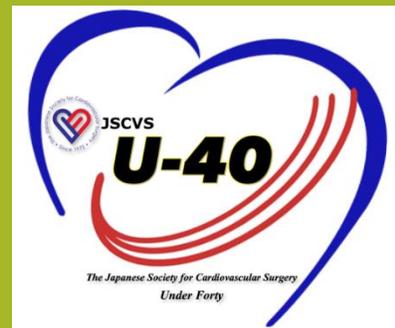


# Online BLC Webinar

明日から役にたつ!

## 補助循環を理解するための 臨床循環動態学

国立循環器病研究センター 朔 啓太



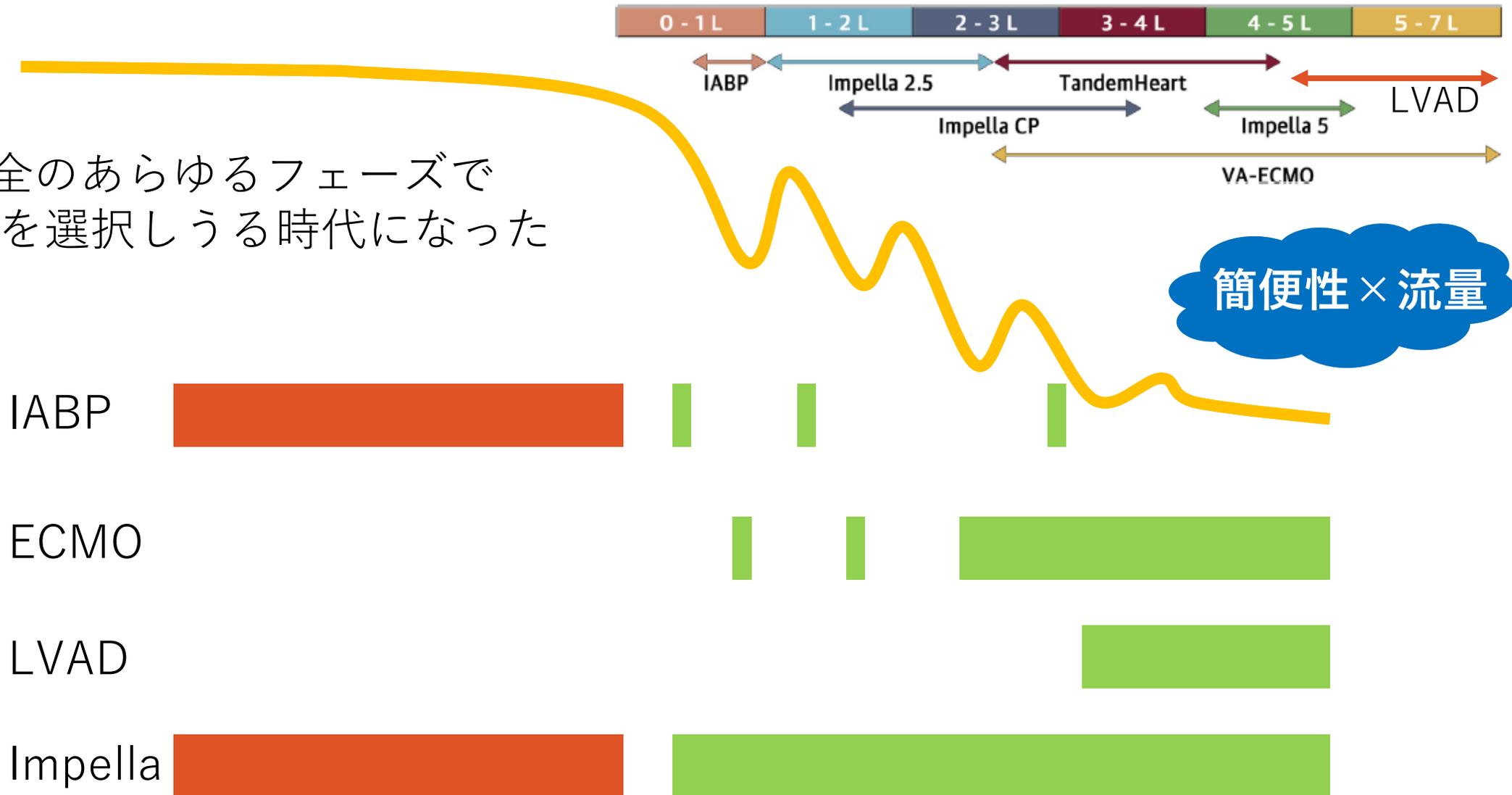
# Agenda

---

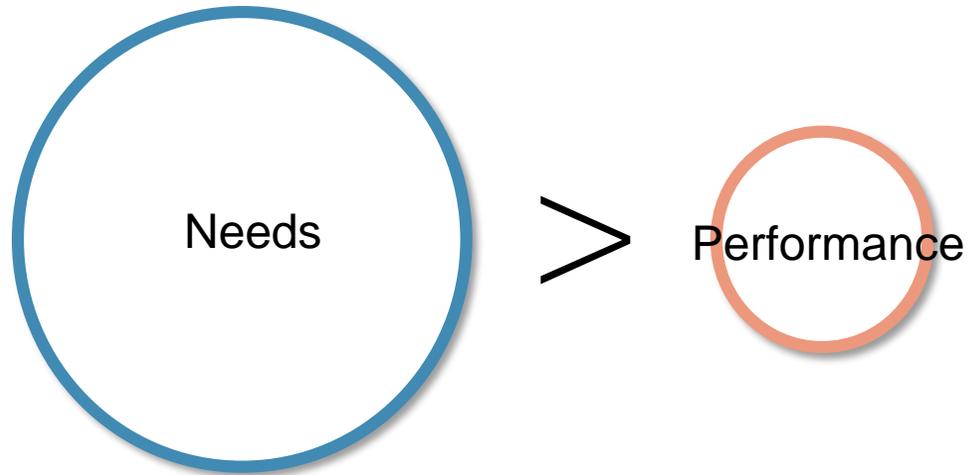
- 循環動態の基礎知識概説
- 補助循環と循環動態フレームワーク
- 循環動態フレームワークで症例を考える
- 新しい循環補助装置Impellaによるハートチーム医療の変化

# 補助循環が必須の時代

心不全のあらゆるフェーズで  
MCSを選択しうる時代になった

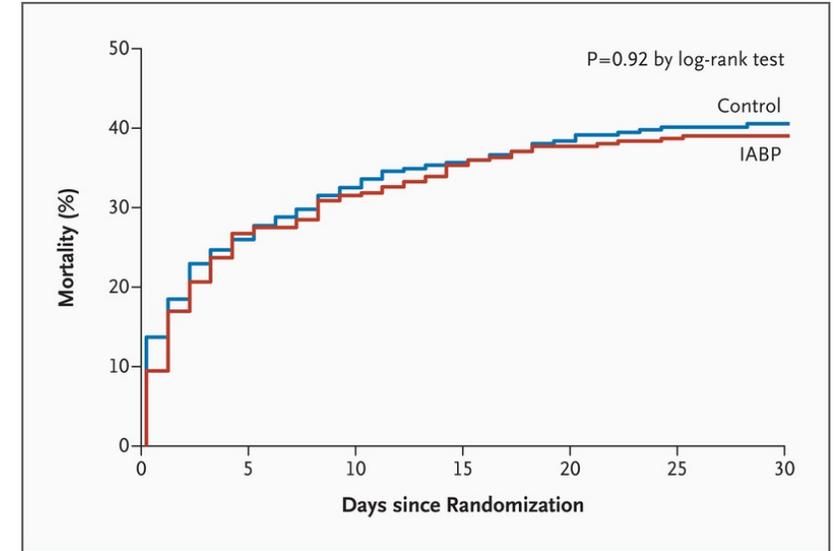


# MCSは一長一短ある



- 循環補助デバイス毎に特性（向き不向き）がある
- 補助循環デバイスはエビデンスだけで使われているわけではない
- デバイスによる目の前の患者管理を最適化するには、循環動態の基礎が重要ではないか？

IABP  
for CS



Impella  
for CS

**RANDOMIZATION IN CARDIOGENIC SHOCK IS CHALLENGING**  
*Attempted Randomized Impella® Trials In Emergent Settings*

Study	Trial ID	Condition	Pts Required (n)	Pts Enrolled (n)	Duration (months)	Status	Discontinuation Reason/comment
FRENCH TRIAL (2006)	NCT00314847	AMI CS	200	19	52	Discontinued	Low Enrollment
ISAR-SHOCK (2006)	NCT00417378	AMI CS	26	26	19	Completed	Non-Randomized Execution; Cardiac Output Study
IMPRESS in STEMI (2007)	NTR1078 Inotocisler.ol	STEMI Pre-CS	130	18	22	Discontinued	Low Enrollment
RECOVER I FDA (2008)	NCT00596728	PCCS	Up to 20	17	28	Completed	Feasibility Study
RECOVER II FDA (2009)	NCT00972270	AMI CS	384	1	18	Discontinued	Low Enrollment; 50 IRBs approved
RELIEF I (2010)	NCT01185691	ADHF	20	1	33	Discontinued	Low Enrollment
IMPRESS in CA (2016)	NTR3450	Cardiac Arrest Mechanical Ventilation	>100	48	52	Discontinued	Low Enrollment; Non-Randomized Execution
DanGer SHOCK (2012)	NCT01633502	AMI CS	360	103	68	Enrolling	ABMD funded, ongoing

# Back to Basic

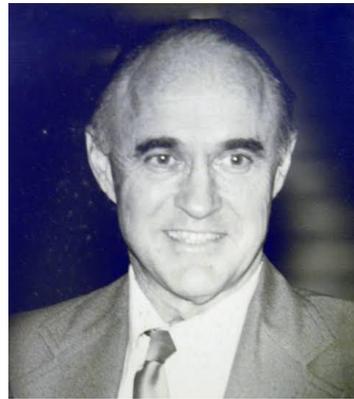
血液循環説



PV loop



心拍出量曲線と心臓仕事

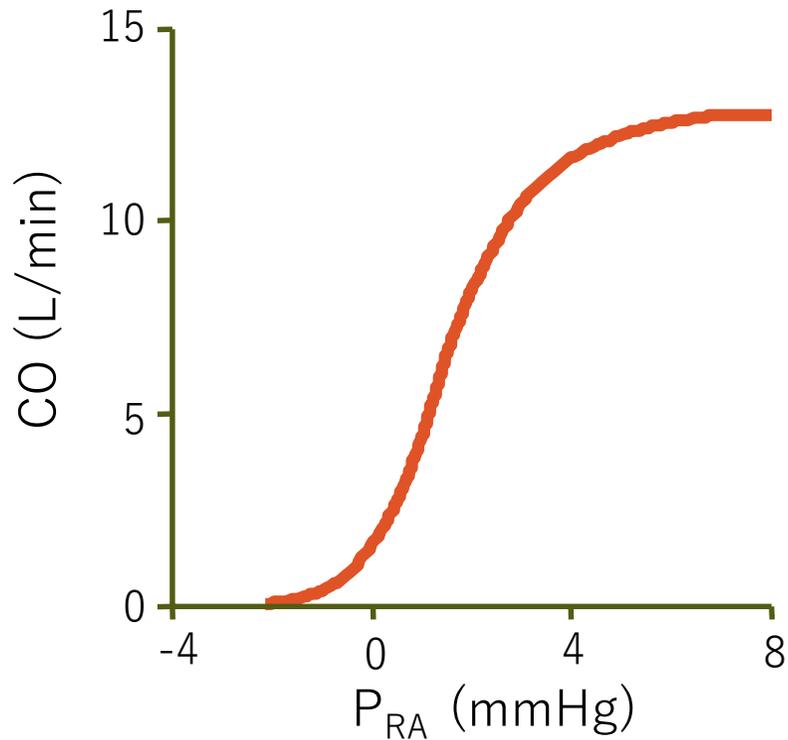


循環平衡

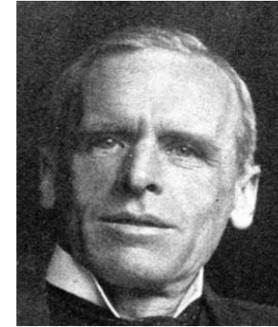


PV loopと心機能、カップリング

# フランクスターリングの法則



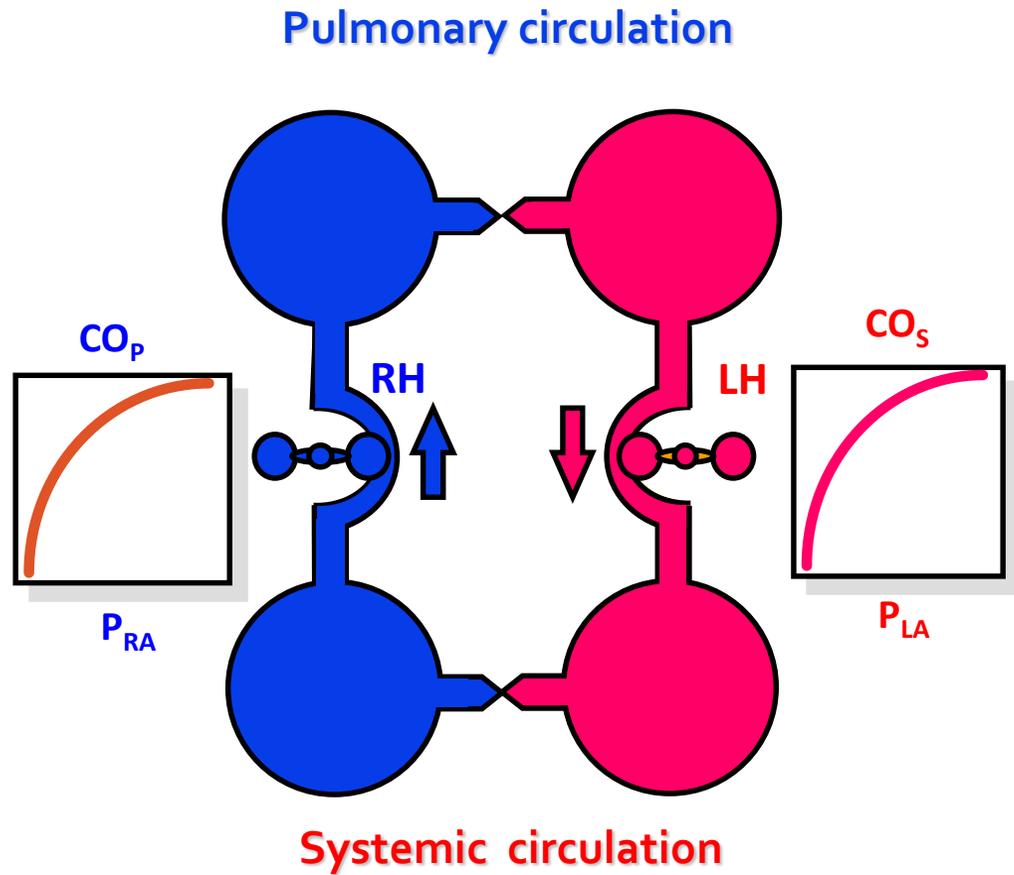
Otto Frank



Ernest Starling

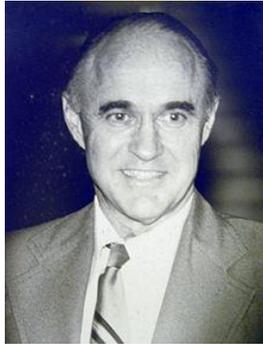
- 心拍出は前負荷依存に増加する
- 心拍出量曲線は心臓の機能を統合したポンプ性能を示す。

