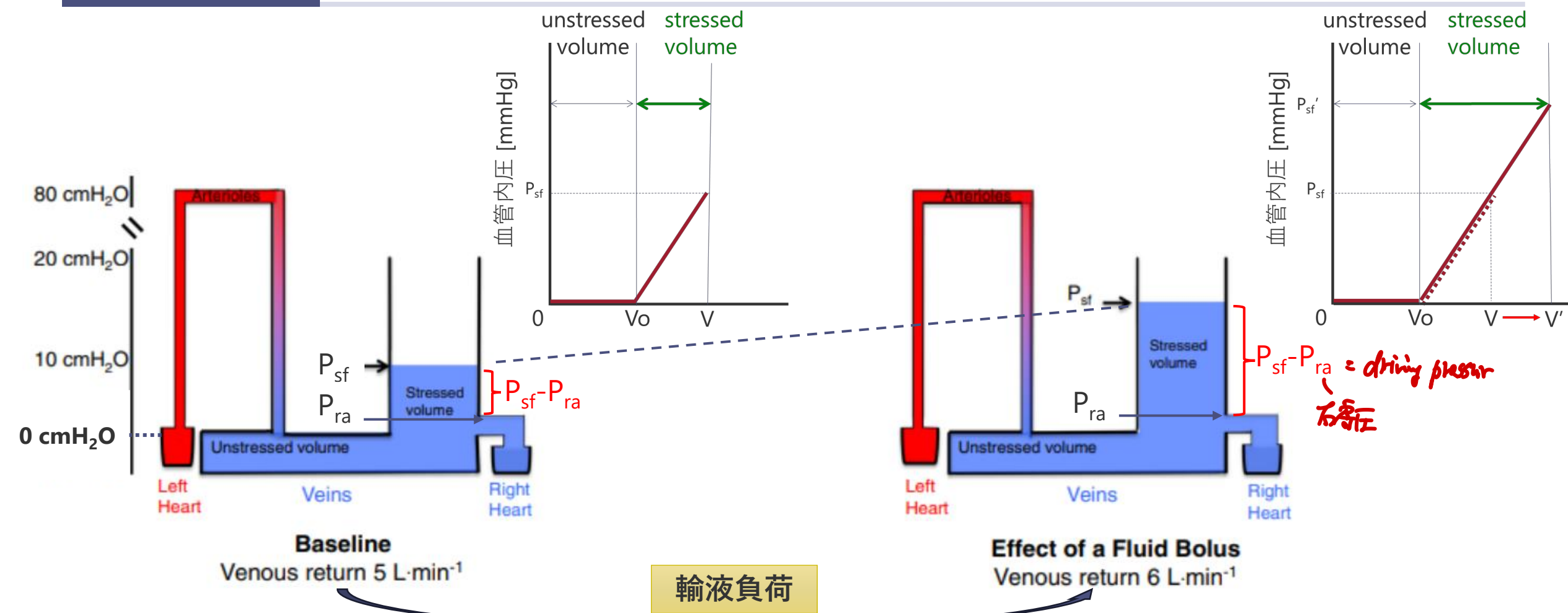
---

# Stressed blood volume



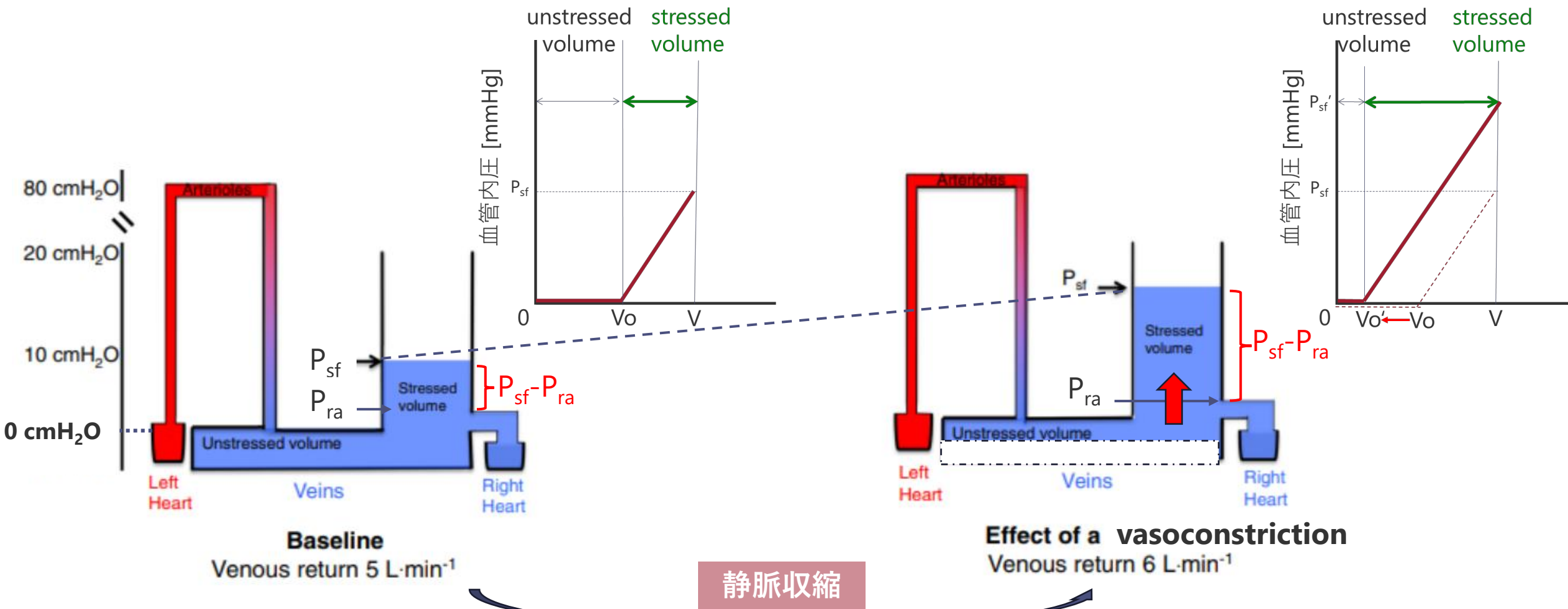


# 体循環における動脈から静脈への血液の流れ



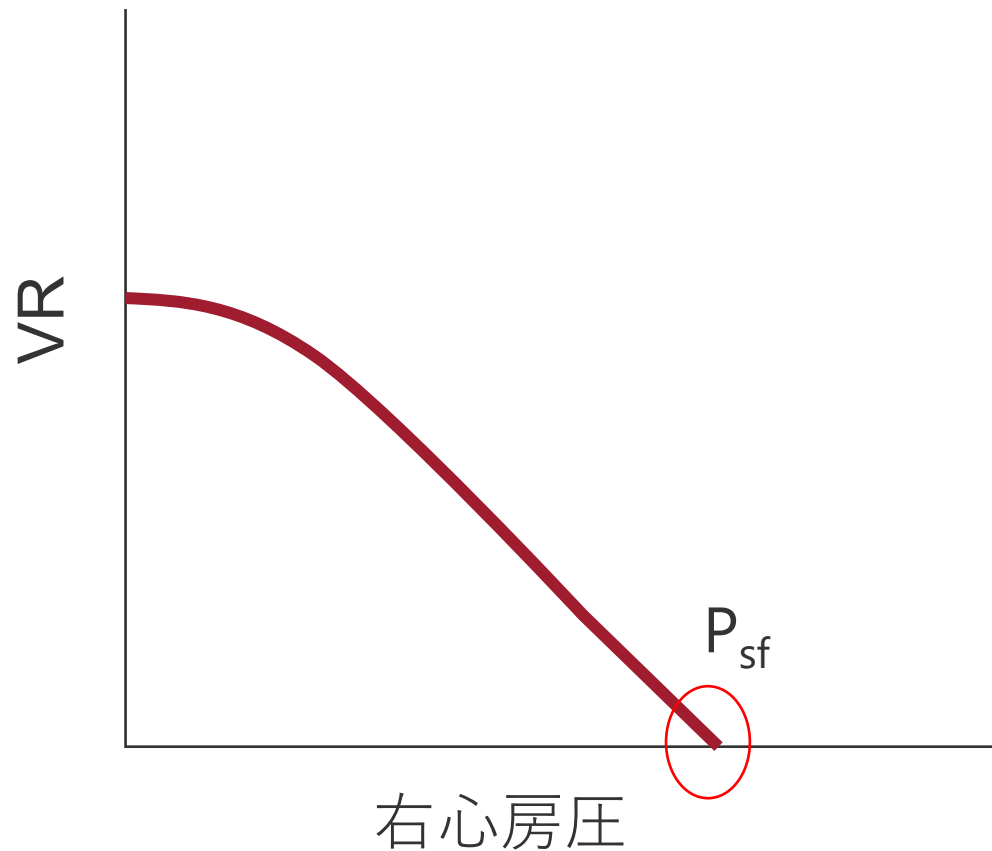
$P_{sf}$ : 平均体血管充満圧  
 $P_{ra}$ : 右房圧

# 体循環における動脈から静脈への血液の流れ



P<sub>sf</sub>: 平均体血管充満圧  
