

Impella lecture series

Episode 1

PV loopの基礎

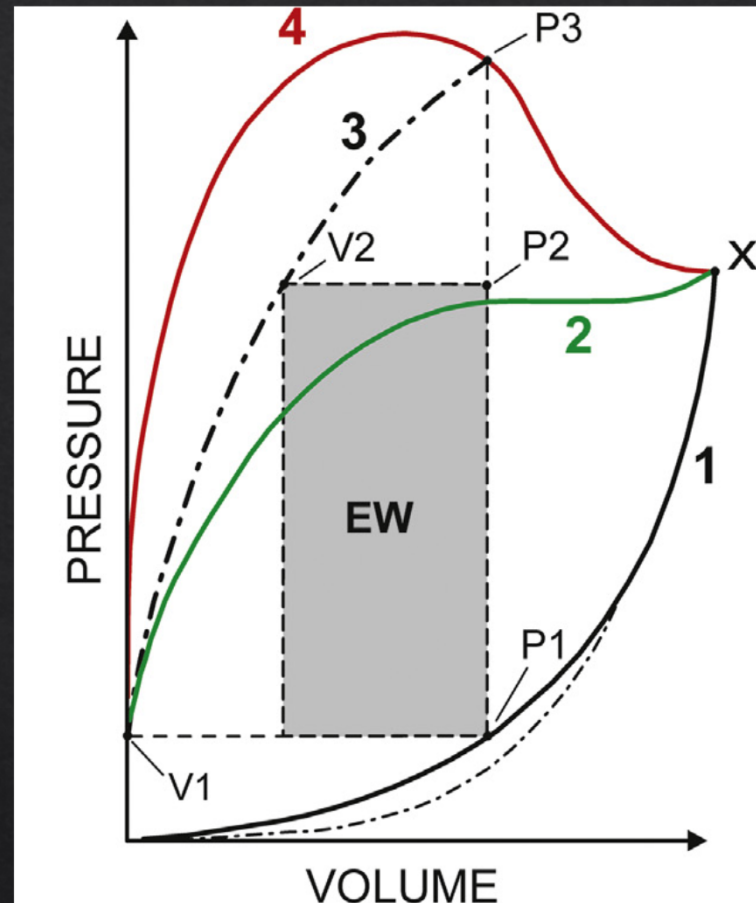
Keita Saku, MD, PhD

National Cerebral and Cardiovascular Center

PV loopの記録



Otto Frank



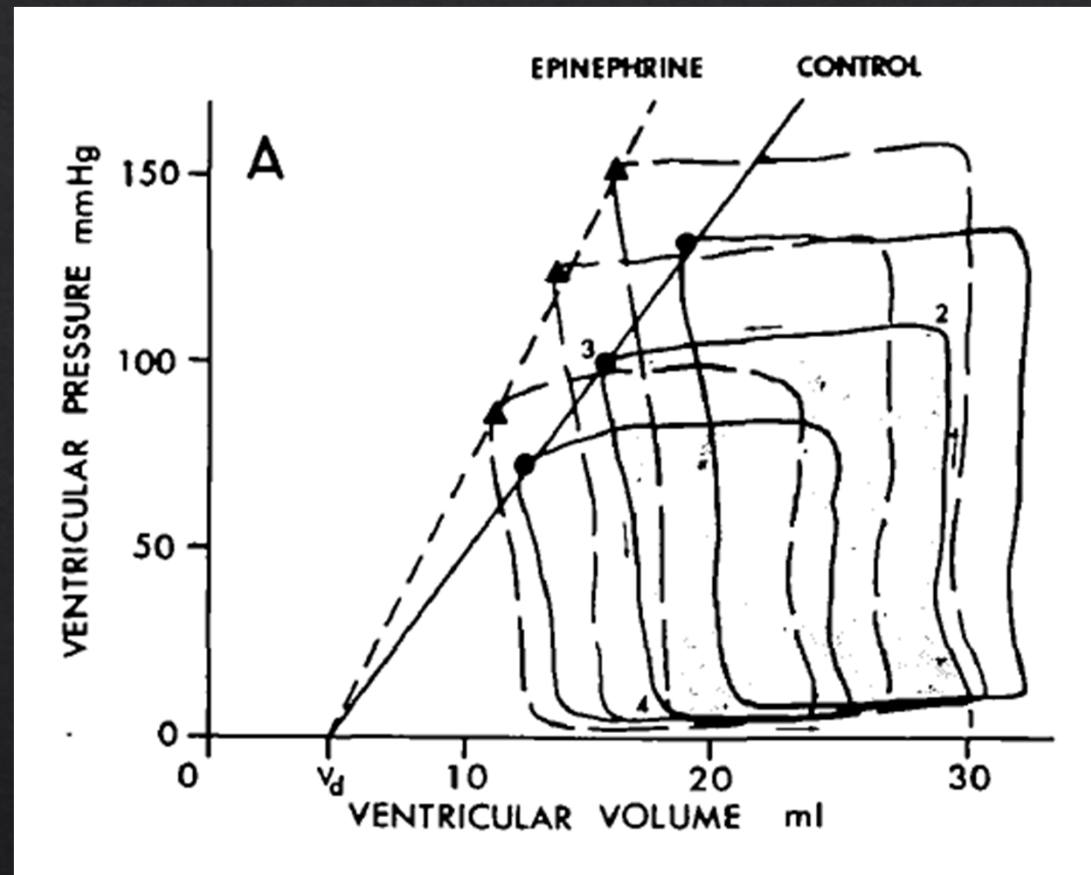
Kuhtz-Buschbeck et al. JMCC 2018.

- カエル摘出心でPV loopを記録
- 負荷条件や自律神経の影響を検証

機能の抽出



Hiroyuki Suga

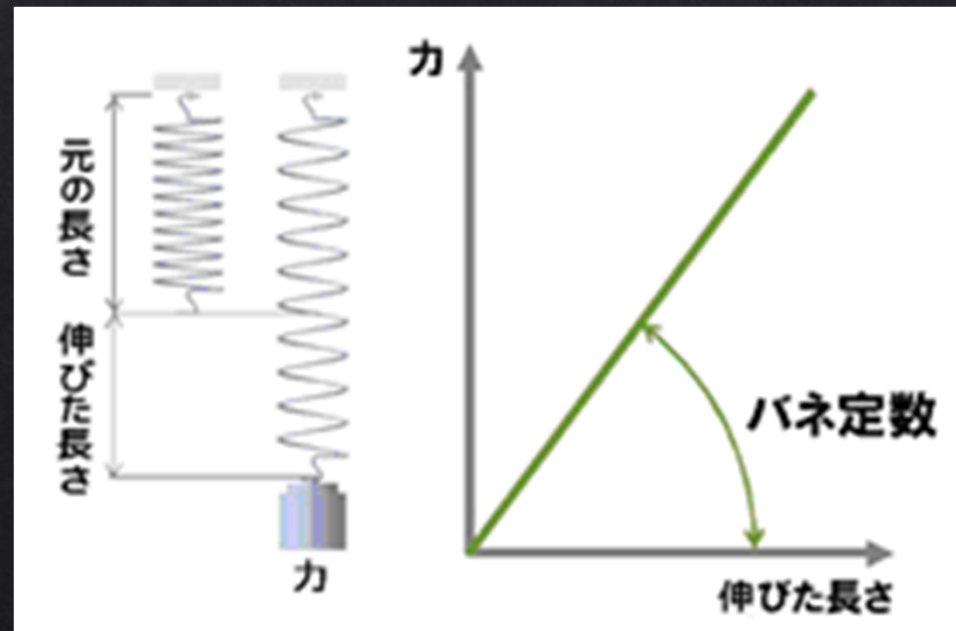


Suga et al. Circ Res. 1973.