# 実はすごい仕組み！

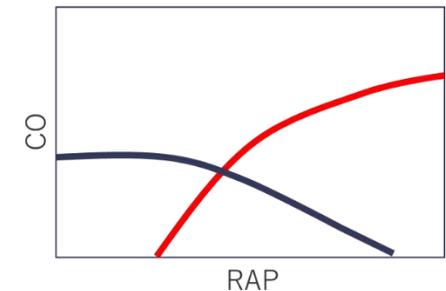
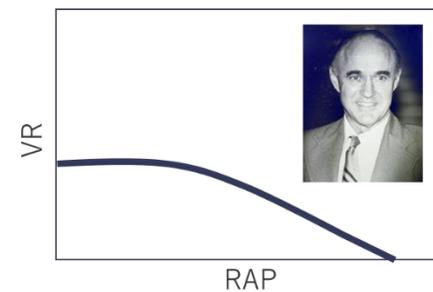
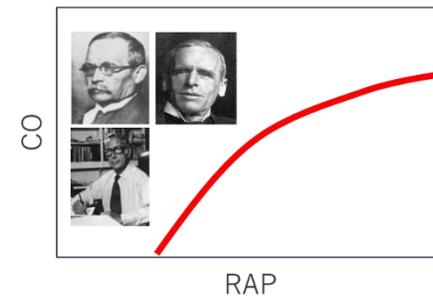
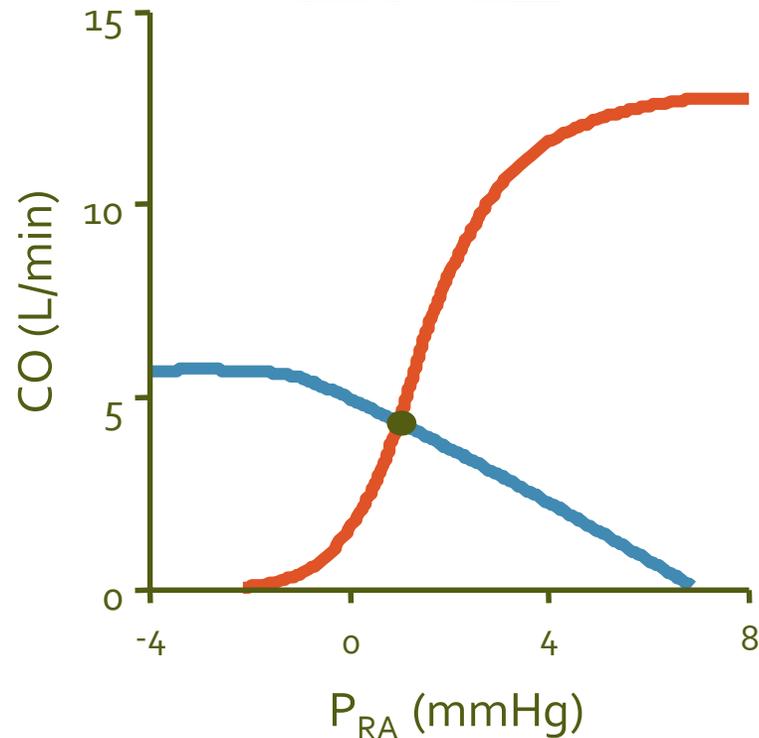


- 2つの心室が勝手にバランスする！
- 一定流量のポンプだったら大変！

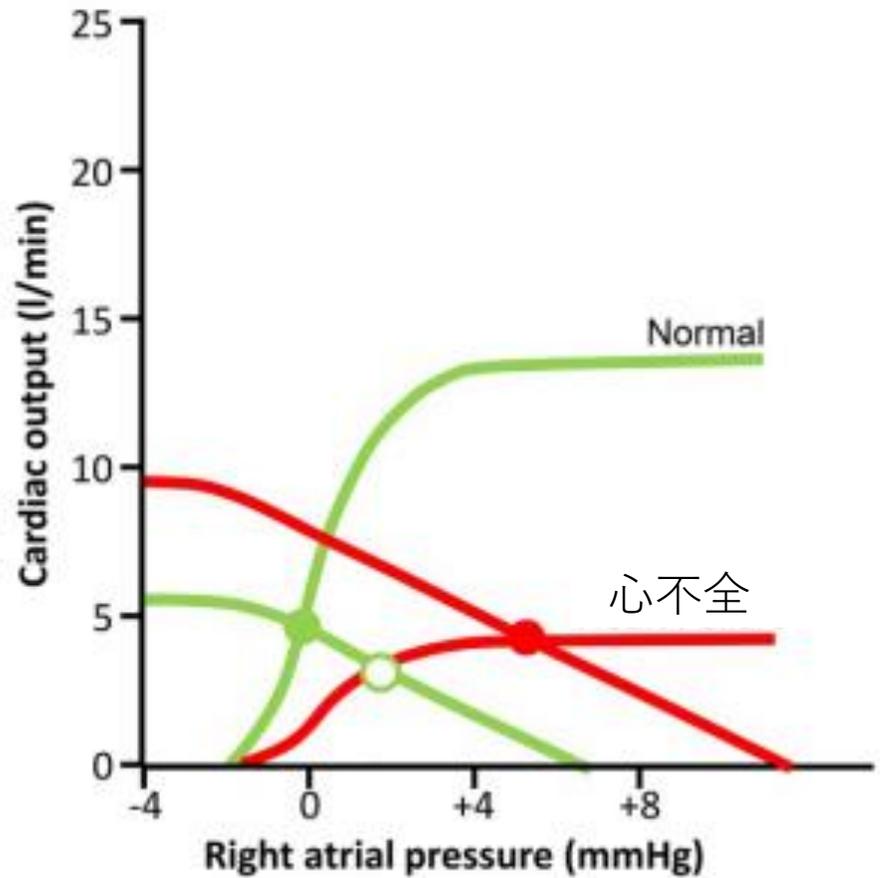
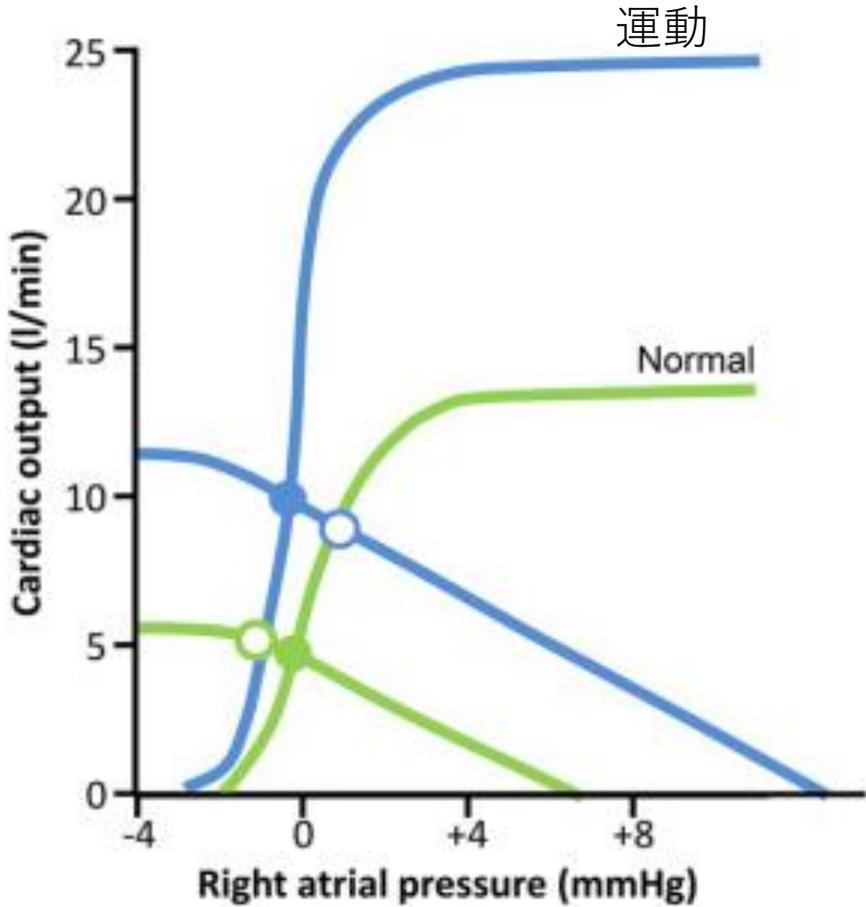
# ガイトンの循環平衡



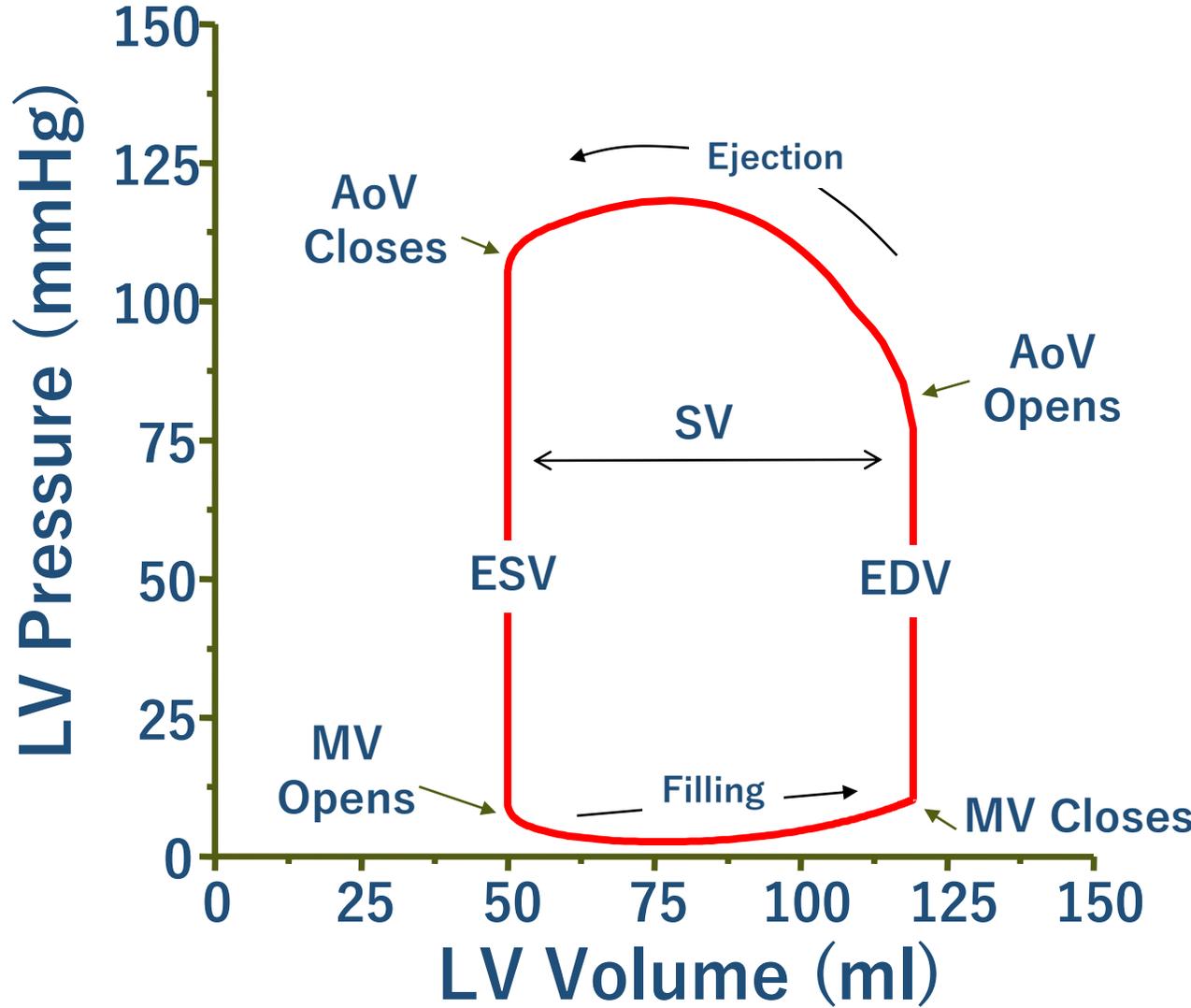
- 心臓は戻ってくる以上の拍出はできない。
- 静脈からの血液の戻り方を静脈還流曲線で示した。