P<sub>ra</sub>: 右房圧

# なぜ“Stressed” blood volumeが重要？



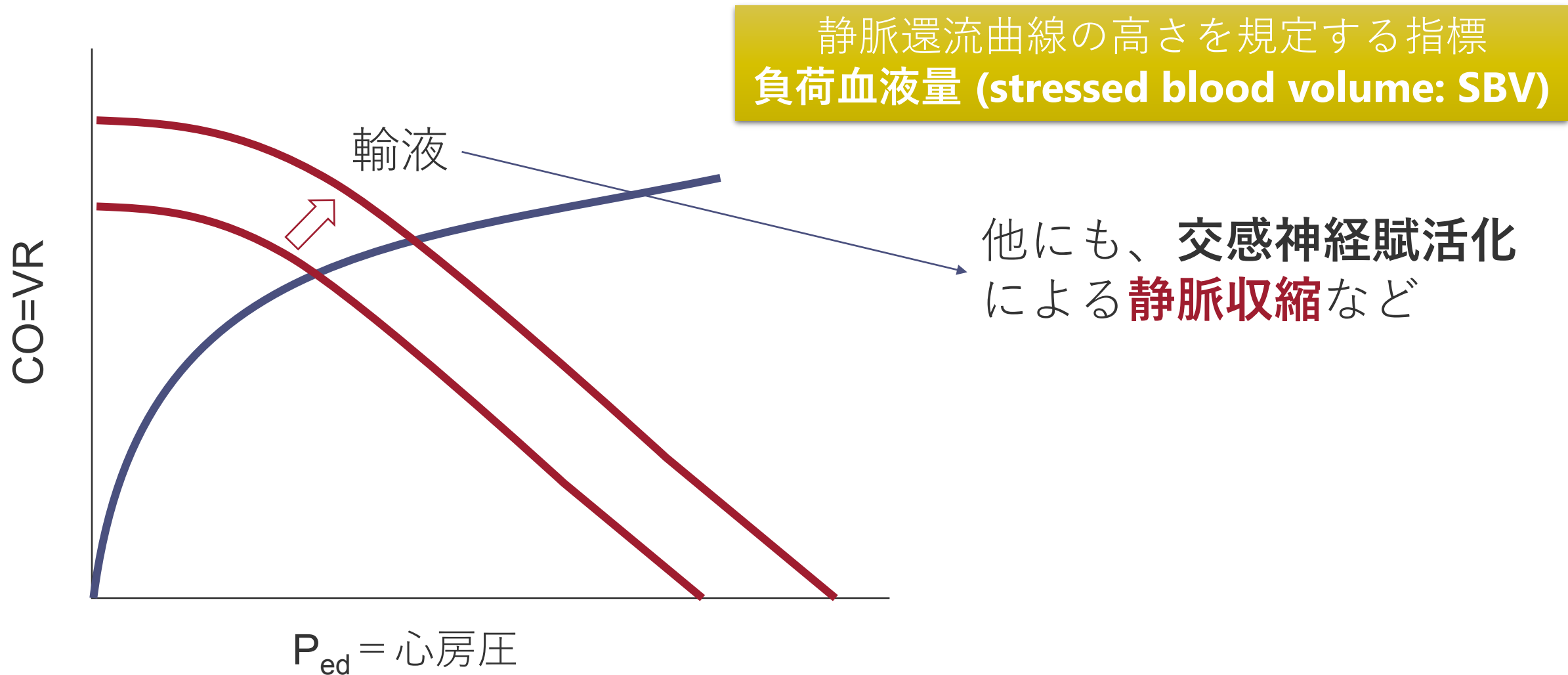
静脈還流量を求める計算式

$$VR = \frac{P_{sf} - P_{RA}}{R_{VR}}$$

VR: 静脈還流量, P<sub>sf</sub>: 平均体血管充満圧,  
P<sub>RA</sub>: 右房圧, R<sub>VR</sub>: 静脈還流抵抗