- 心室の時変弾性特性を証明
- E_{es} (E_{MAX})やPVAなどの指標を提唱

エラスタンス？

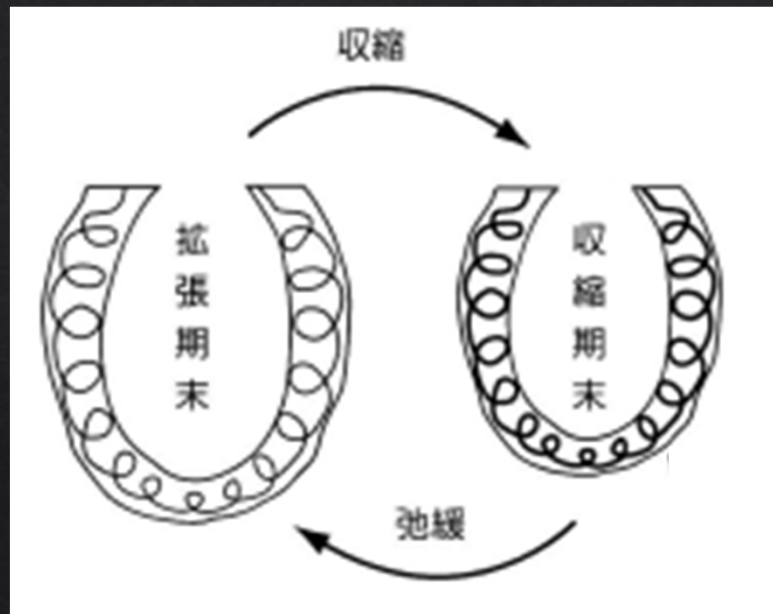
- 単位は圧/容量(人のPV loopならmmHg/ml)
- 日本語に直訳すると弾性
- バネの弾性率という想像しやすい？
- 高い→固い / 低い→やわらかい
- コンプライアンスの逆数