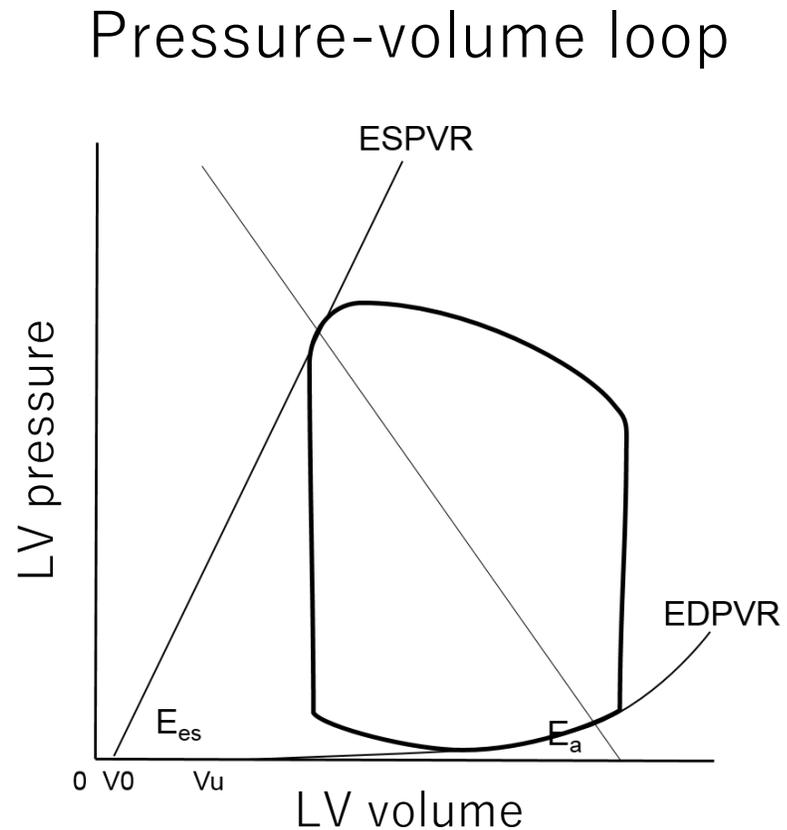
# 循環動態を理解 = 循環平衡の理解



# 全体→心臓



# PV loopを評価する意義

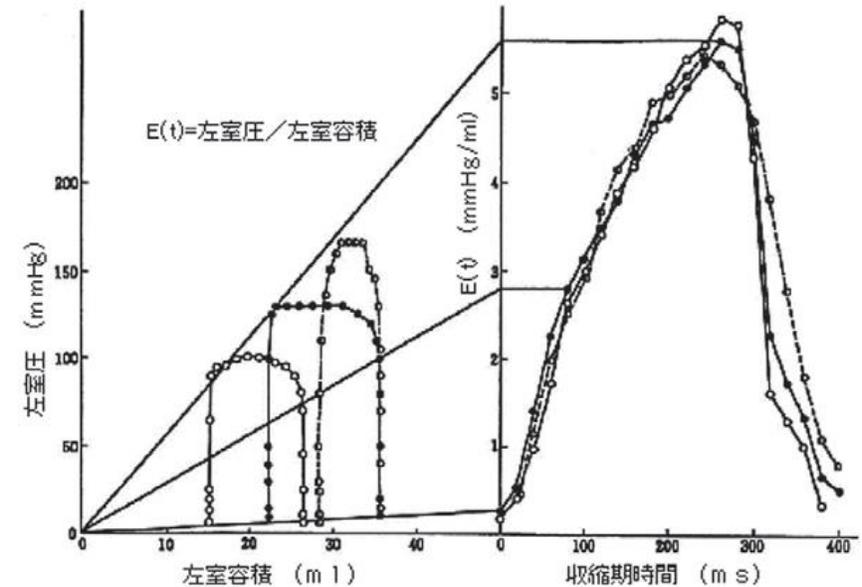
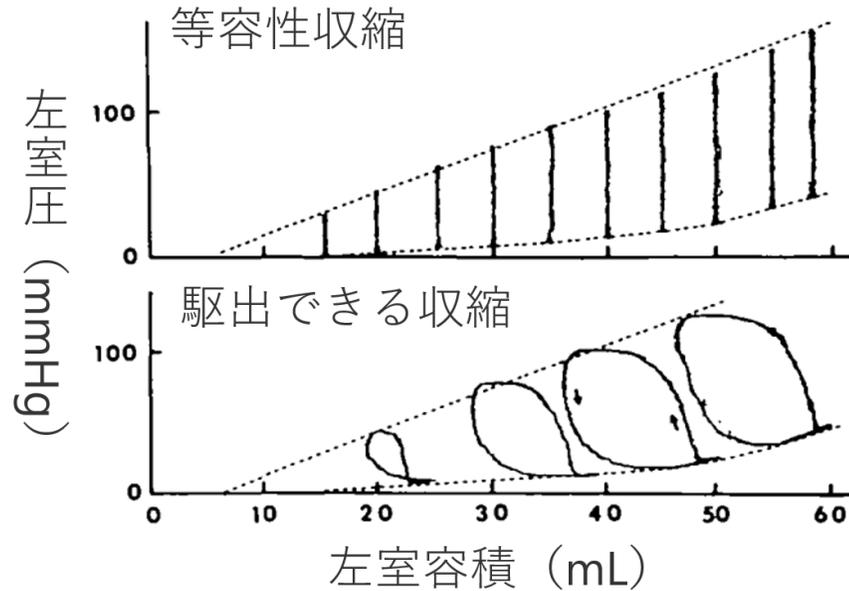


心臓の収縮性と  
拡張性が定量化

心臓の前負荷と  
後負荷が可視化

心臓の酸素消費  
を反映

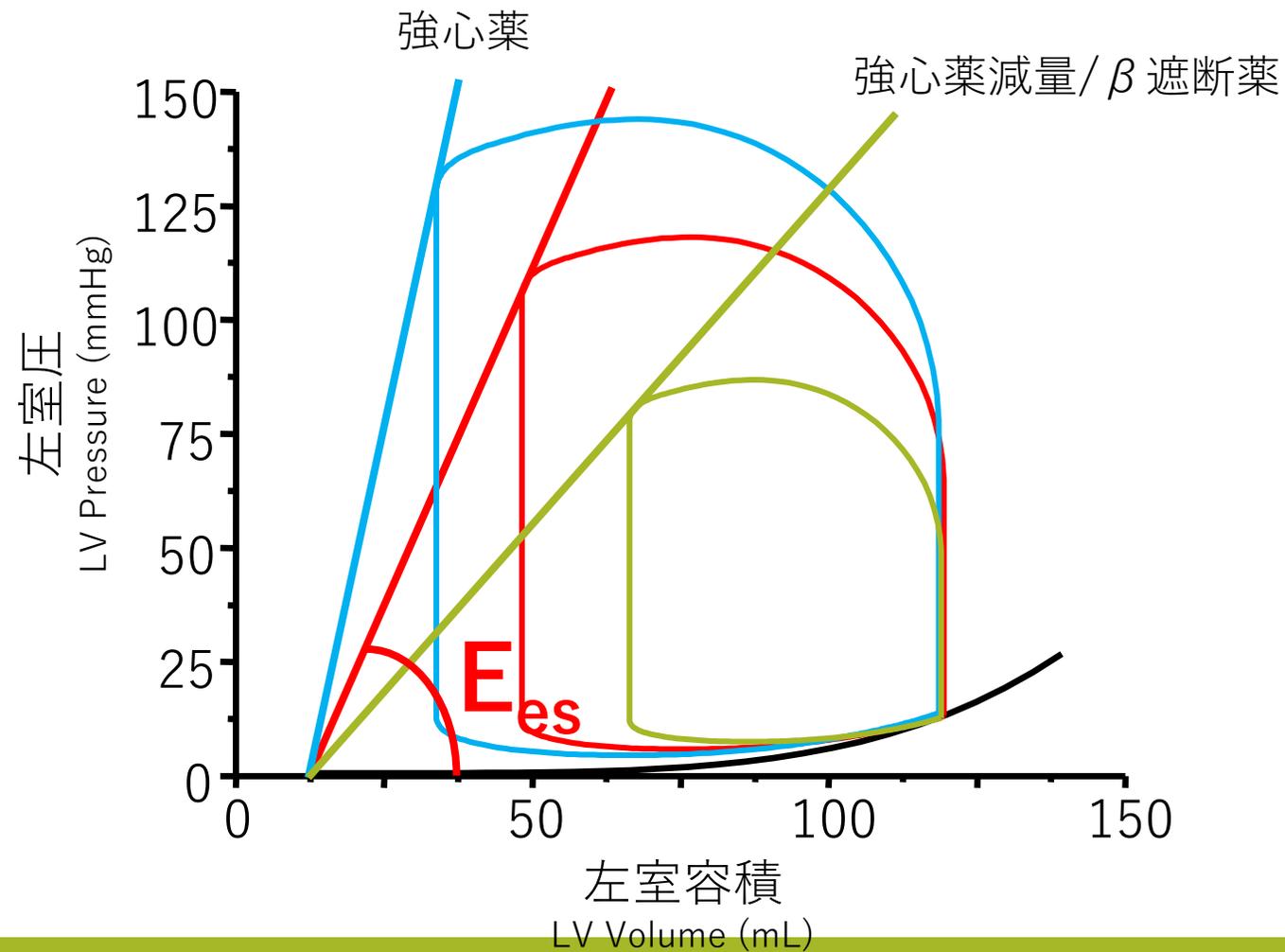
# ESPVR



- 負荷様式を変えても最大の収縮期圧容量関係が変わらず直線が引ける。
- 心室の硬さが心周期内で変わることに着目し、時変弾性モデルへと展開させることで、見事に「心機能」を記述した。

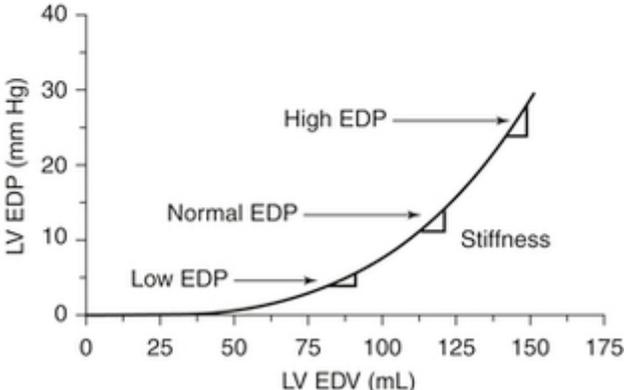
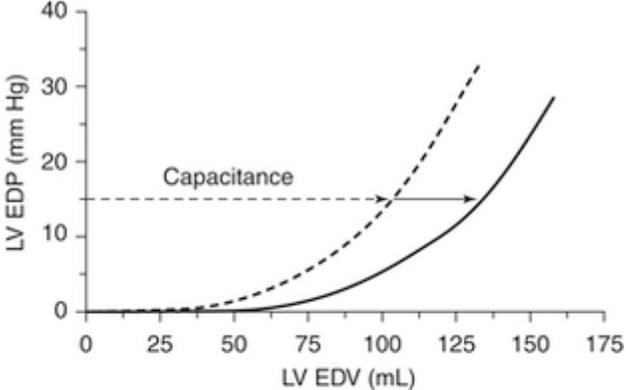
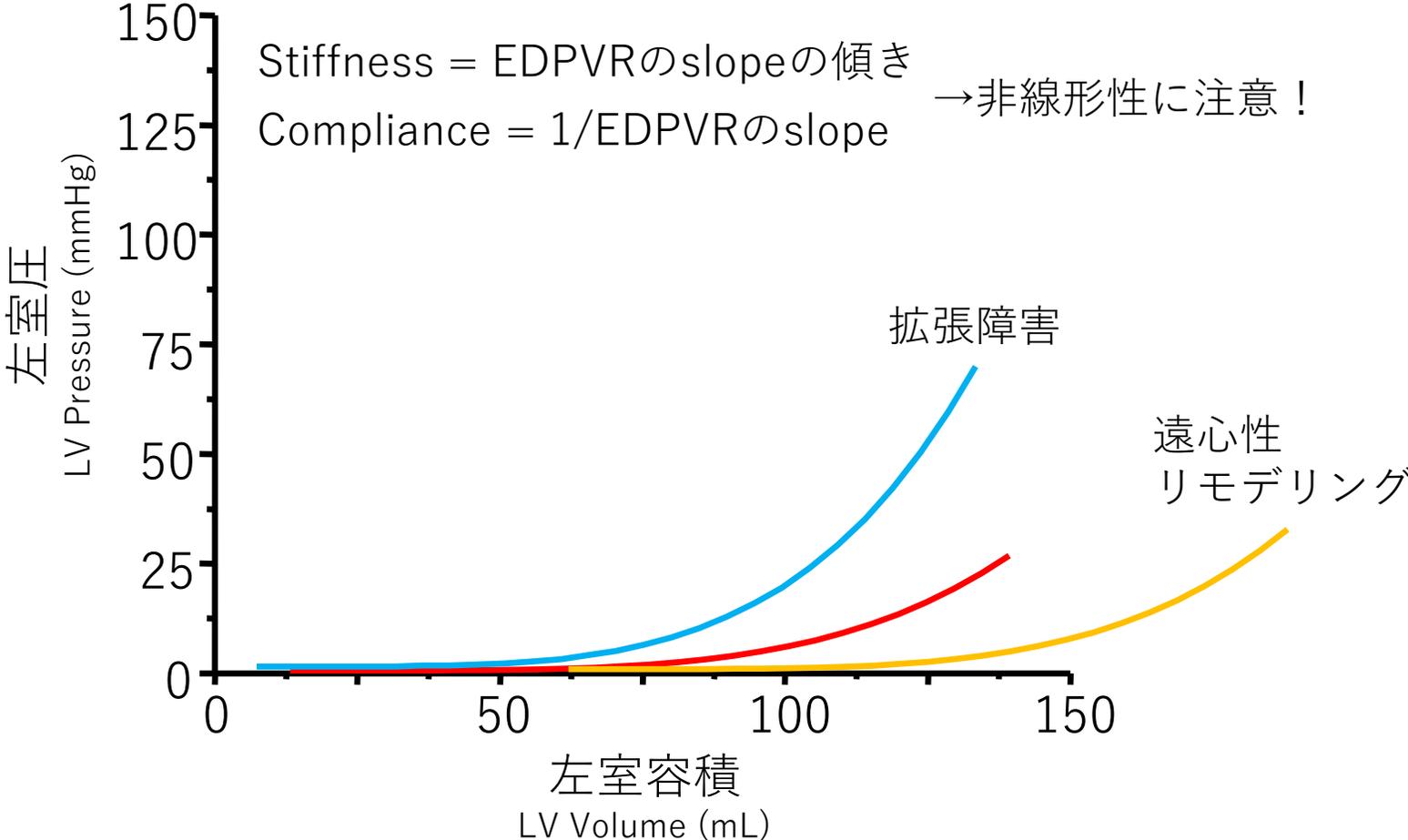
# ESPVRの傾き ( $E_{es}$ ) = 収縮性