VRを規定するのは**圧**と抵抗。  
だから**圧に寄与する**血液ボリューム  
である**Stressed blood volume**（負  
荷血液量）が重要となる。

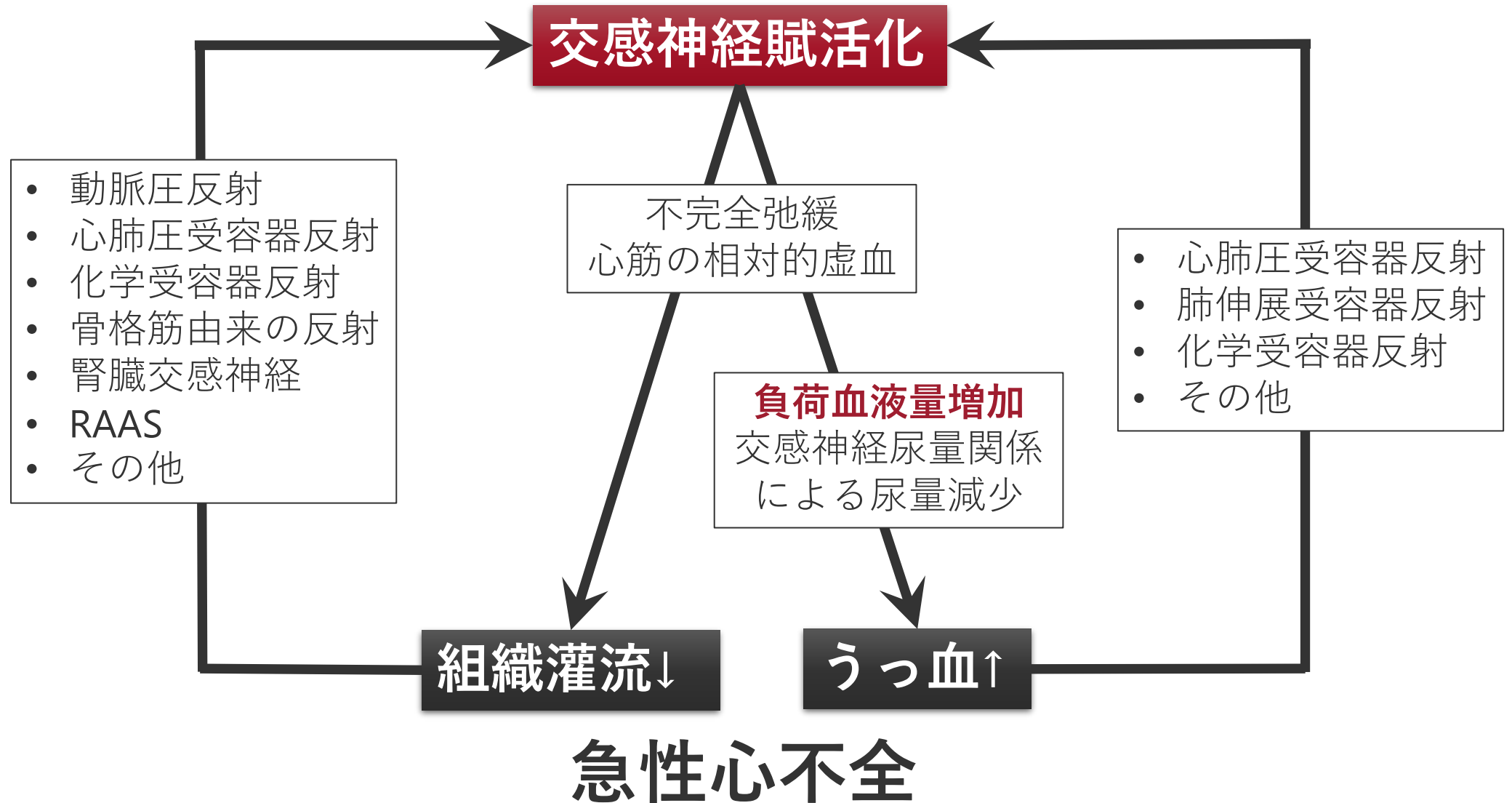
# 静脈収縮による Stressed blood volume の上昇



# Stressed blood volumeと心不全

---

# 交感神経を軸とした急性心不全増悪機序





# Stressed blood volumeと三尖弁閉鎖不全症

## NEW RESEARCH PAPER

### STRUCTURAL

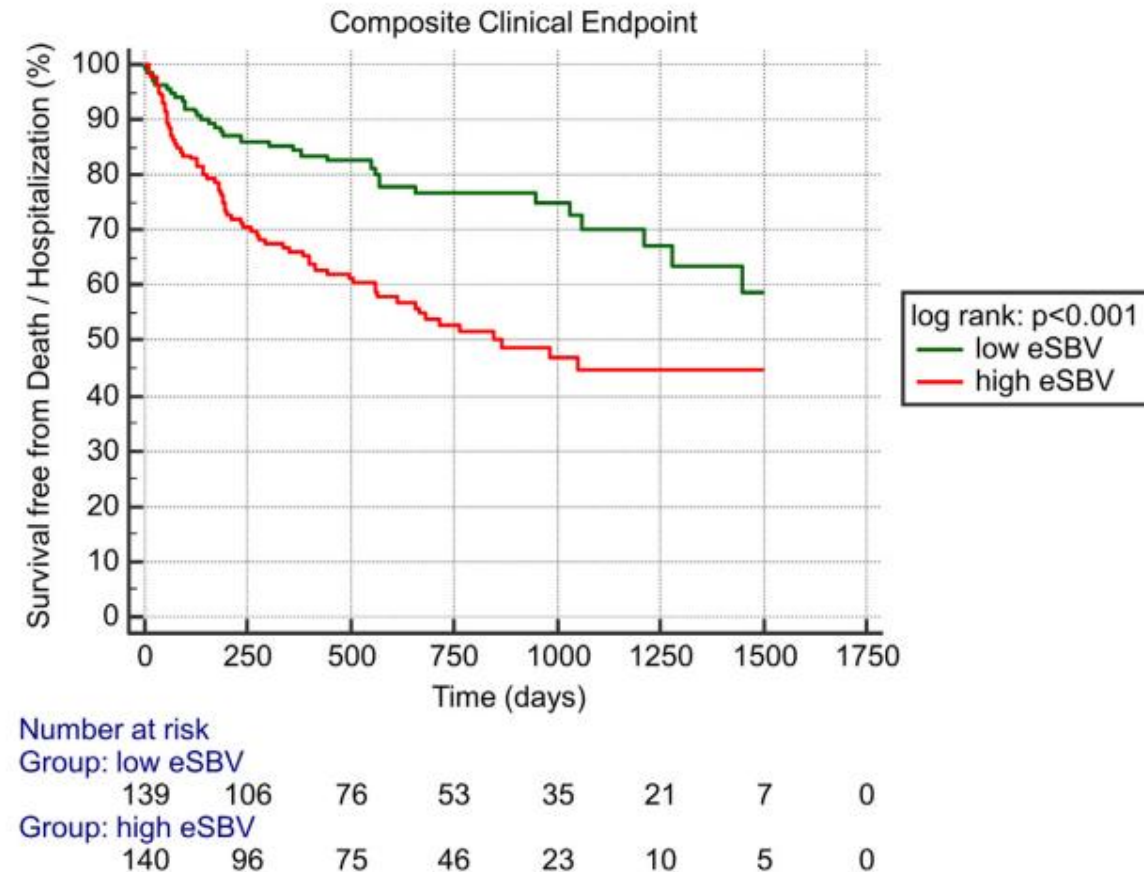
## Stressed Blood Volume in Severe Tricuspid Regurgitation

### Implications for Transcatheter Treatment

Karl-Philipp Rommel, MD,<sup>a,b</sup> Christian Besler, MD,<sup>a</sup> Matthias Unterhuber, MD,<sup>a</sup> Karl-Patrik Kresoja, MD,<sup>a</sup> Thilo Noack, MD,<sup>c</sup> Tobias Kister, MD,<sup>a</sup> Michael I. Brener, MD, MS,<sup>b,d</sup> Marat Fudim, MD, MHS,<sup>e</sup> Mohamed Abdel-Wahab, MD,<sup>a</sup> Martin B. Leon, MD,<sup>b,d</sup> Holger Thiele, MD,<sup>a</sup> Daniel Burkhoff, MD, PhD,<sup>b</sup> Philipp Lurz, MD, PhD<sup>a</sup>