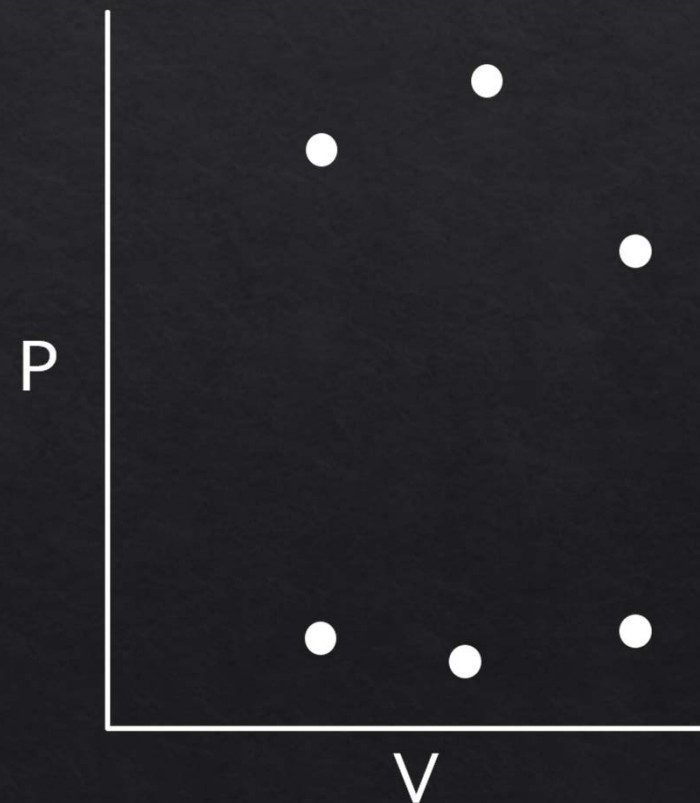
仕事にちゃんと役立つ材料力学
MONOist HPより

心室の時変エラスタンス

- 心臓は袋の形をしたバネ
- 収縮期には硬くなり、拡張期には柔らかくなる

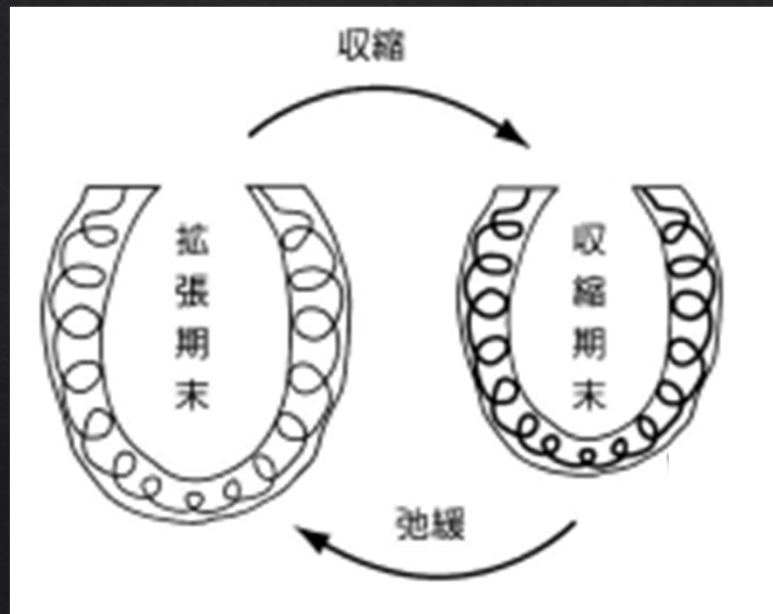


菅弘之, 日本内科学会雑誌 第91巻

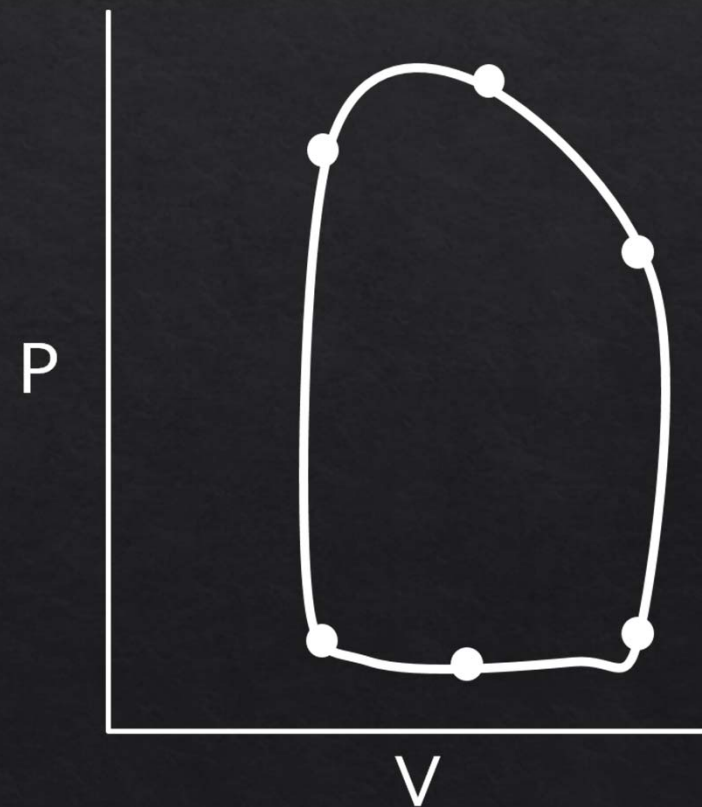


心室の時変エラスタンス

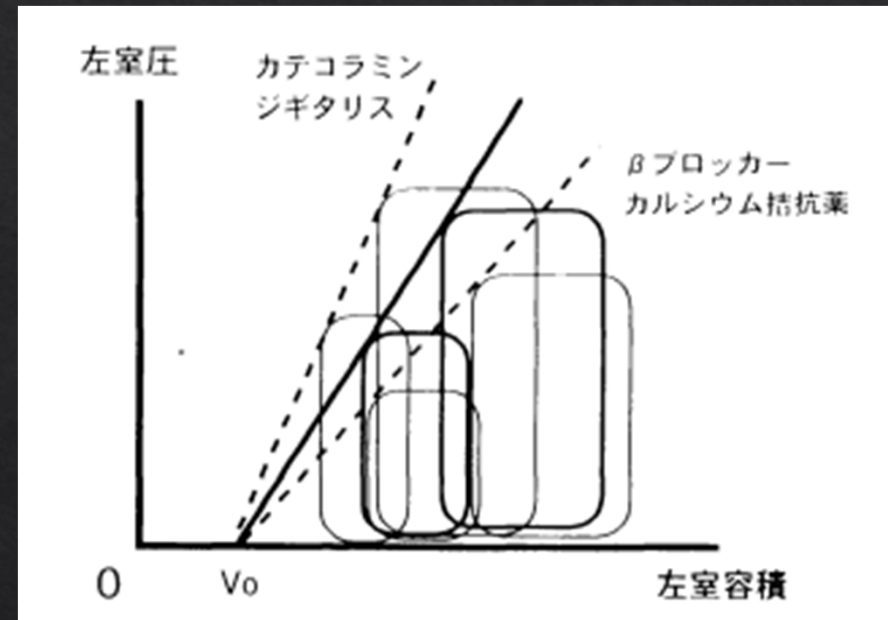
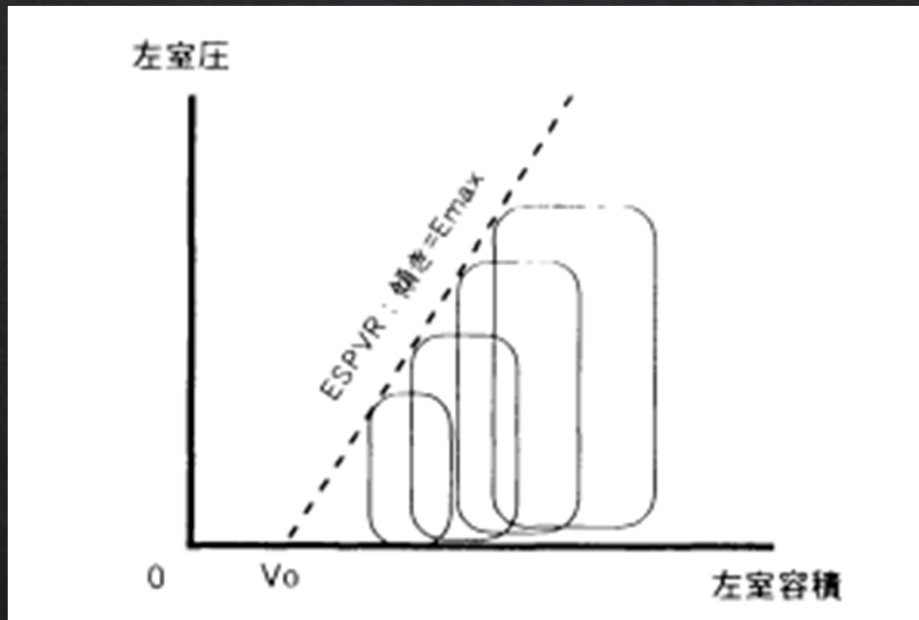
- 心臓は袋の形をしたバネ
- 収縮期には硬くなり、拡張期には柔らかくなる