- 左室の収縮末期圧容量関係は直線になる



# EDPVR = 拡張性

- 左室の拡張末期圧容量関係は非線形



# 実効動脈エラスタンス (Ea) = 後負荷

1心拍における血管抵抗みたいなもの

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

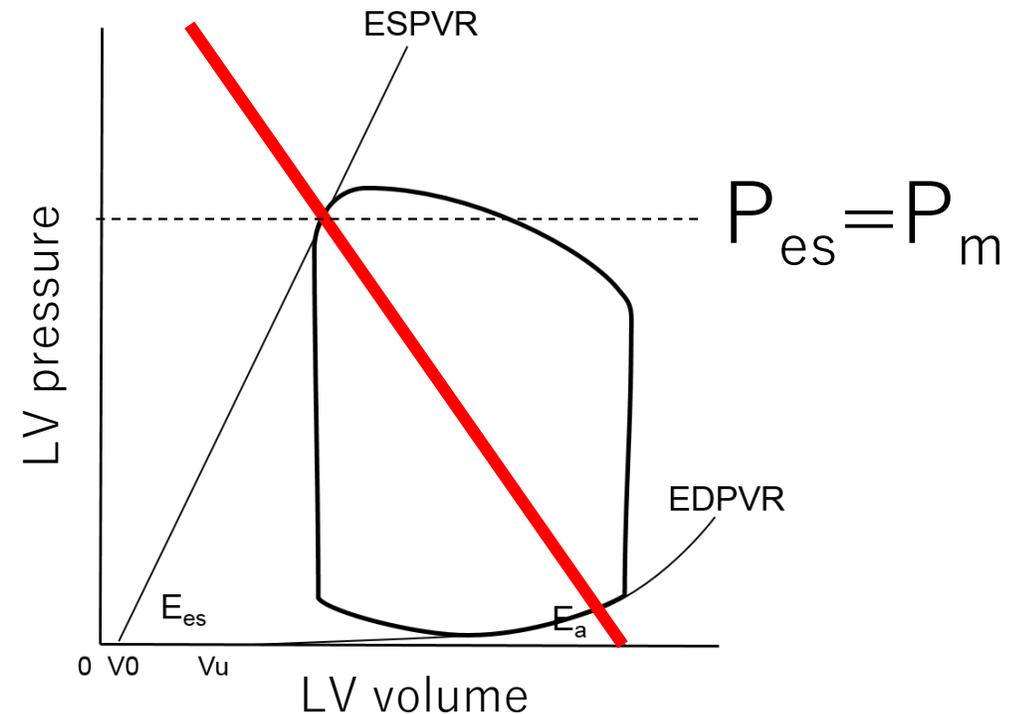
$$F = SV \cdot HR$$

$P_m \doteq P_{es}$  と近似、

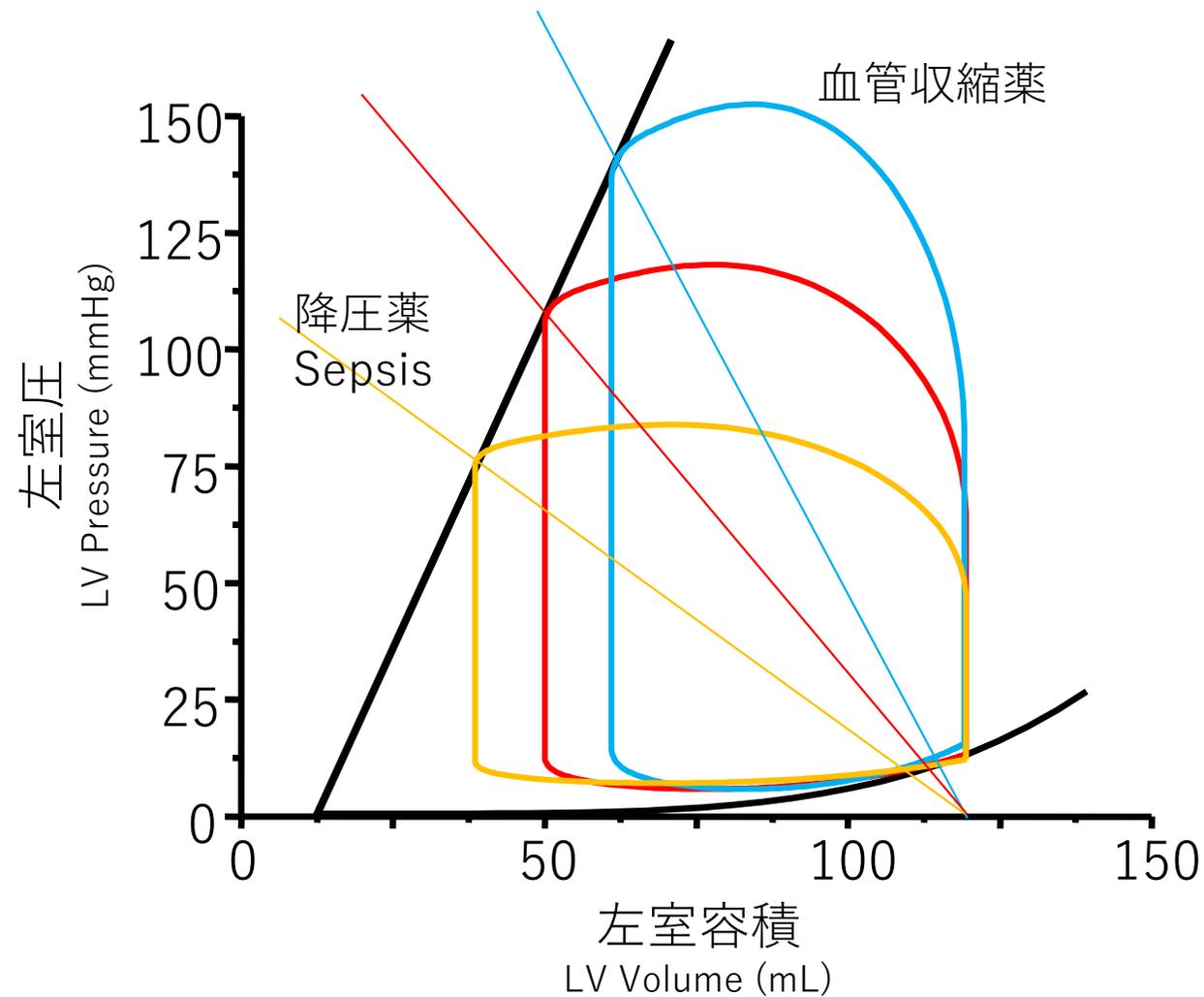
$$P_{es} \doteq R \cdot SV \cdot HR \\ = (R \cdot HR) \cdot SV$$

ここで  $R \cdot HR$  は収縮末期圧・1回拍出量関係の直線の傾きであり、心室に対する実効的な「後負荷」の指標となる。これを実効動脈エラスタンス ( $E_a$ ) と定義すると

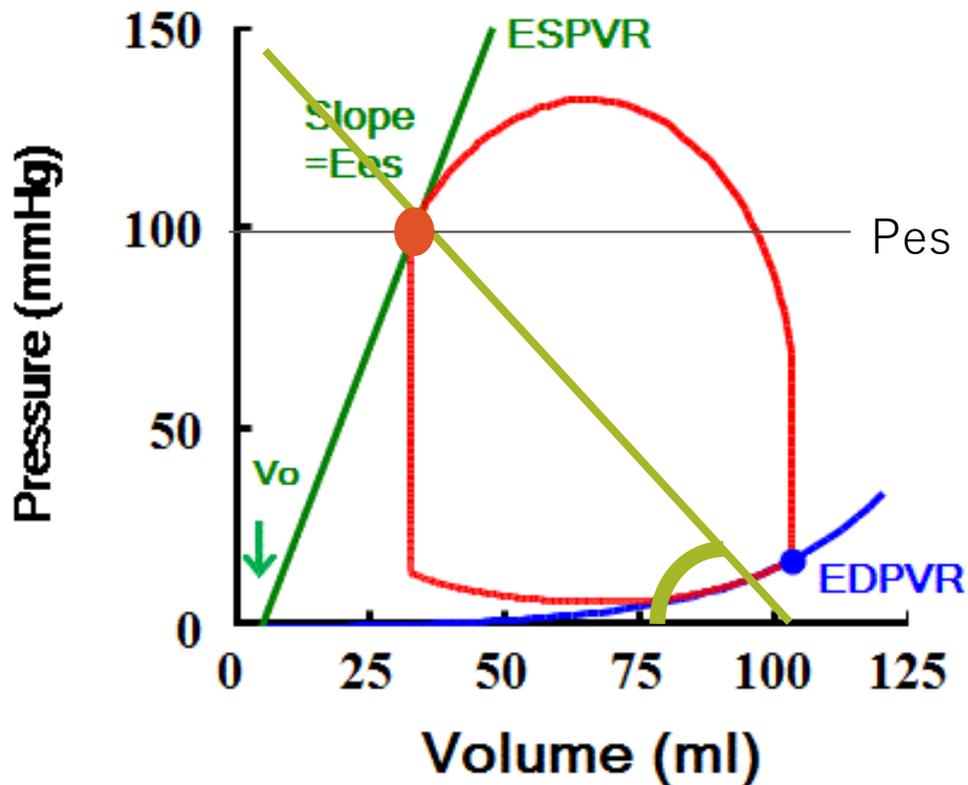
$$P_{es} = E_a \cdot SV$$



# 実効動脈エラストランス (Ea) = 後負荷



# カップリングって何？



ESPVR: End-Systolic Pressure-Volume Relationship  
EDPVR: End-Diastolic Pressure-Volume Relationship

心臓収縮で表す

$$P_{es} = E_{es} (V_{es} - V_0)$$

$$= E_{es} (V_{ed} - SV - V_0)$$

実効的後負荷( $E_a$ )で表す

$$P_{es} \approx R * CO$$

$$= (R * HR) * SV$$

$$= (R/T) * SV$$

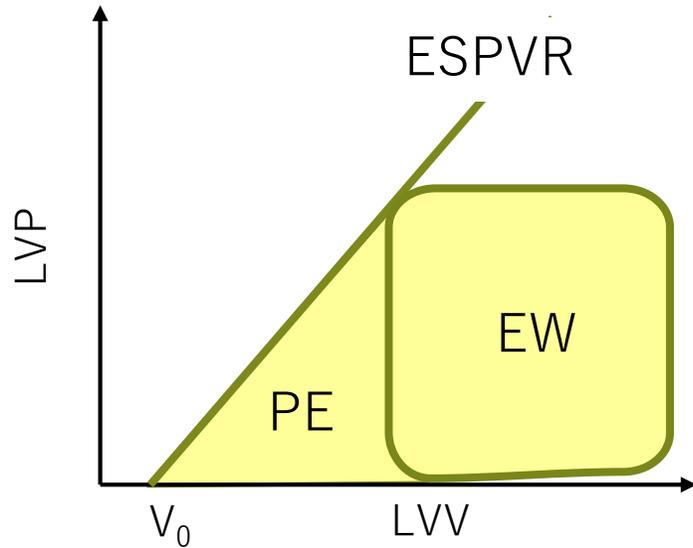
$$= E_a * SV$$

一拍毎の心臓・動脈カップリング

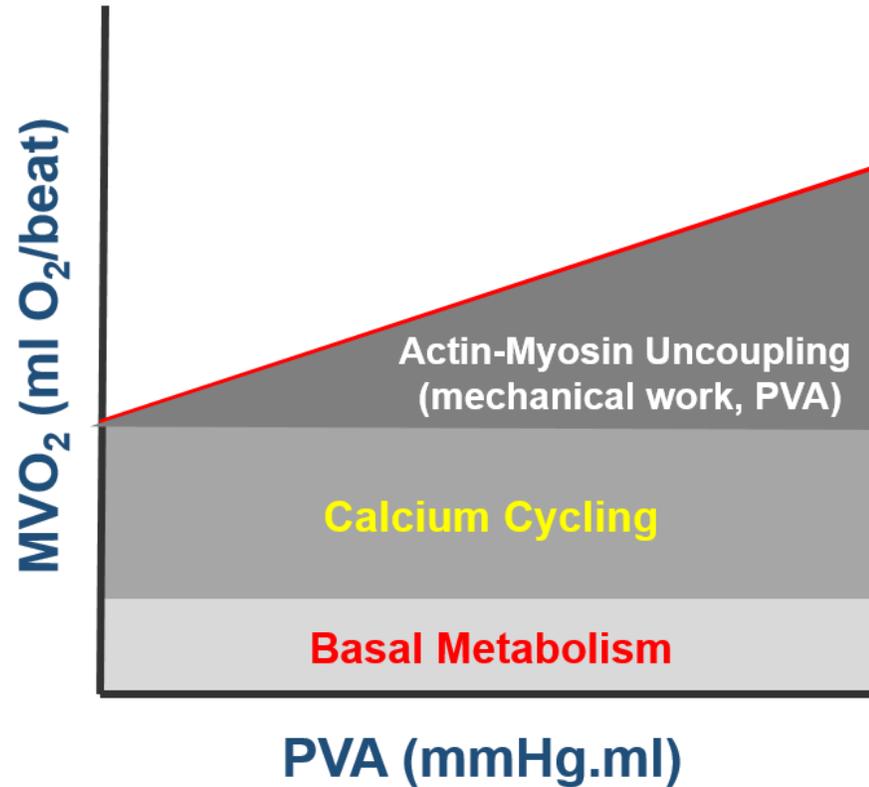
$$SV = \frac{E_{es}}{E_a + E_{es}} (V_{ed} - V_0)$$