JACC Cardiovasc Interv. 2023 Sep 25;16(18):2245-2258.

In patients with **severe TR**, **eSBV** is associated with **adverse clinical outcomes** after transcatheter intervention.



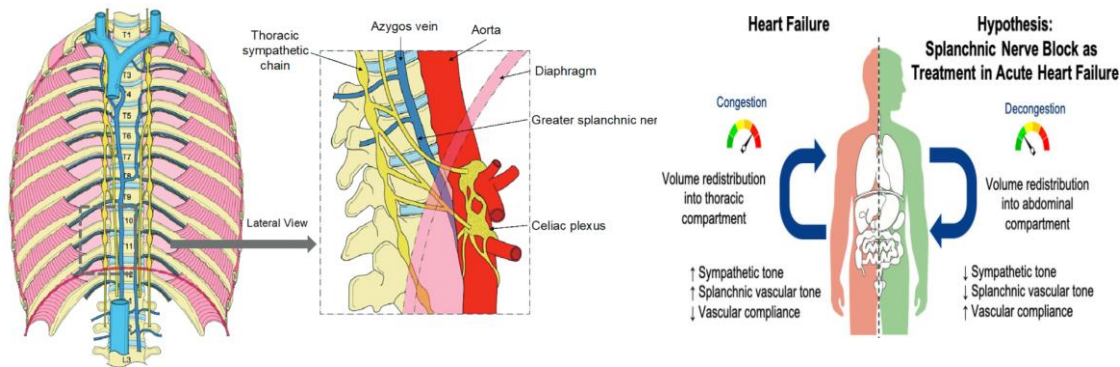
# Stressed blood volumeに焦点を当てた治療

## Splanchnic nerve modulation in heart failure: mechanistic overview, initial clinical experience, and safety considerations

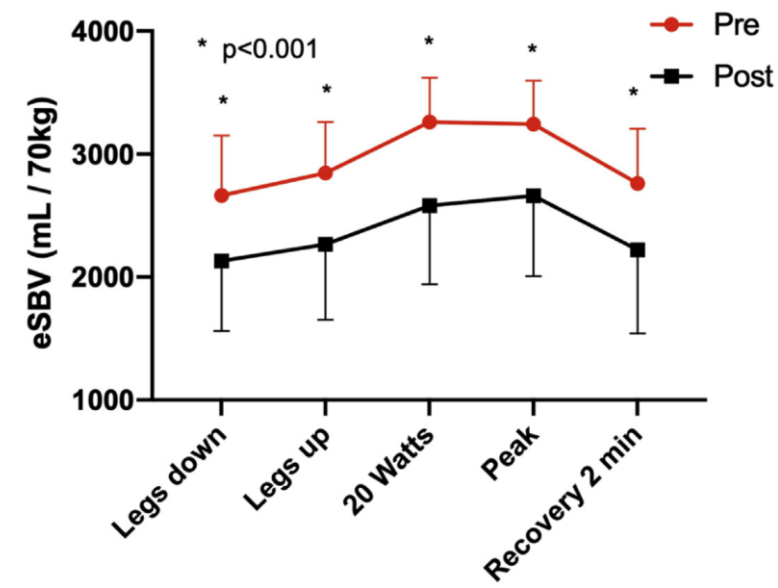
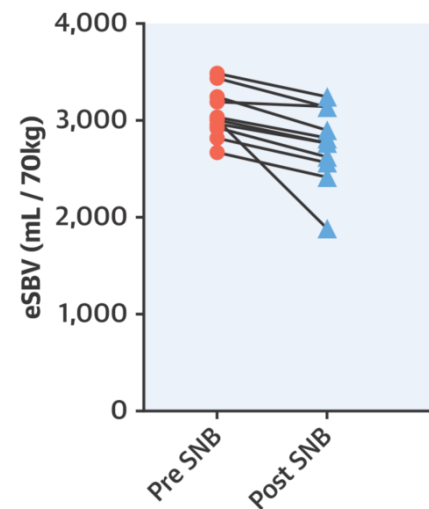
Marat Fudim\*, Piotr P. Ponikowski, Daniel Burkhoff, Mark E. Dunlap, Paul A. Sobotka, Jeroen Molinger, Manesh R. Patel, G. Michael Felker, Adrian F. Hernandez, Sheldon E. Litwin, Barry A. Borlaug, Anisha Bapna, Horst Sievert, Vivek Y. Reddy, Zoar J. Engelman, and Sanjiv J. Shah