$$P(t) = E(t) \times V(t)$$



左室の収縮能 = E_{es}



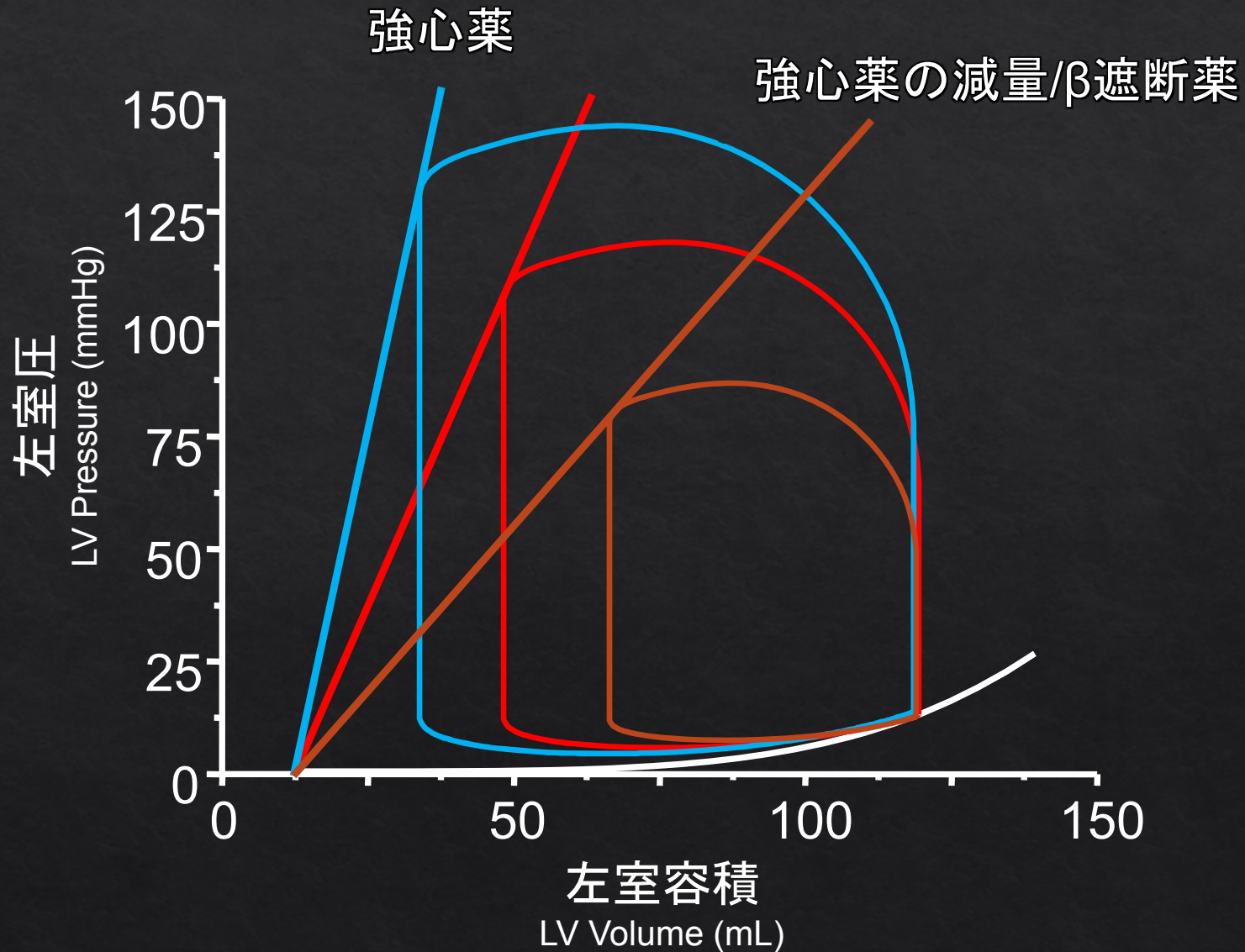
菅弘之, 計測と制御 第38巻

$$P(t) = E(t) \times [V(t) - V_0]$$

$$E_{es} = P_{es} (ESV - V_0) \Rightarrow \text{収縮能}$$

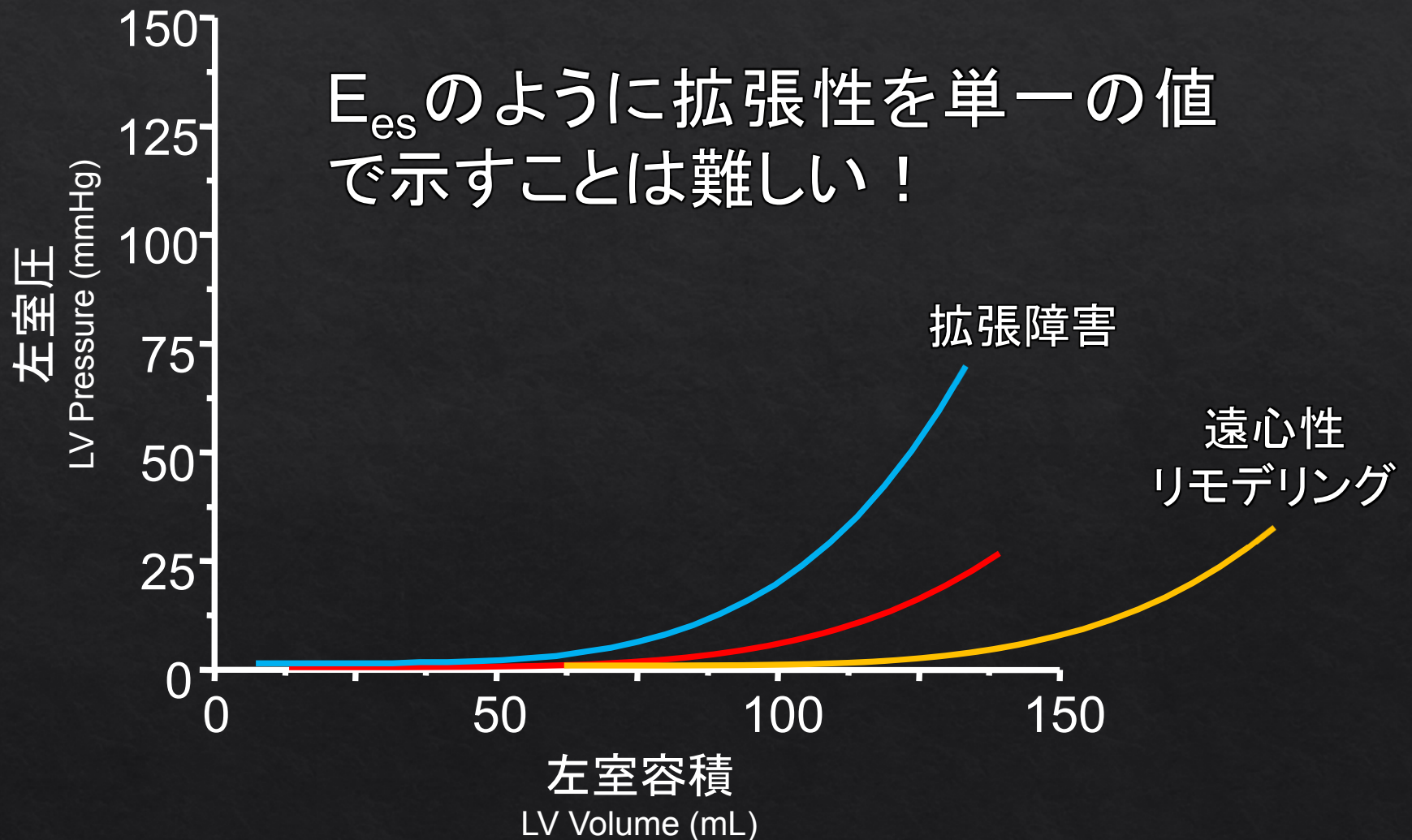
左室の収縮能 = E_{es}

※敢えてEDVが同じ場合



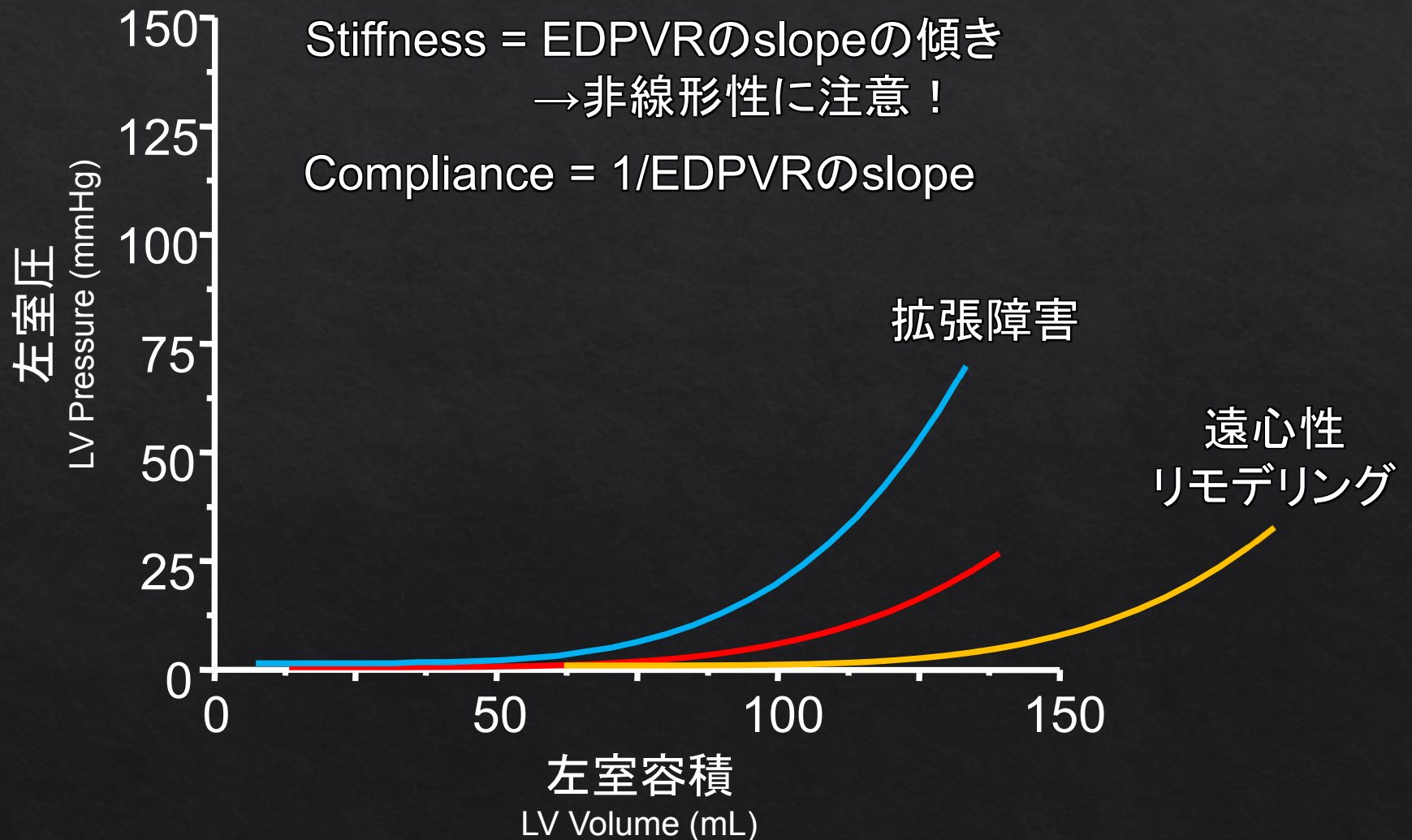