Ejection fraction

# 酸素消費を表す



EW : External work, 外的仕事  
PE : Potential energy  
PVA=EW+PE

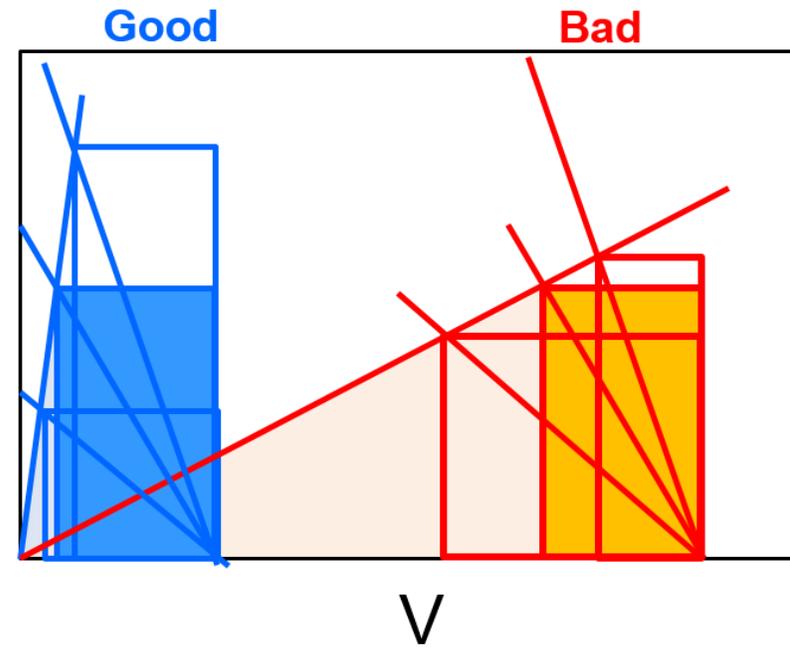
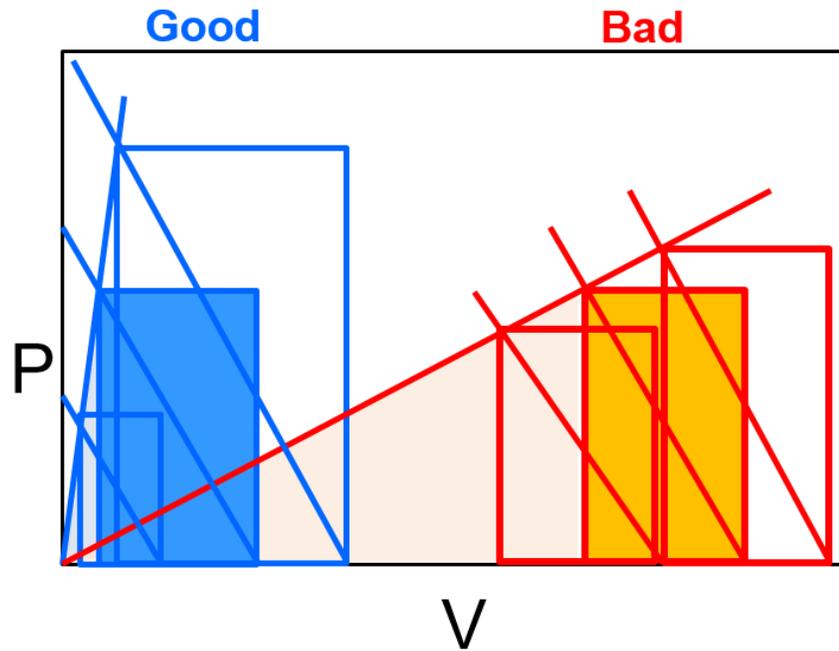