Duke University Hospital, Durham, NC, USA

Received 11 February 2021; revised 23 March 2021; accepted 18 April 2021; online publish-ahead-of-print 10 May 2021



腹腔交感神経節をアブレーションすることで、静脈収縮を解除し、心臓への前負荷を減らす

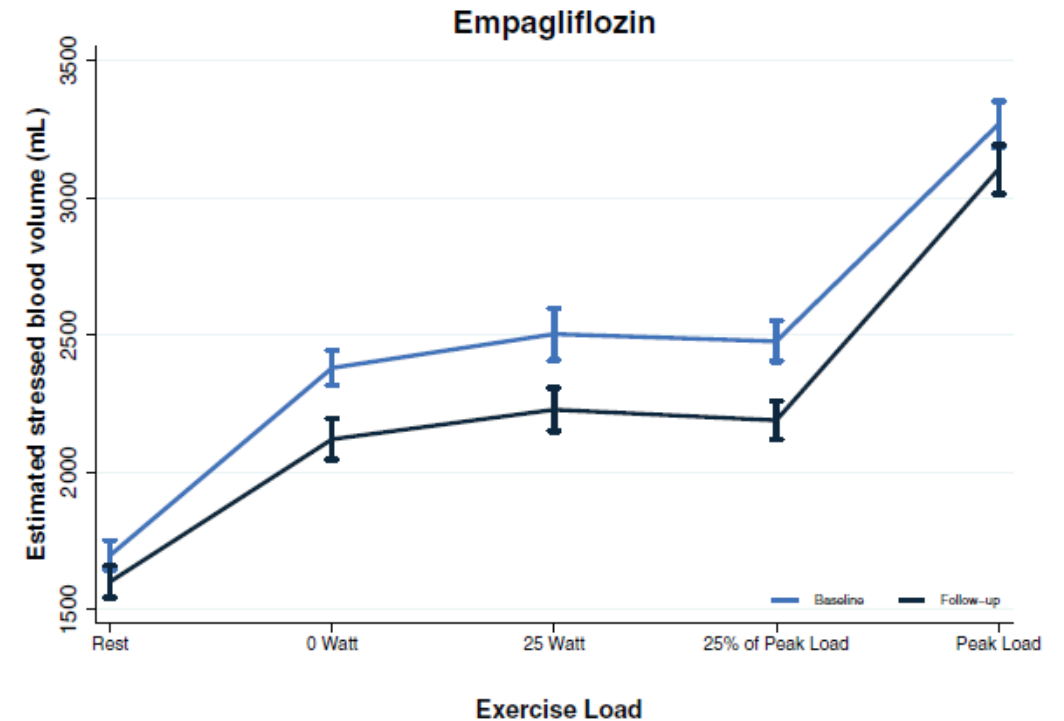
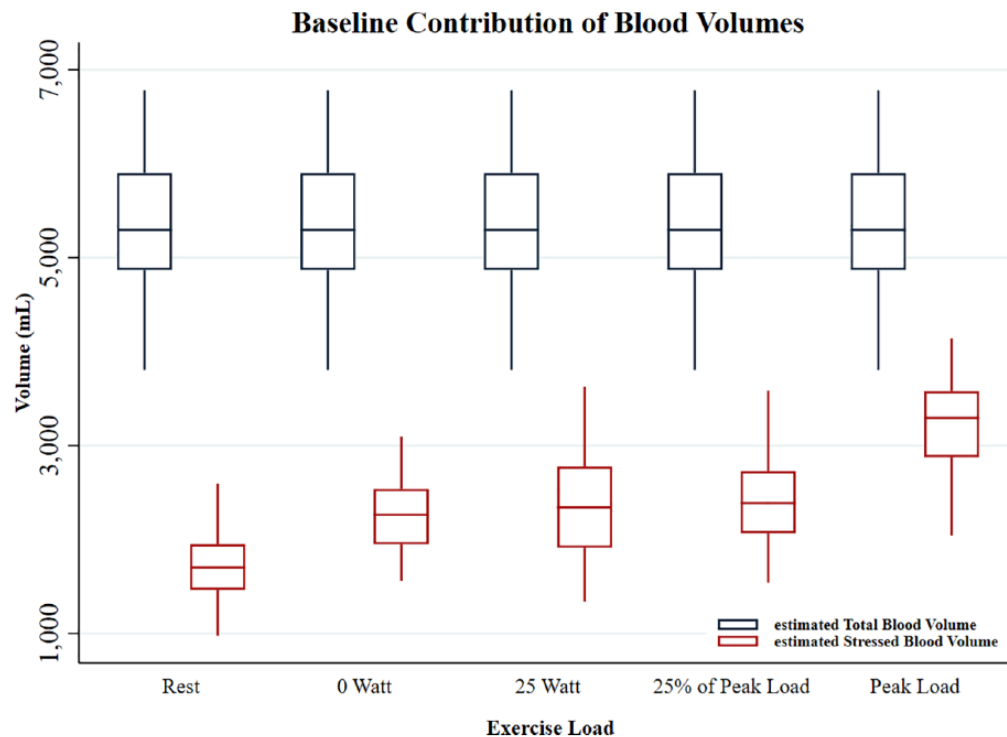


# Stressed blood volumeとSGLT-2i

## ORIGINAL ARTICLE

### Effect of Empagliflozin on Blood Volume Redistribution in Patients With Chronic Heart Failure and Reduced Ejection Fraction: An Analysis From the Empire HF Randomized Clinical Trial

Circ Heart Fail. 2022 Mar;15(3):e009156.