拡張能＝EDPVR

- 左室の拡張末期圧容量関係は非線形

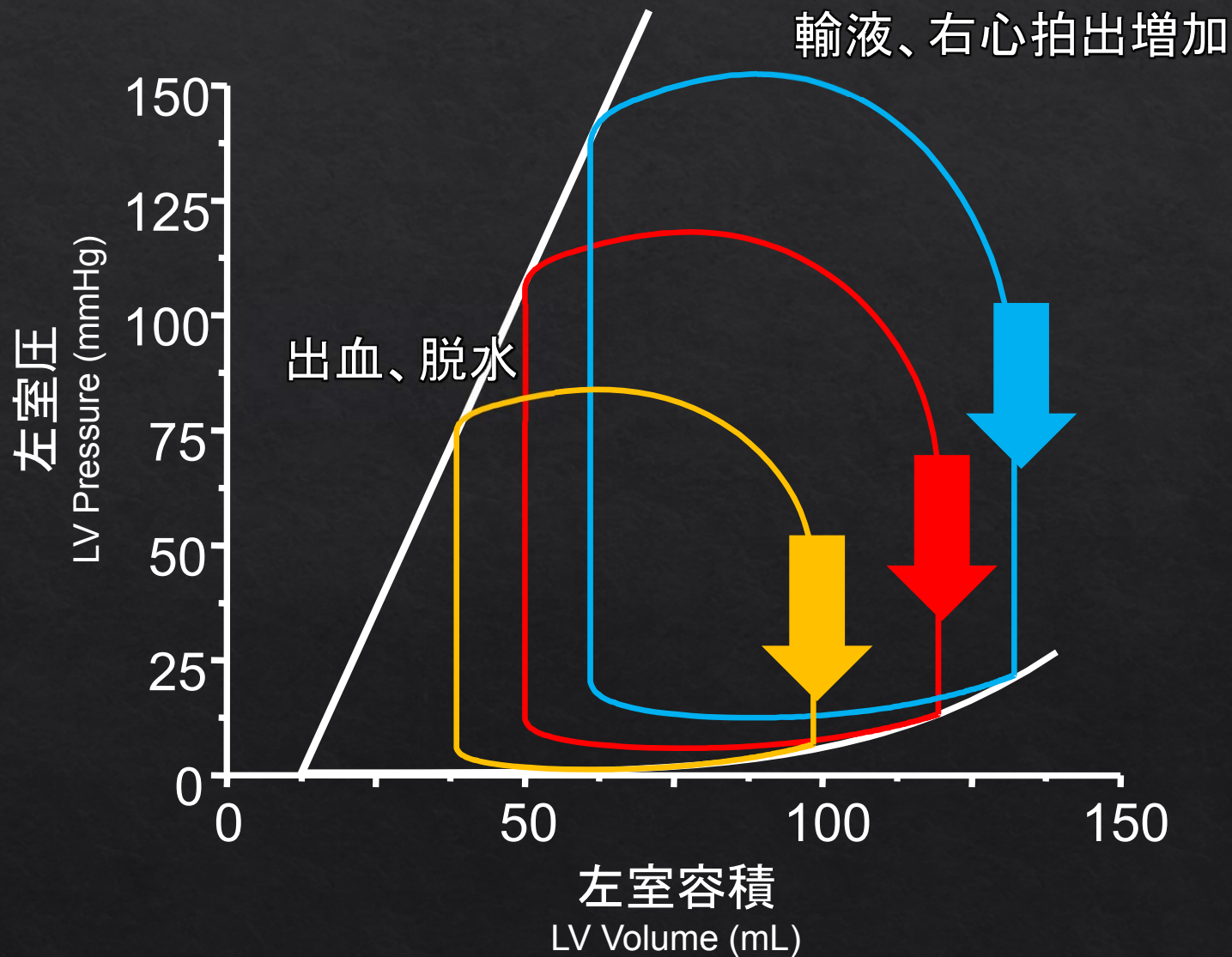


拡張能＝EDPVR

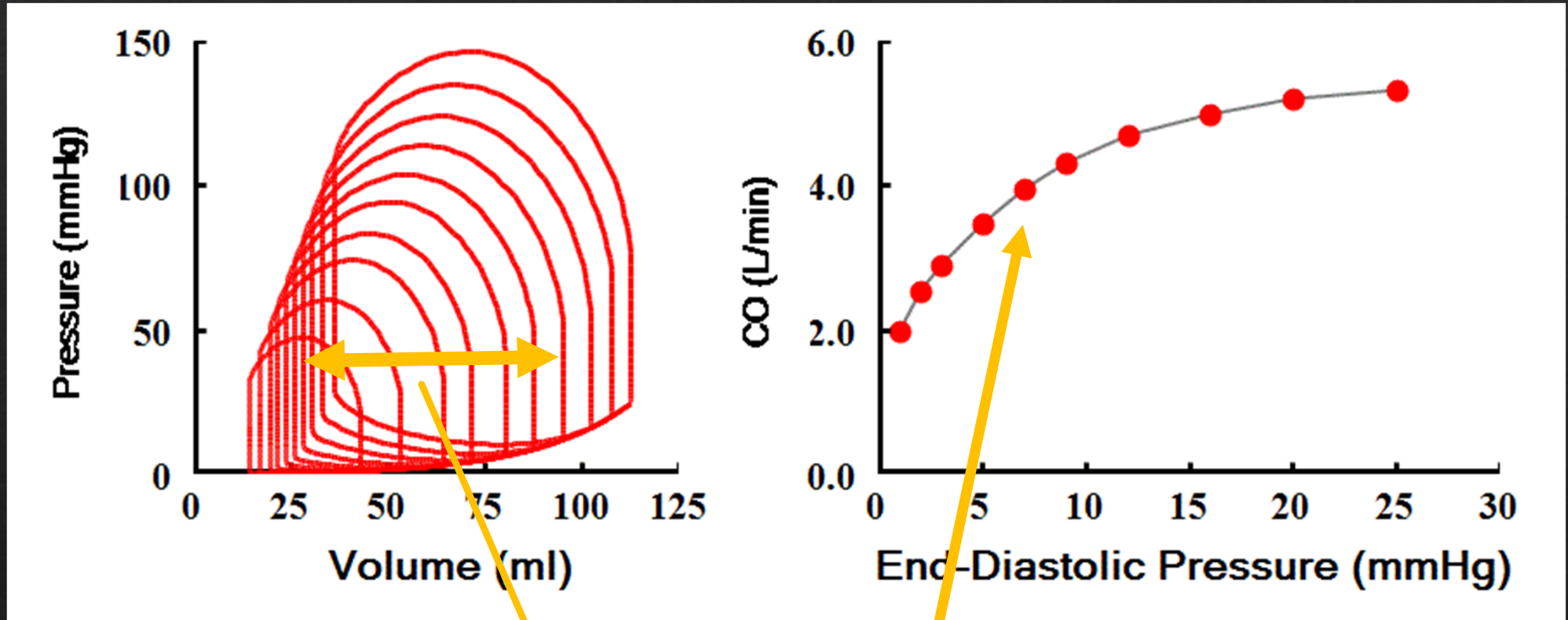
- 左室の拡張末期圧容量関係は非線形



心室の前負荷 (=EDV)



Frank-Starling curveともつながる



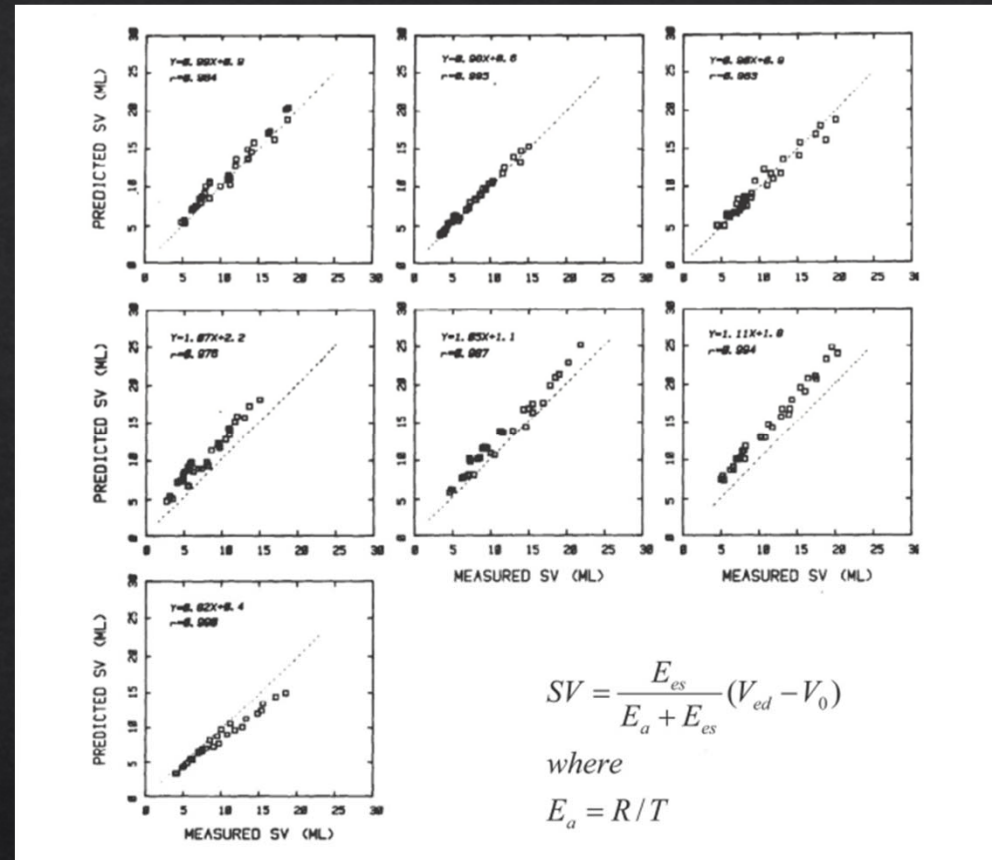
それぞれのpreload時の左室拡張末期圧とstroke volume × 心拍数をプロット

※Episode 0および2で詳細解説

心室の後負荷(=E_a)