PVAは心室の酸素消費 (/beat) を反映する  
= PVAをみれば酸素消費がわかる！

# いい心臓と悪い心臓

前負荷

後負荷



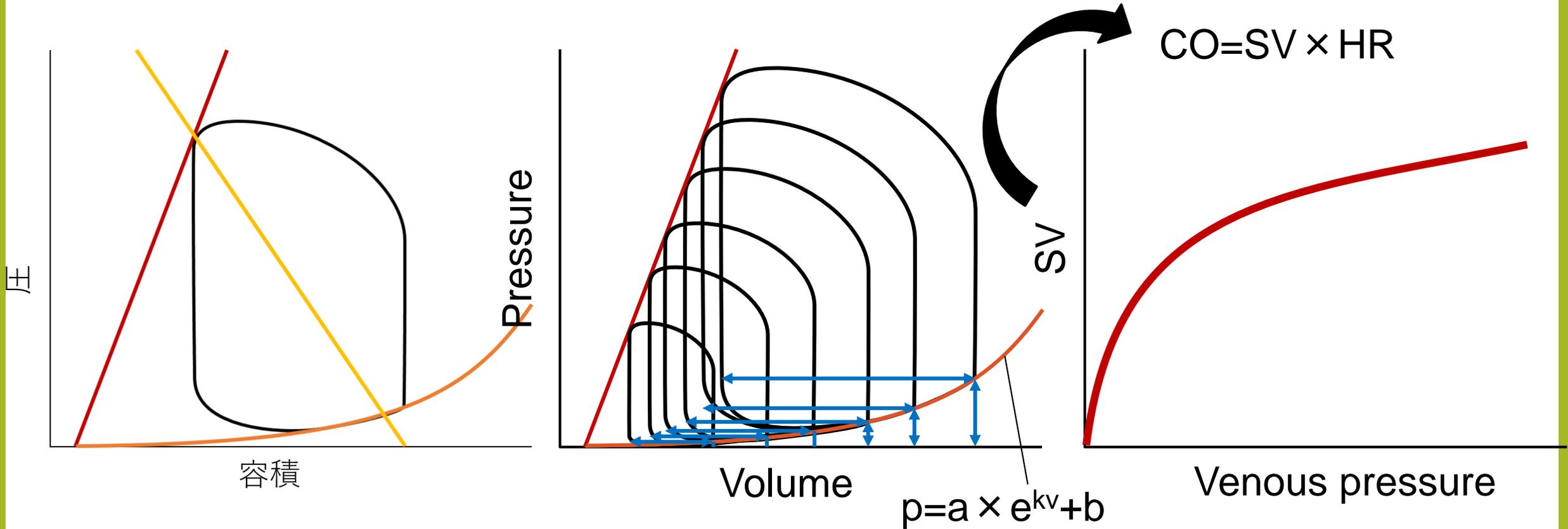
## 良い心臓

- SVは前負荷依存
- SVは後負荷非依存
- エネルギー効率が良い

## 悪い心臓

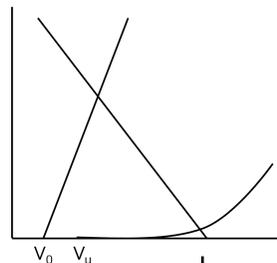
- SVは後負荷依存
- SVは前負荷非依存
- エネルギー効率が悪い

# PV loop → 心拍出曲線



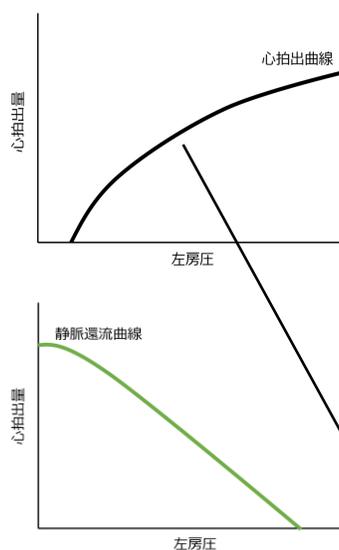
# 本来的な循環の理解

心室と  
血管（後負荷）  
の性質

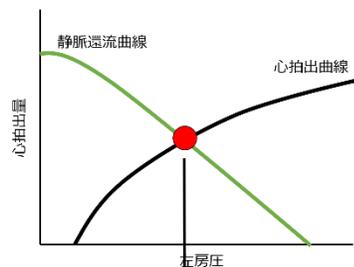


この時点では前負荷は定義できない！

心機能曲線  
+  
静脈還流

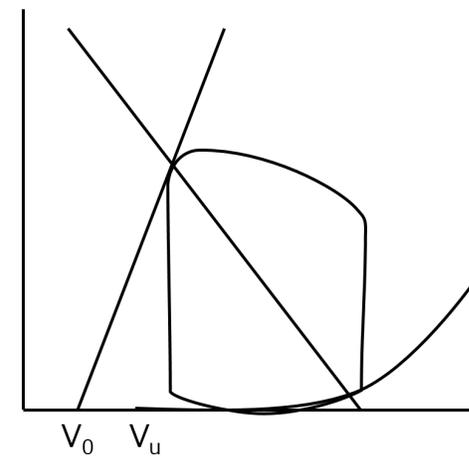


循環平衡



ここで前負荷が定義

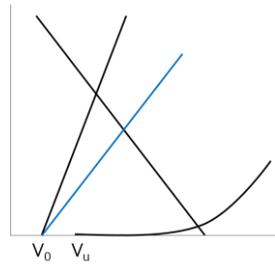
前負荷からE<sub>a</sub>を書き入  
れてPV loop完成



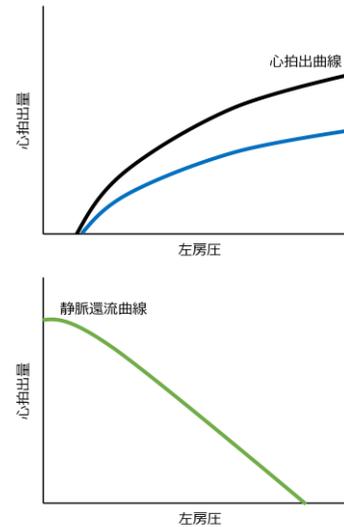
PV loopから心機能曲線は導出される

# 心収縮能低下時はどうなる？

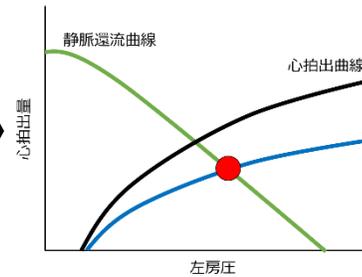
心室と血管  
の性質



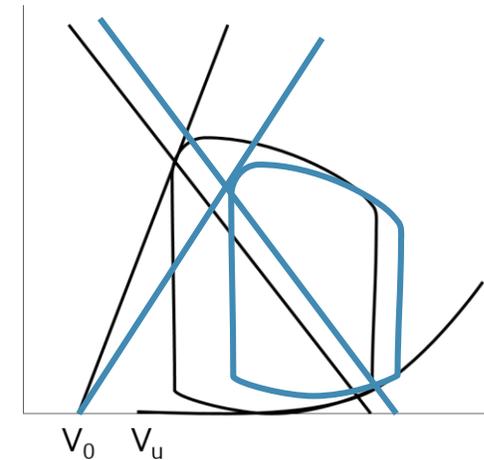
心機能曲線  
+  
静脈還流



循環平衡



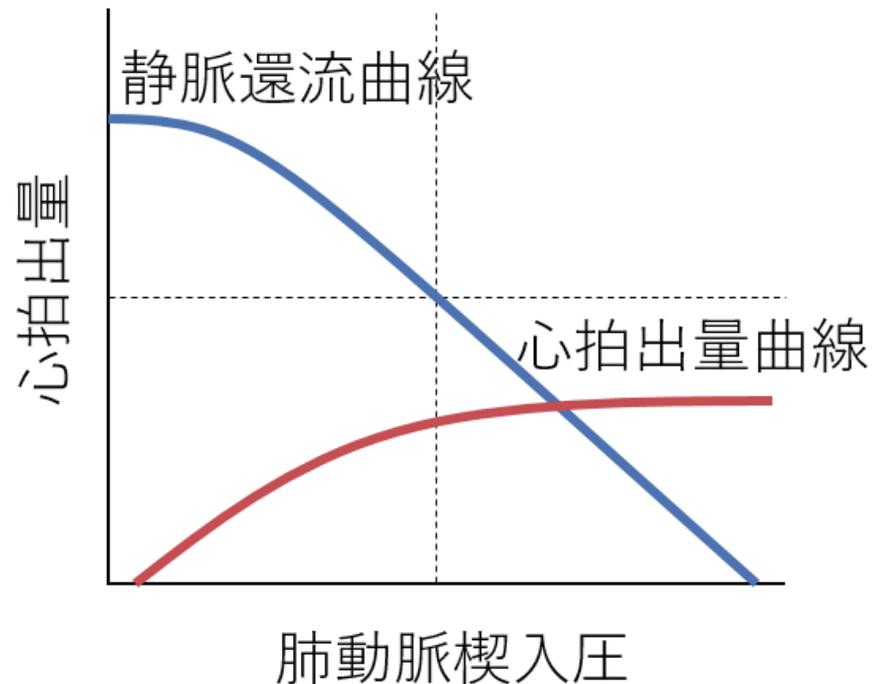
PV loop



$E_{es}$  が低下することでSVが低下し、LVEDPが上昇するメカニズムが可視化でき、理解が容易になる。

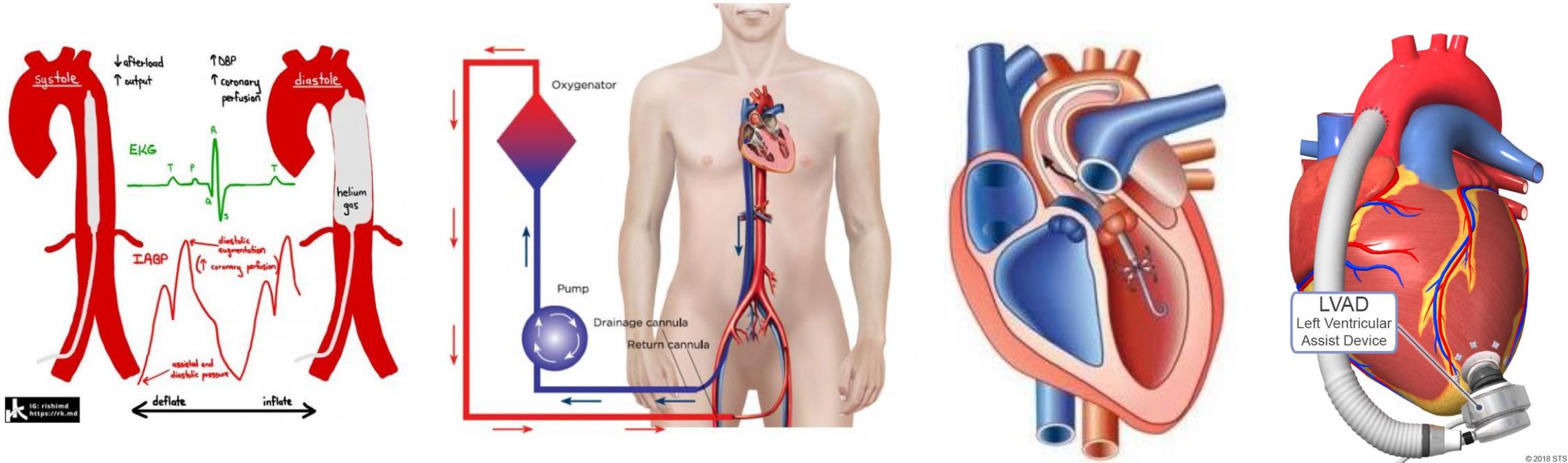
肺動脈楔入圧を下げて心拍出量を上昇させる方法で誤っているものはどれか以下から選んでください。