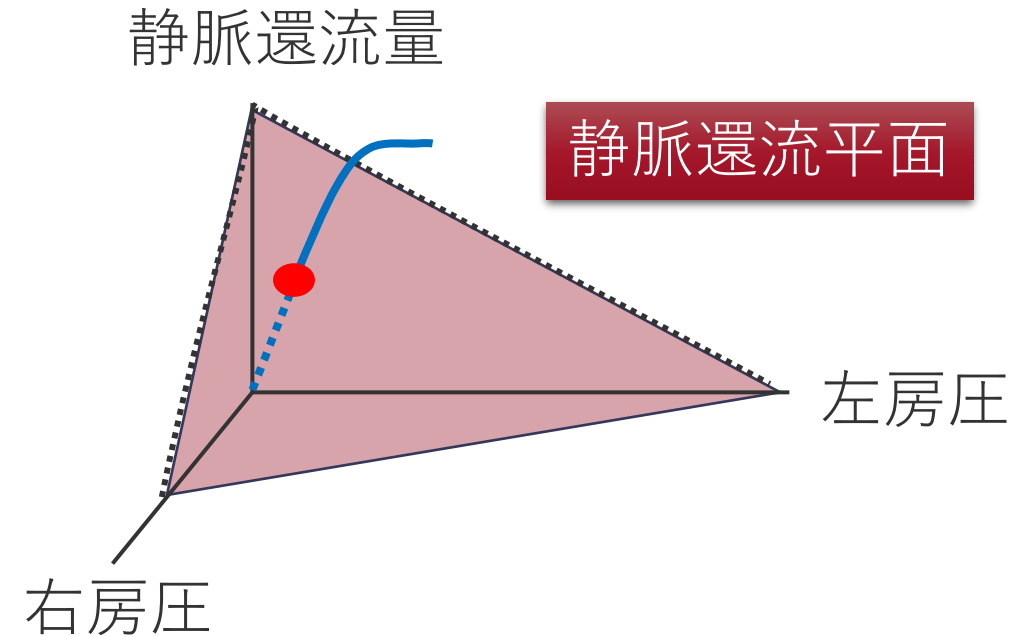
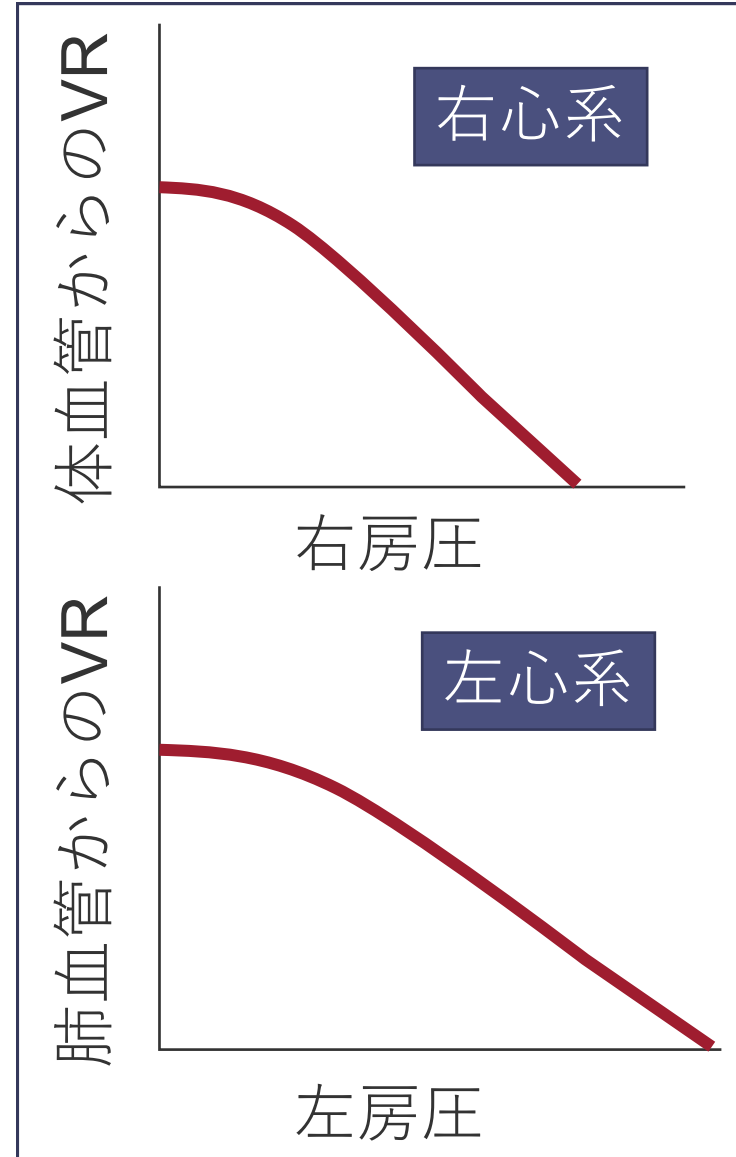
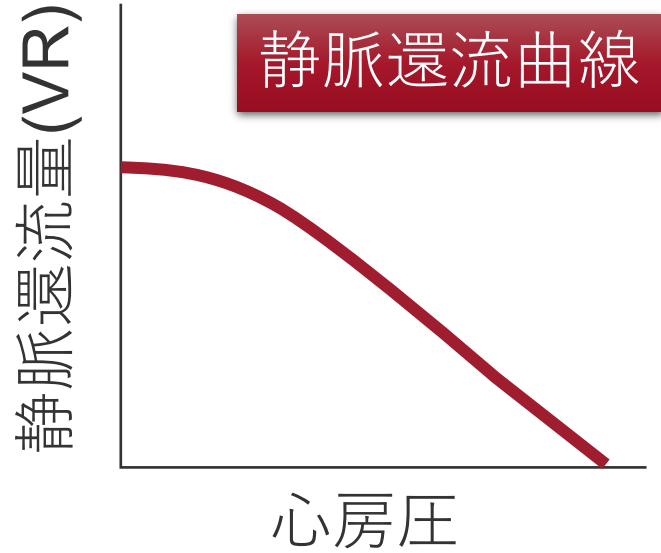