Kenji Sunagawa



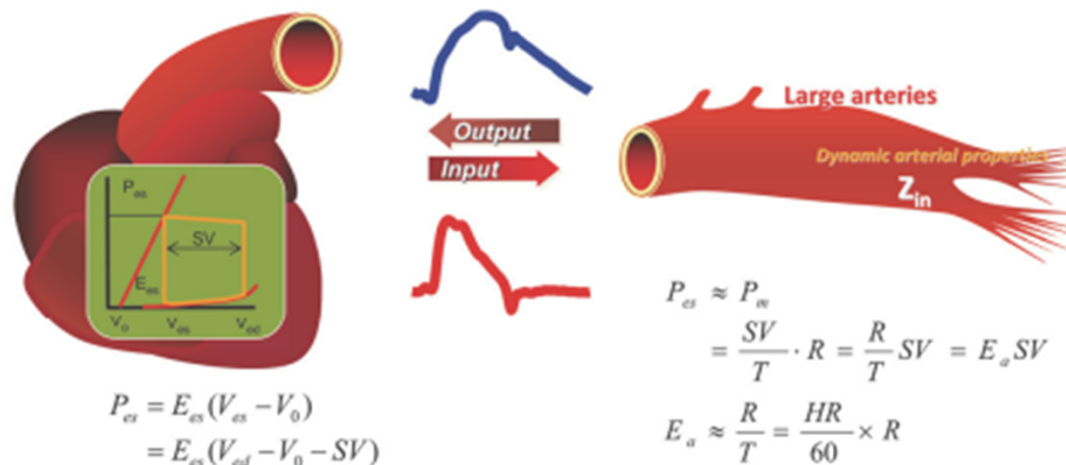
Sunagawa et al. AJP. 1983.

- 後負荷をエラスタンスとして示し、一回心拍出量の決定機構をPV loop上に展開

後負荷をエラストランス化できないか？

循環制御医学会2014における講演レポートより

「なぜ ESPVR や R が分かっているのに CO や SV の推定ができないかということです。心臓特性は ESPVRという硬さ、エラストランス E で表されています。一方、血管特性は伝統的に血圧を血流で割るレジスタンス R で表されてきました。明らかに単位が違います。R 同士でしたら、足したり割ったりができそうですが、R と E ですからどうしようもありません。心臓の E を生かそうとすると、血管も E 表記をしないと両者の結合ができません。あるいは心臓をR で表記しないと血管の R と結合できません。留学して最初の 1 カ月、2 カ月たったころだったと思いますが、思いついたのがここに書いてある数行の式です。」



実効動脈エラスタンス (=1心拍の血管抵抗みたいなもの！?)

$$P_m = R \cdot F \quad \dots \text{血圧と血管抵抗、心拍出の関係}$$

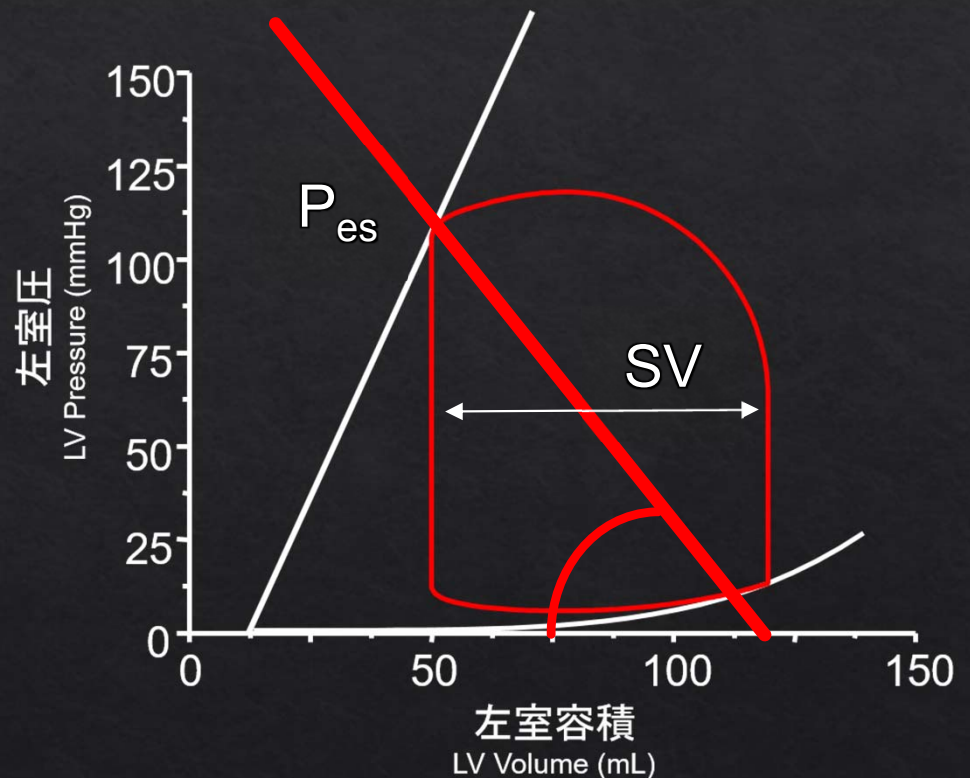
$$F = SV \cdot HR$$

$$\underline{P_m} \doteq \underline{P_{es}} \text{ と近似、}$$

$$\begin{aligned} P_{es} &\doteq R \cdot SV \cdot HR \\ &= (R \cdot HR) \cdot SV \end{aligned}$$

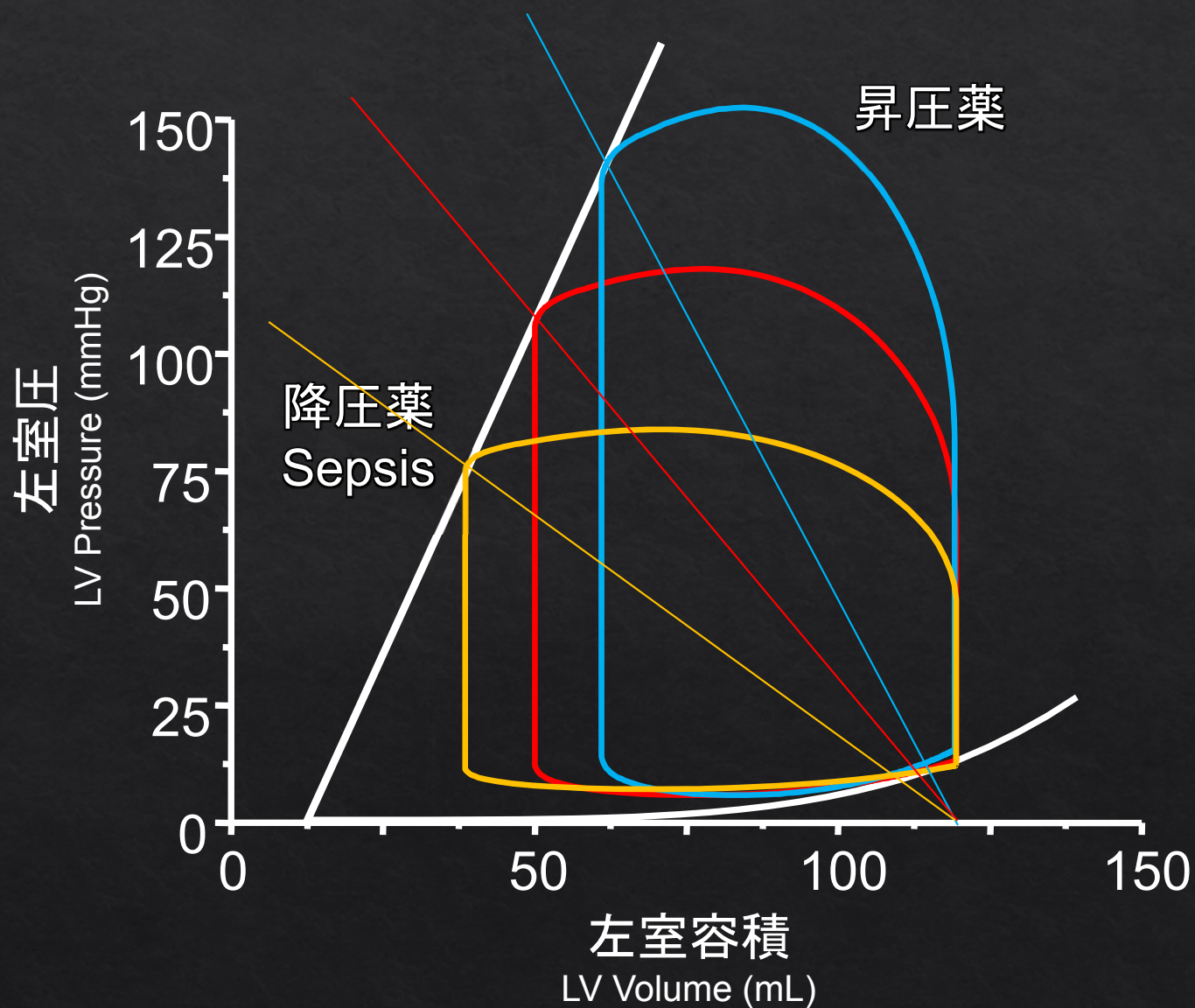
血管特性をエラスタンスとして表現することに成功。砂川らは、これを実効動脈エラスタンス(E_a)と定義した。