1. 利尿薬
2. 強心薬
3. 心臓ペーシング
4. 血管拡張薬

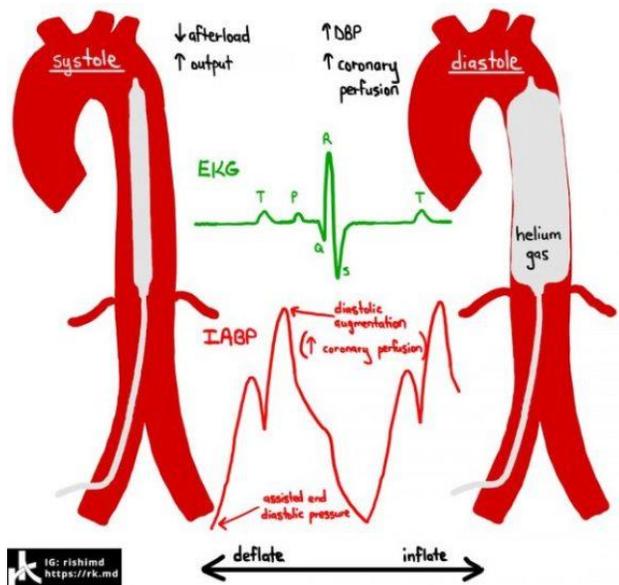


ここまでで循環の基礎を勉強してきました。

ここからは、これらのフレームワークの観点から補助循環の循環への影響を考えます！



# IABP



収縮期：

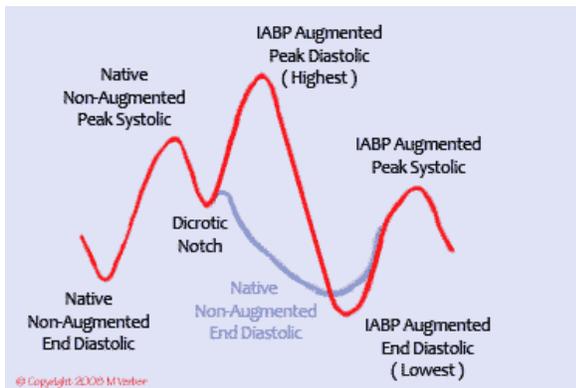
バルーンがしぼんだ分だけ圧がさがり、心室にとっての後負荷がさがる。

心臓に直接効果

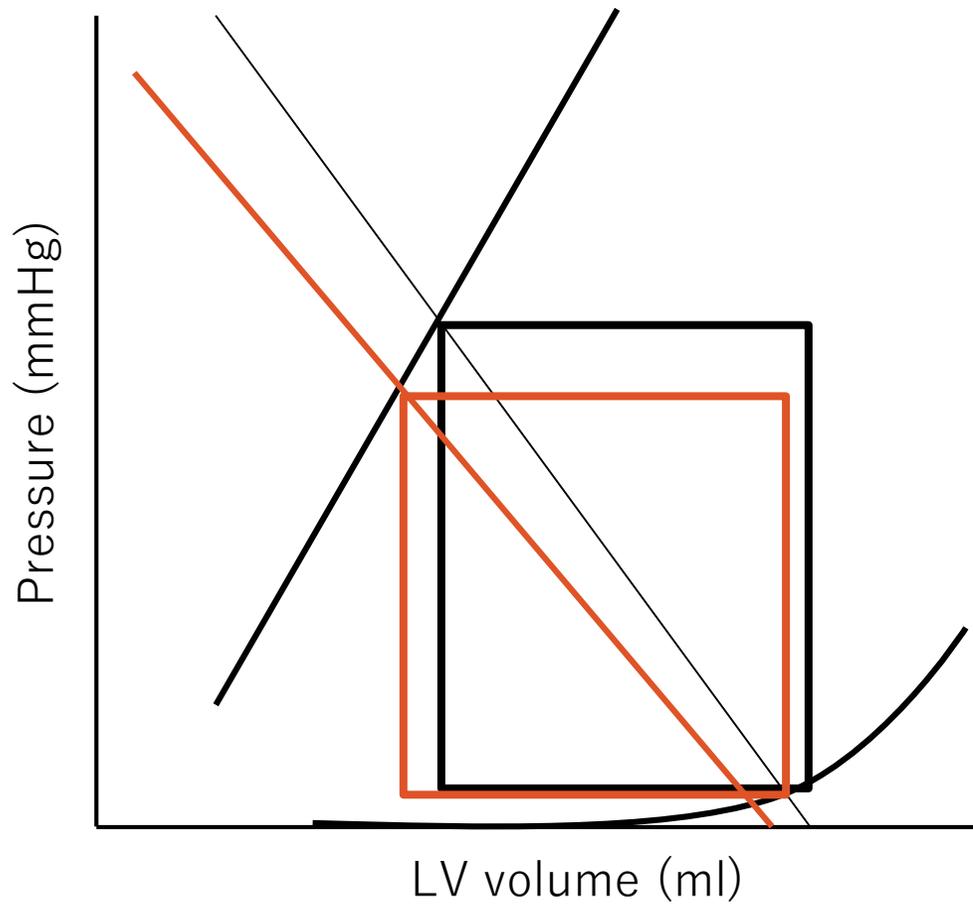
拡張期：

バルーンが開いた分だけ圧があがり、冠血流上昇もしくは維持を介した心機能に影響

冠血流と心機能の関係次第



# IABP

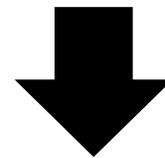


血管の特性は変わらないが、収縮期の血圧さがる。急性の瀉血をした感覚？

下がる血圧

= バルーン容量 × 動脈エラスタンス

心室後負荷:  $E_a$  そのものの傾きは変わらないはずだが、バルーン分の血圧がさがるので、 $E_a$  のラインは下へさがる。



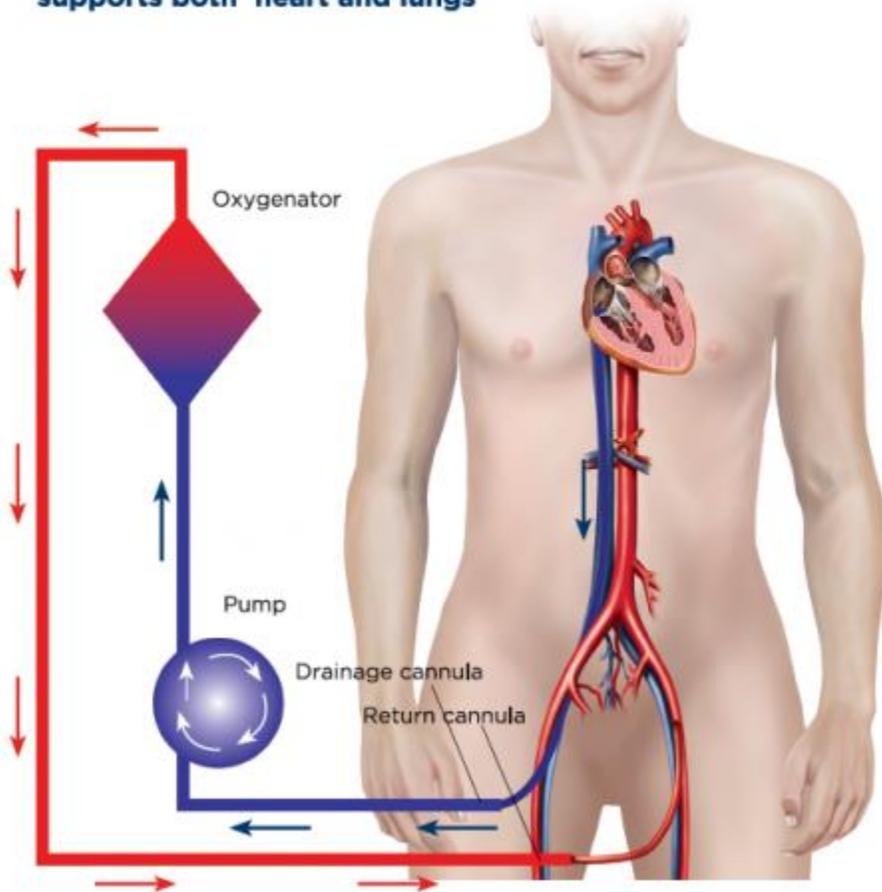
全体としてわずかに心拍出増加があり、EDVも低下し得る。

※冠血流増加により心収縮:  $E_{es}$  が増加したら、さらに心拍出増加

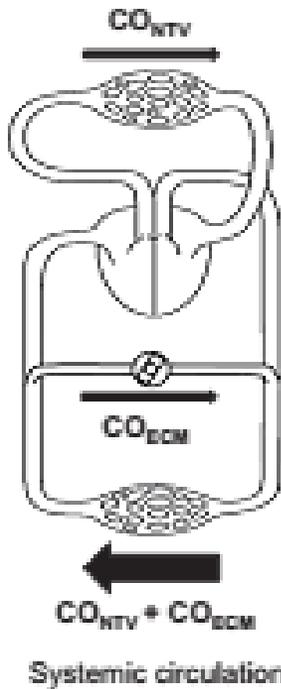
# VA-ECMO

## Veno-arterial (VA) ECMO

supports both heart and lungs



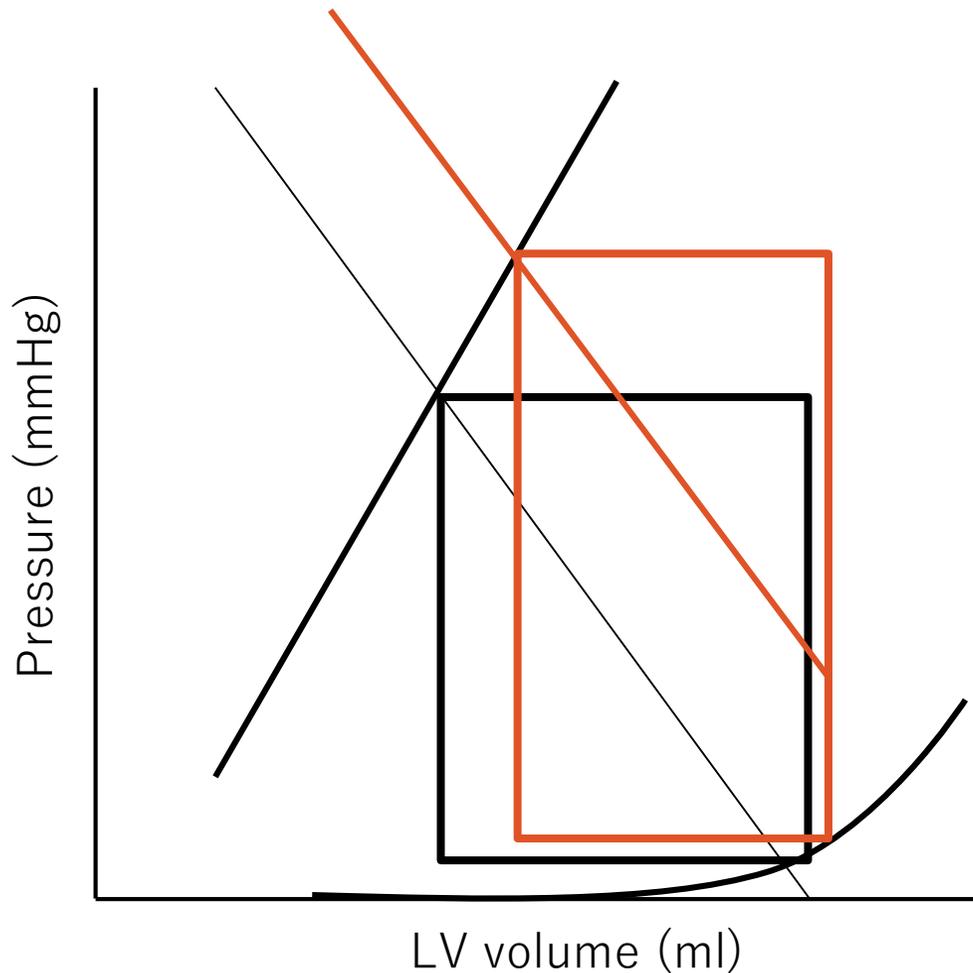
Pulmonary circulation



心臓には直接触らない！

心臓に入ってくる血液を抜いて、その血液を動脈へ送血

# VA-ECMO

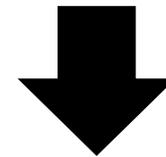


心臓には直接接触らない！

心臓に入ってくる血液を抜いて、その血液を動脈へ送血

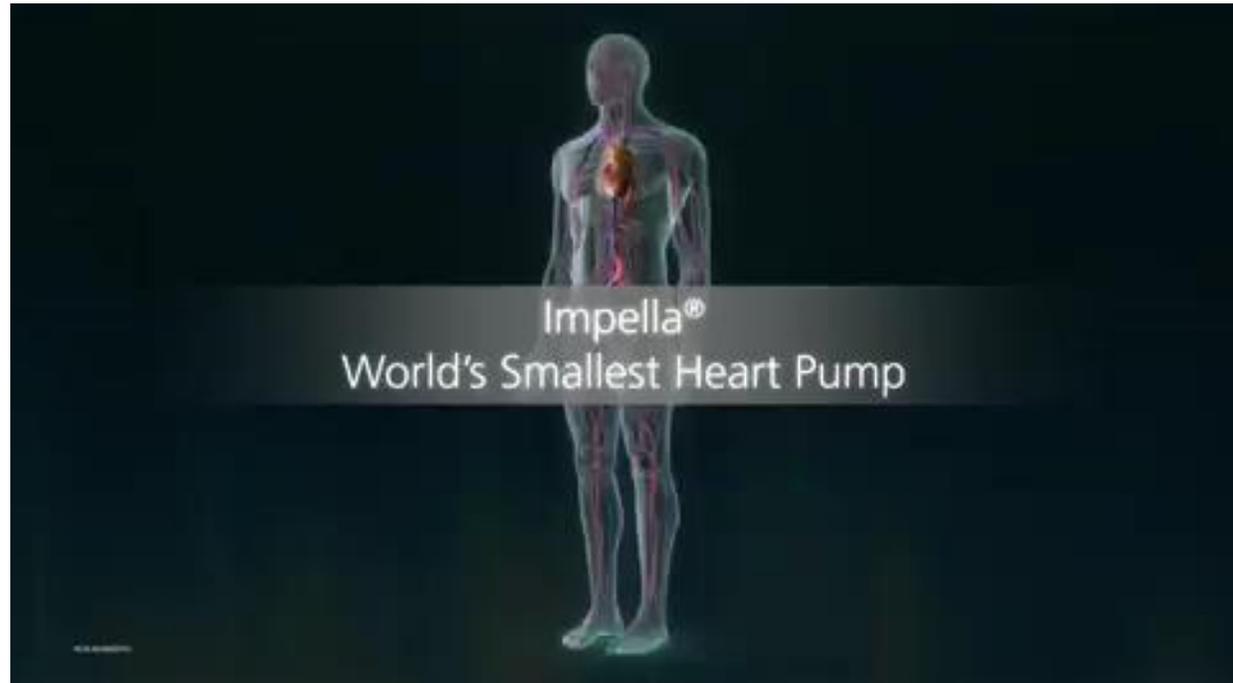
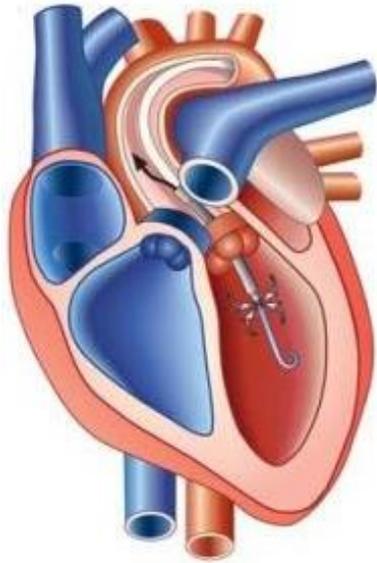
上がる血圧

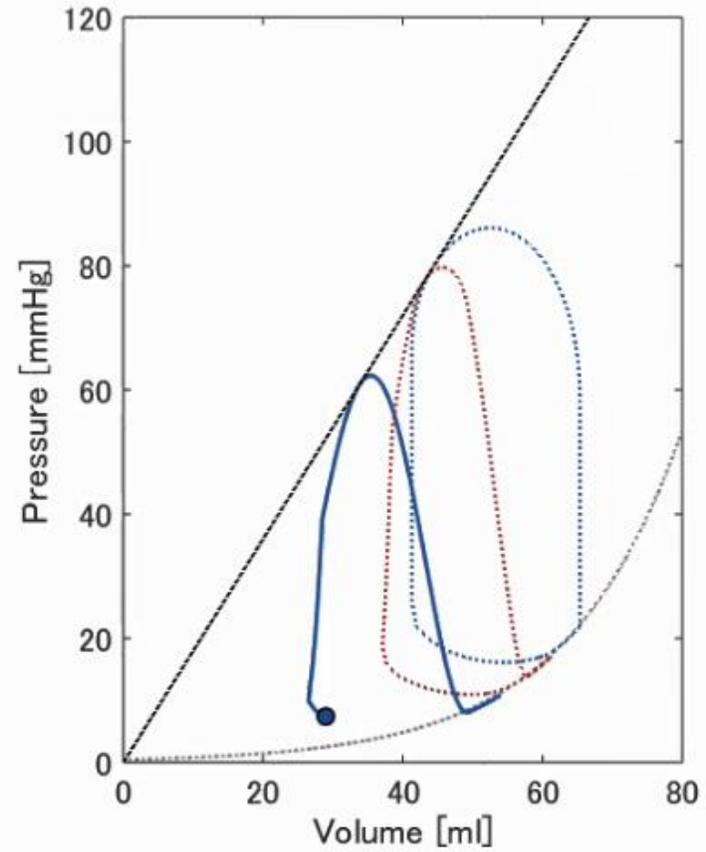
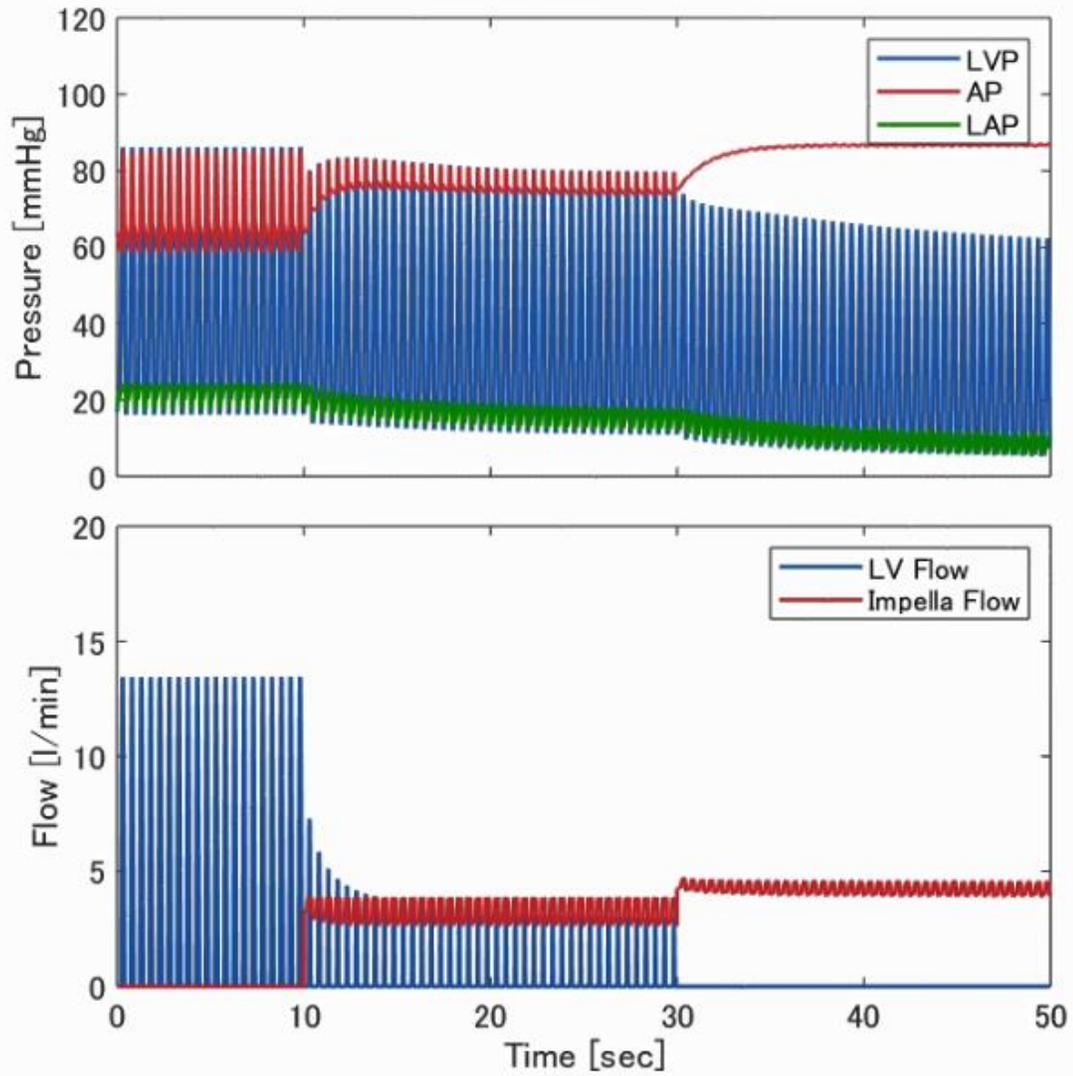
= ECMO Flow × 総血管抵抗