Empaにて運動誘発性の  
SBV増加が減った

# 三次元でとらえる静脈還流“平面”

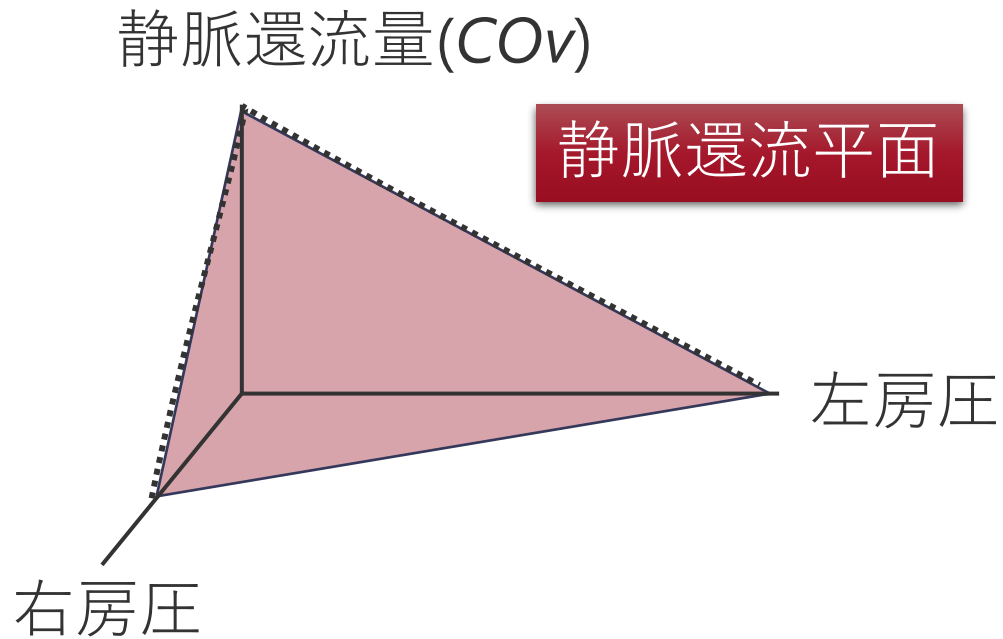
---

# 静脈還流曲線から静脈還流“平面”へ

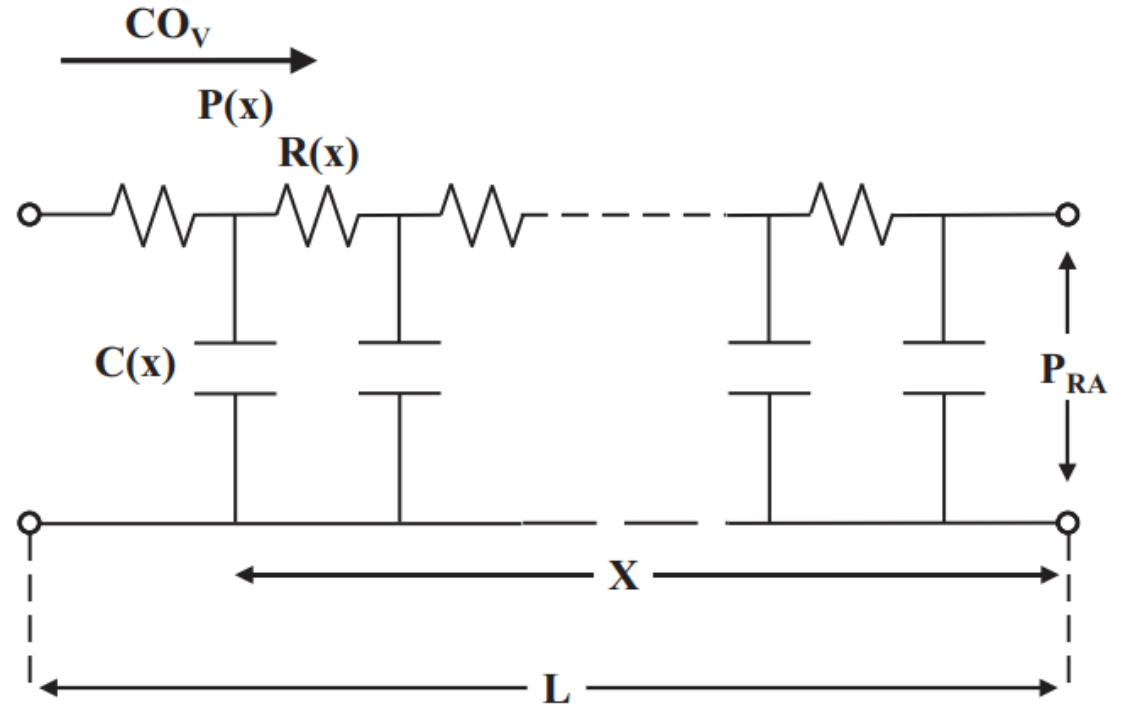


RAPとLAPのバランスをみる→心房圧の差  
同じレベルで和が大きい場合は心臓が正常に動いている?