$$P_{es} = E_a \cdot SV$$

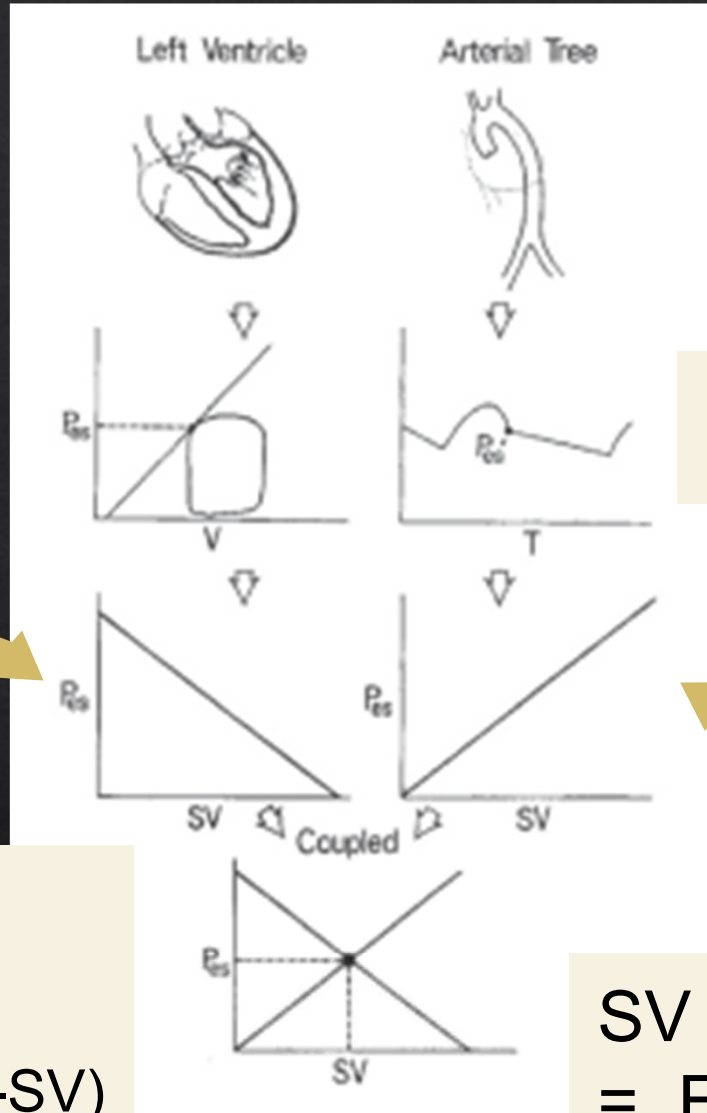


Eaの変化とPV loop

※敢えてEDVが同じ場合



SVはEesとEaの比で決まる



$$P_{es} = E_a \cdot SV$$

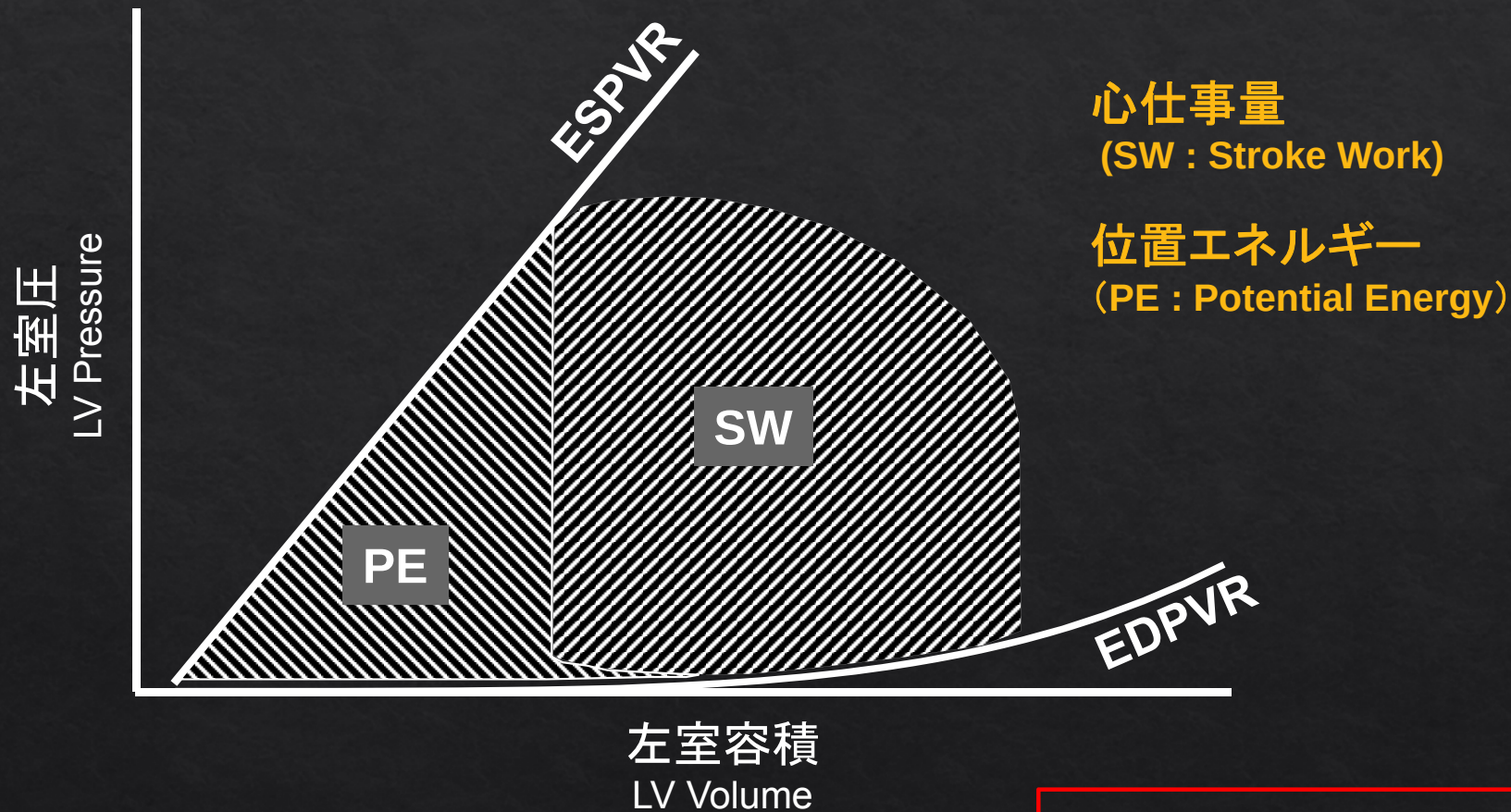
$$P_{es} = E_{es} \cdot (ESV - V_0)$$

$$\times ESV = EDV - SV$$

$$P_{es} = E_{es} \cdot (EDV - V_0 - SV)$$

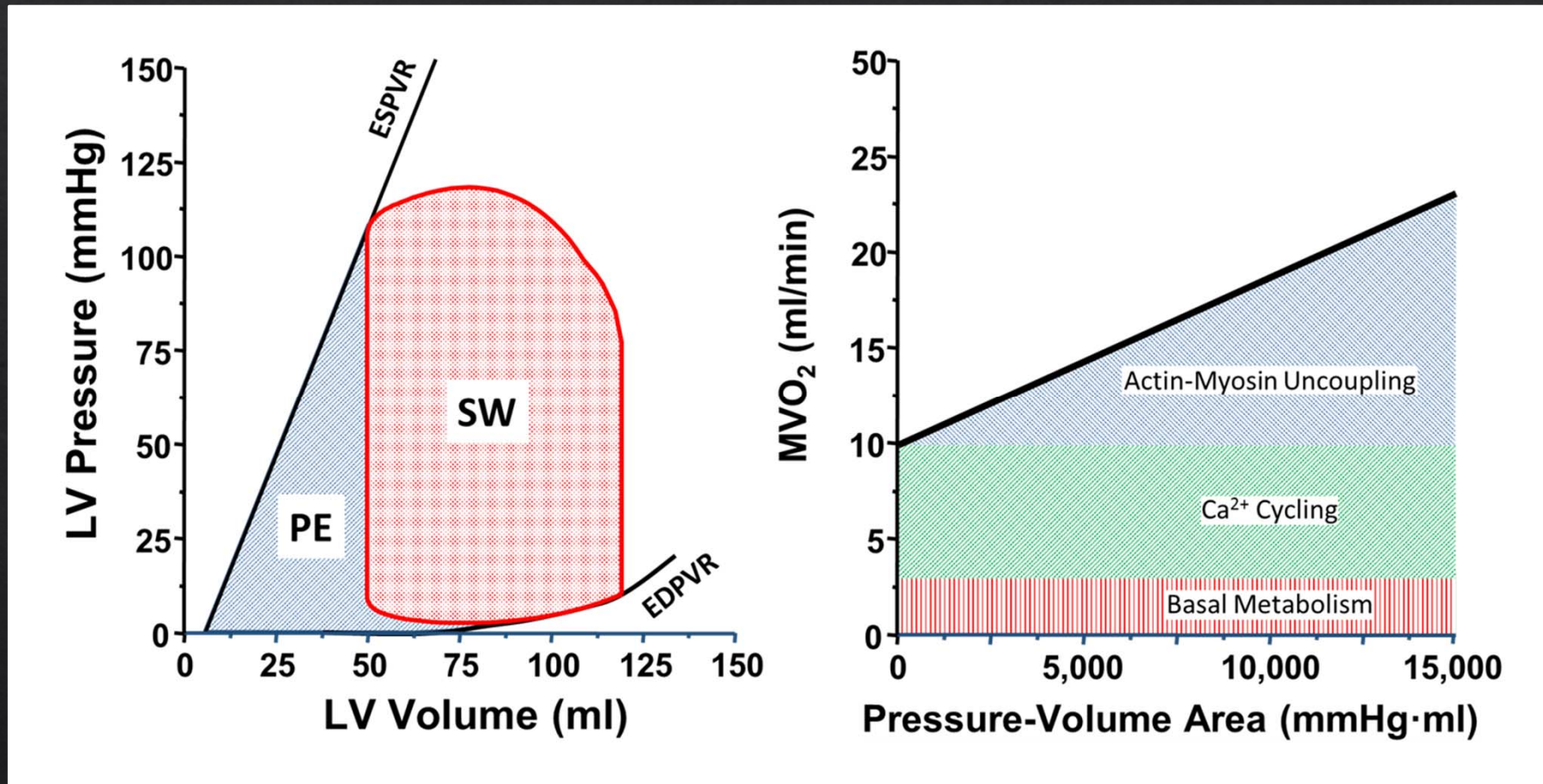
$$SV = \frac{E_{es}}{E_a + E_{es}} (EDV - V_0)$$

Pressure-volume area (PVA)



$$PVA = SW + PE$$

PVA=心筋酸素消費量



- PV loopを考えると心臓の酸素消費がわかる
- PVAの縮小は心臓のunloadとなる

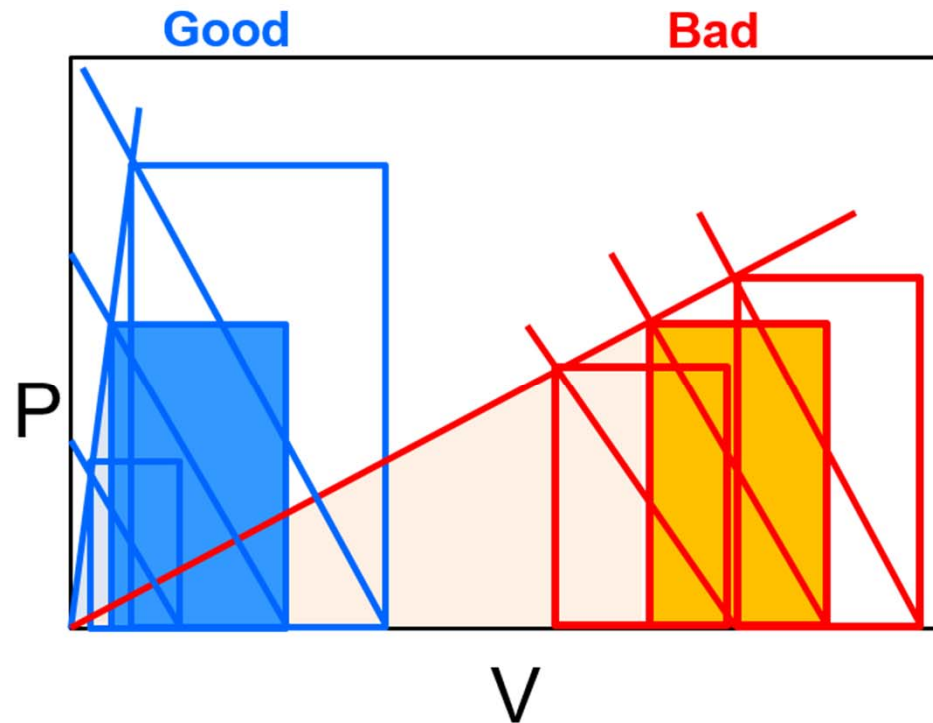
これまでの知識で説明できますか？

いい心臓のStroke volumeは前負荷依存

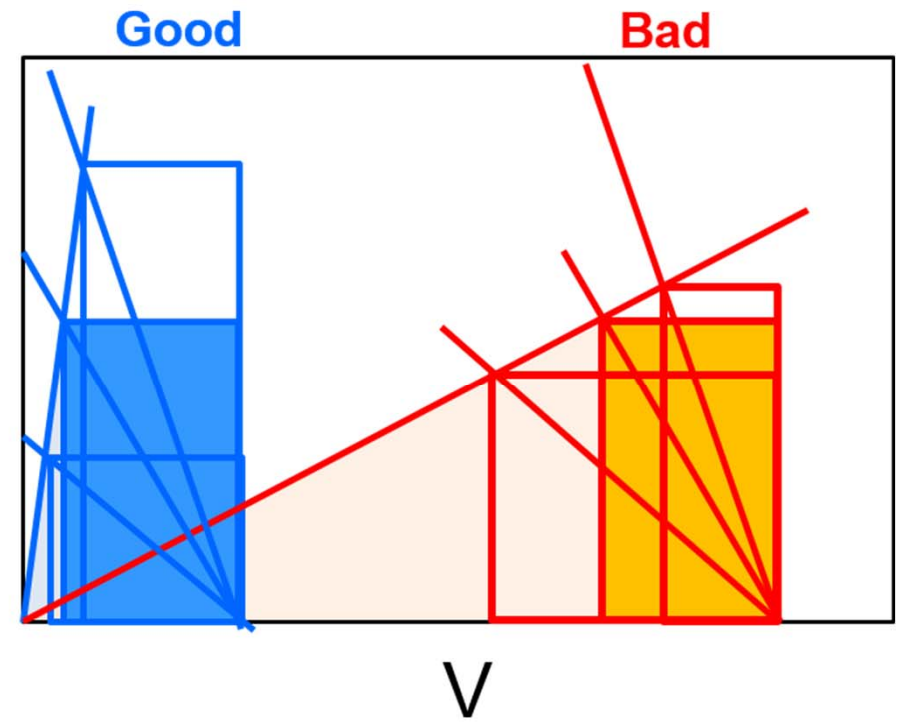
わるい心臓のStroke volumeは後負荷依存

解答に全てがつまっている

前負荷の変化によるSVへの影響



後負荷の変化によるSVへの影響



- わるい心臓はエネルギー効率 (SW/PVA) も悪い