# 静脈還流平面の定量化



肺循環、体循環が合体した静脈還流

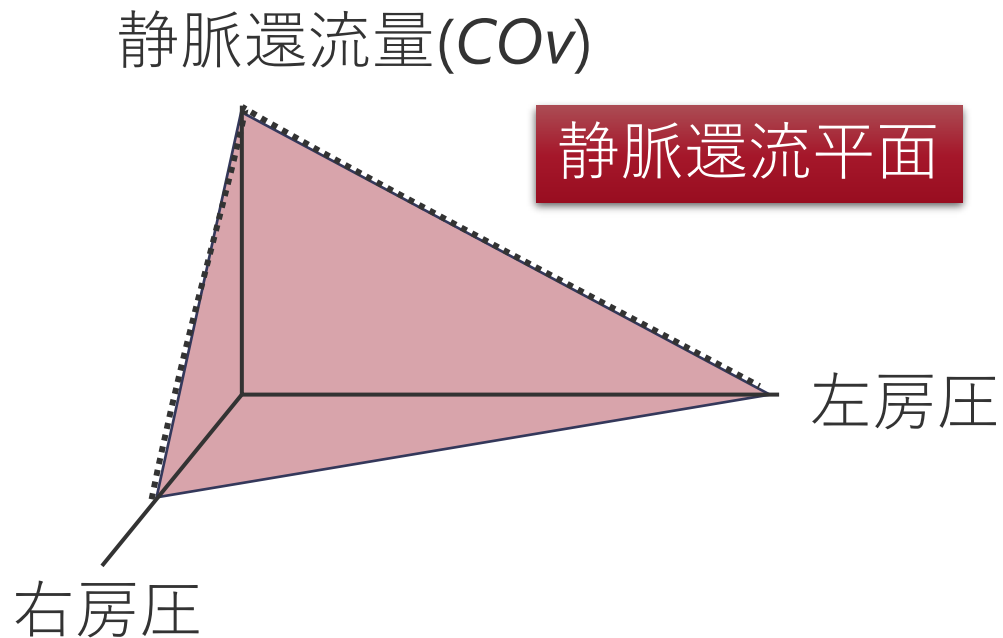


$$CO_v = \frac{SBV}{W} - (G_p \times P_{LA} + G_s \times P_{RA})$$

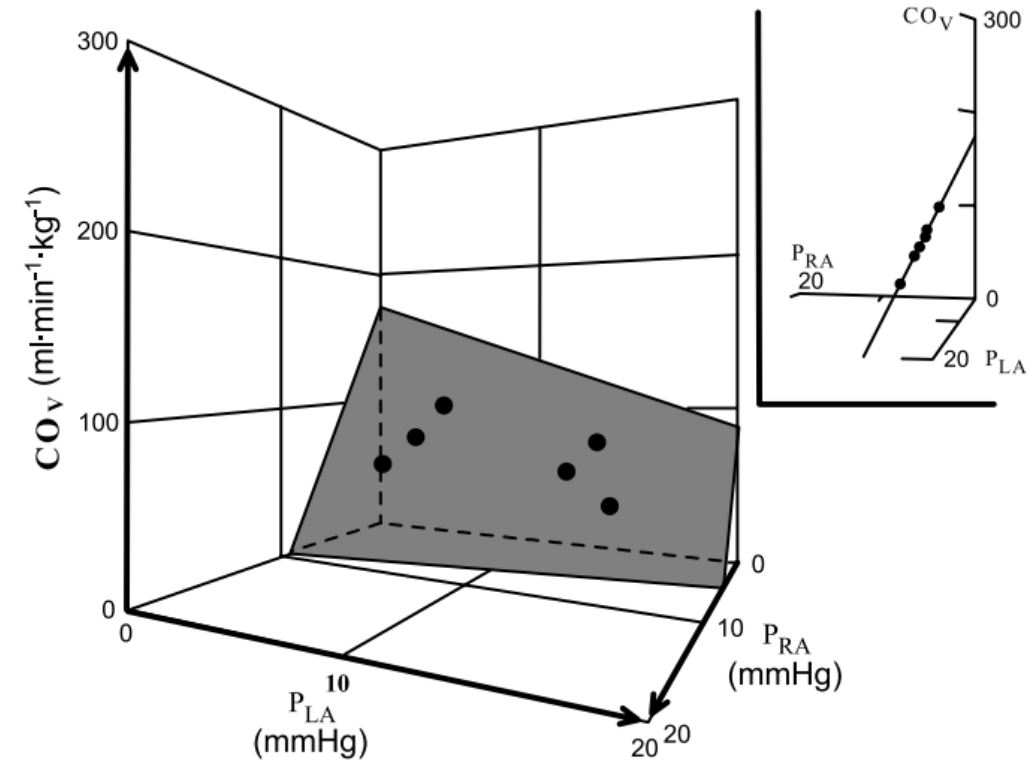
$CO_v$ : 静脈還流量,  $SBV$ : 負荷血液量  
 $W$ ,  $G_p$ ,  $G_s$ は定数



# 静脈還流平面の定量化



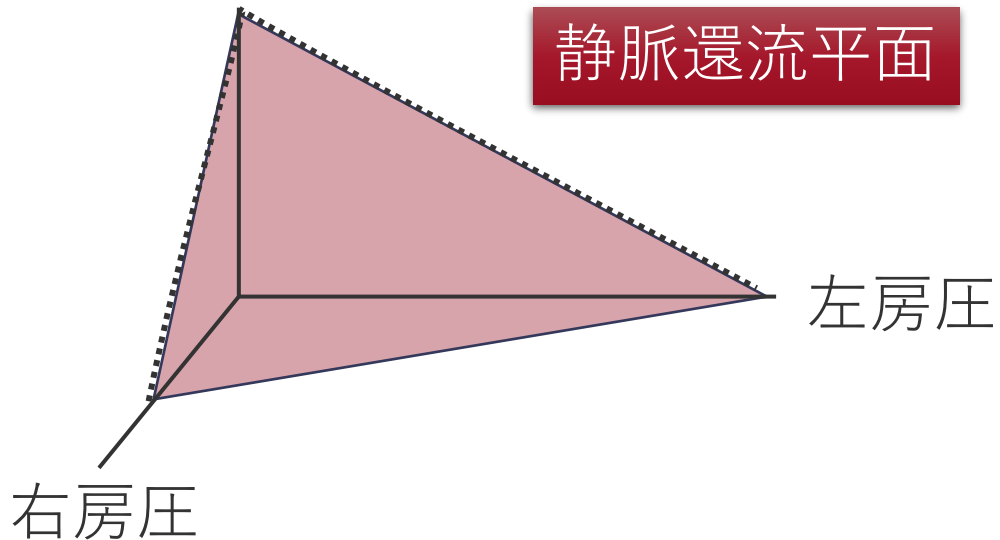
$$CO_v = \frac{SBV}{W} - (G_p \times P_{LA} + G_s \times P_{RA})$$



$$CO_v = \frac{SBV}{0.129} - (3.49 \times P_{LA} + 19.61 \times P_{RA})$$

# SBVを求めてみよう

静脈還流量( $CO_v$ :  $mL/min/kg$ )



静脈還流平面

$$CO_v = \frac{SBV}{0.129} - (3.49 \times P_{LA} + 19.61 \times P_{RA})$$

体重 60kg、心拍出量(=静脈還流量) 4800mL/分  
左房圧 8mmHg, 右房圧3mmHgの時のSBVは？

心拍出量 =  $4800 \div 60\text{kg} = 80\text{mL/kg/分}$

$P_{LA} = 8$ 、 $P_{RA} = 3$ を代入

$SBV = (80 + (3.49 \times 8 + 19.61 \times 3)) \times 0.129$

$= (80 + 27.92 + 58.83) \times 0.129$

$= 166.75 \times 0.129$

**$= 21.05\text{mL/kg}$**

# Take home message

---

- 心臓の前負荷は心室の**拡張末期容積、拡張末期圧**として表現される。
- 血行動態は**心拍出量曲線**と**静脈還流曲線**の交点（**循環平衡点**）で決まる。
- 静脈還流曲線は**stressed blood volume(SBV)**で決まる。
- SBVは心不全に強く関係しており、心不全の新しい治療targetとなる可能性がある。