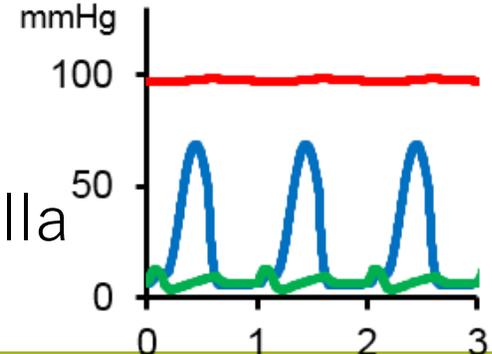
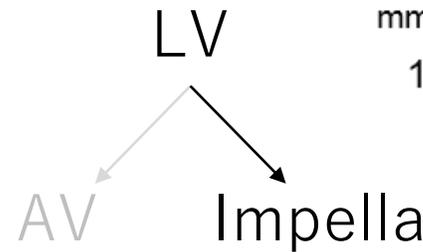
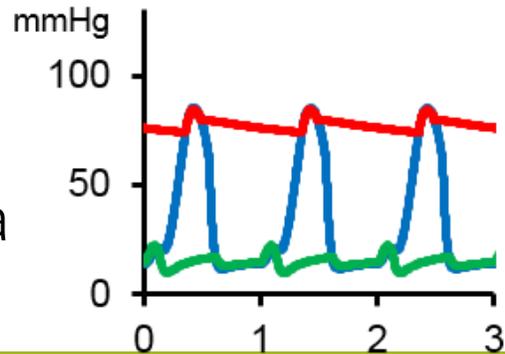
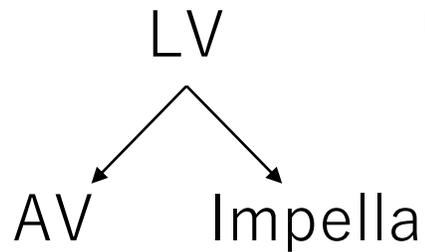
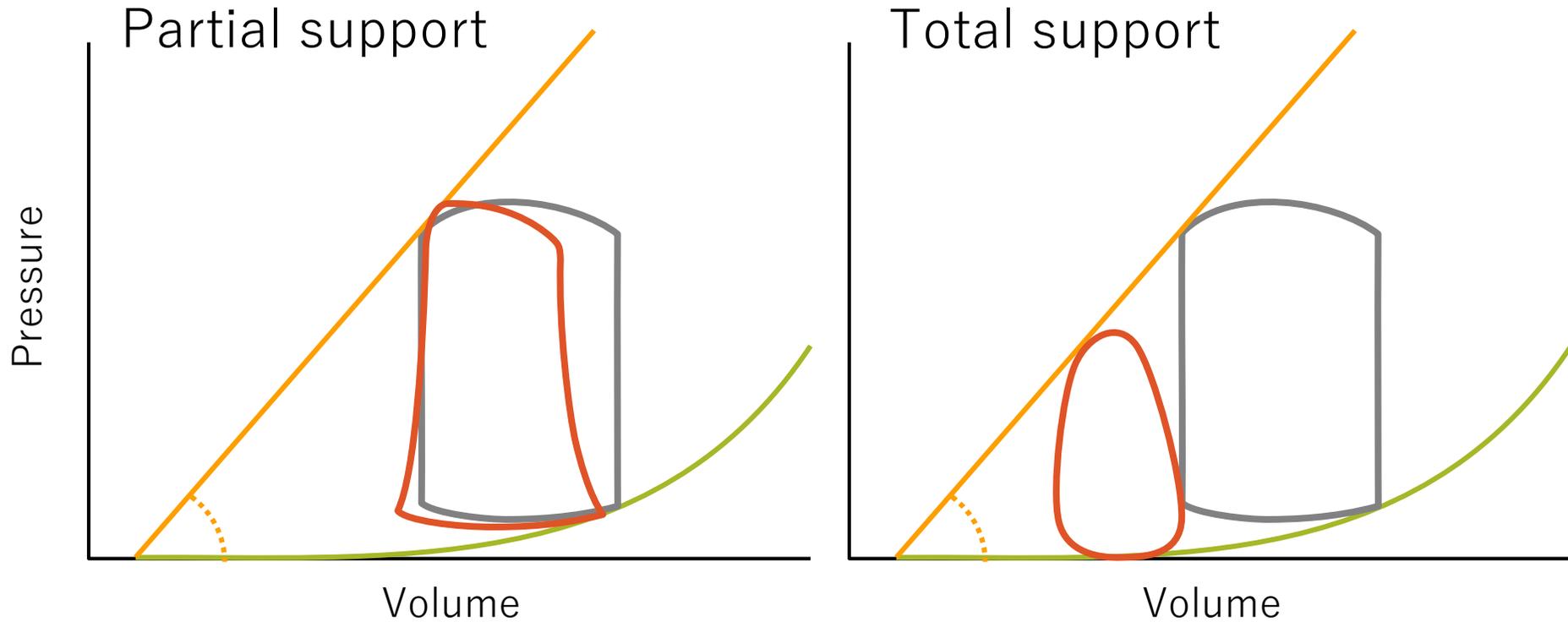
ECMO flow依存の後負荷上昇のために自己心拍出は低下するが、ECMO flowが足されるために血圧としては上昇する。

# Impella/LVAD



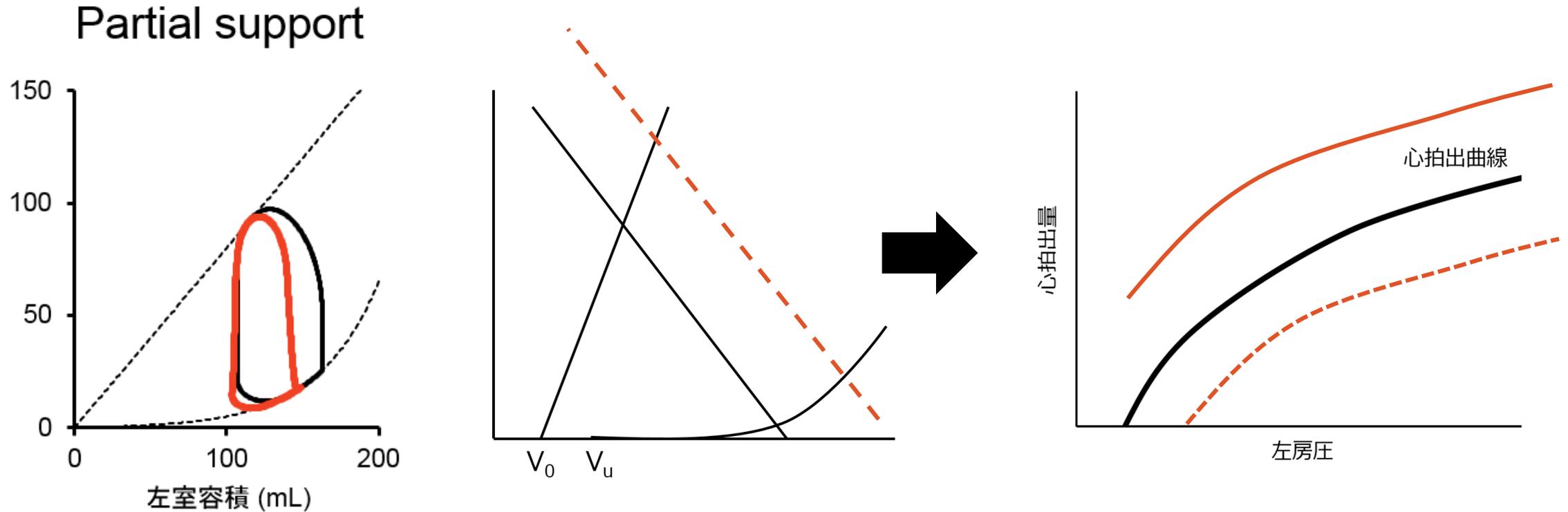


# Impella/LVAD



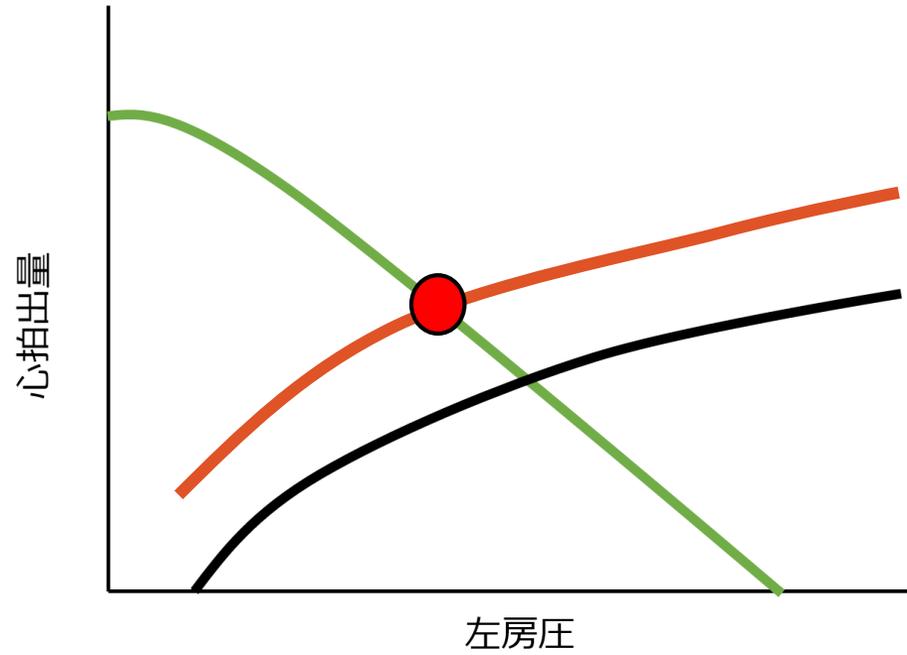
# Partial support

自己心室からの駆出もある状態

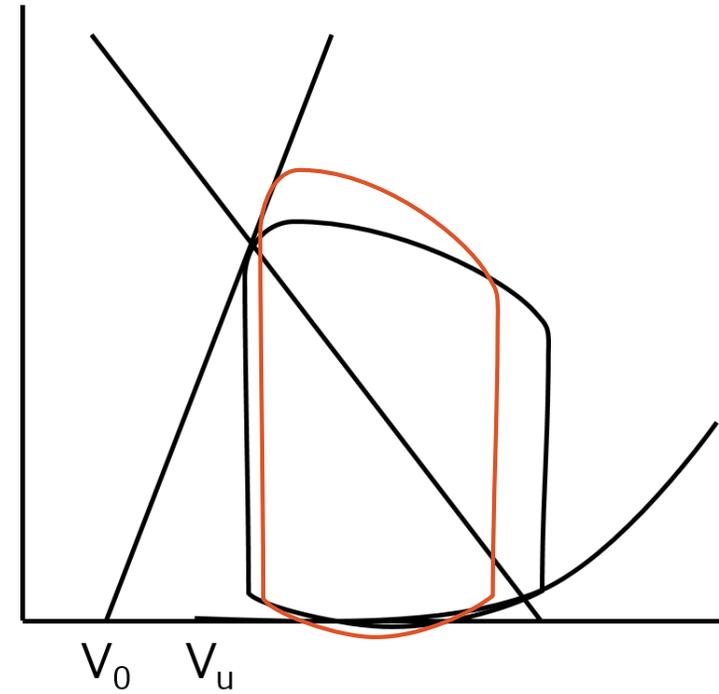


サポートによる血圧上昇は心臓からみたら後負荷上昇であり、SVおよび心拍出量は低下（点線）。左心室からポンプで駆出もするために実効的にはポンプ流量分、心拍出量は上昇（実線）。

# Partial support



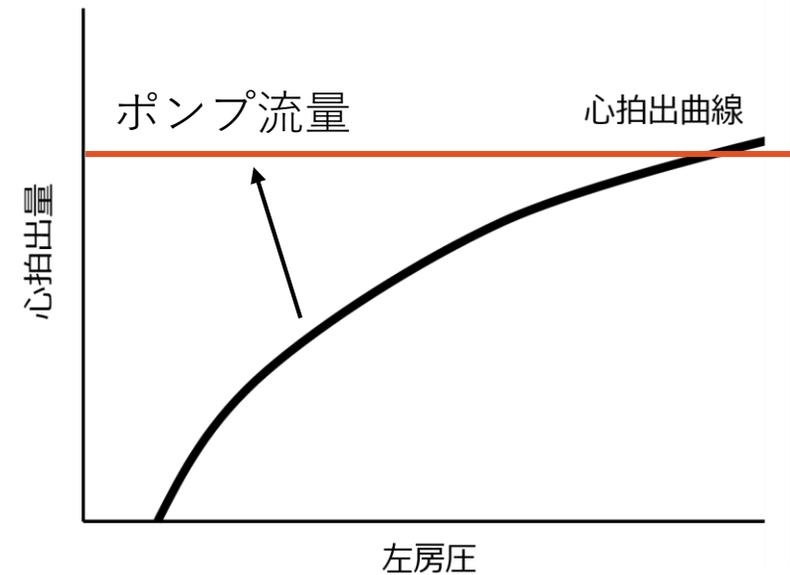
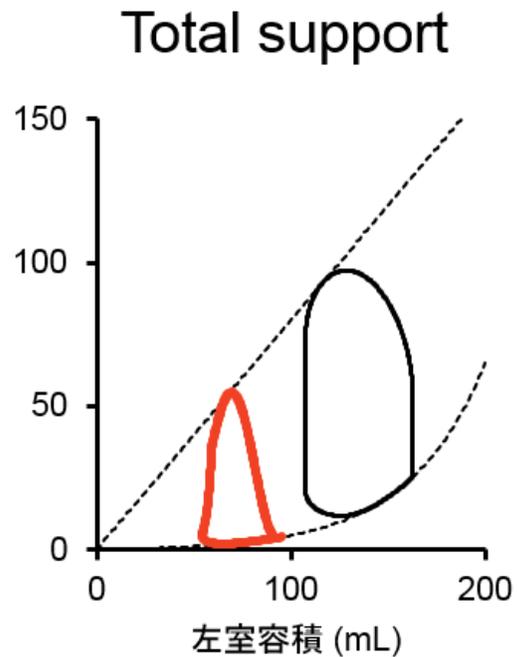
循環平衡



PV loop

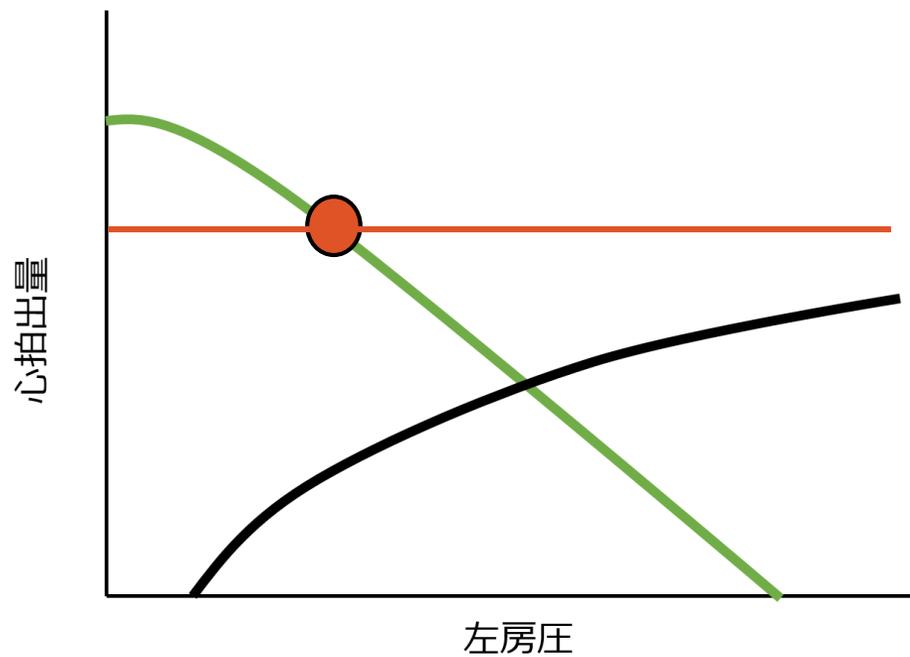
# Total support

完全にポンプ依存の循環で大動脈弁が閉じている

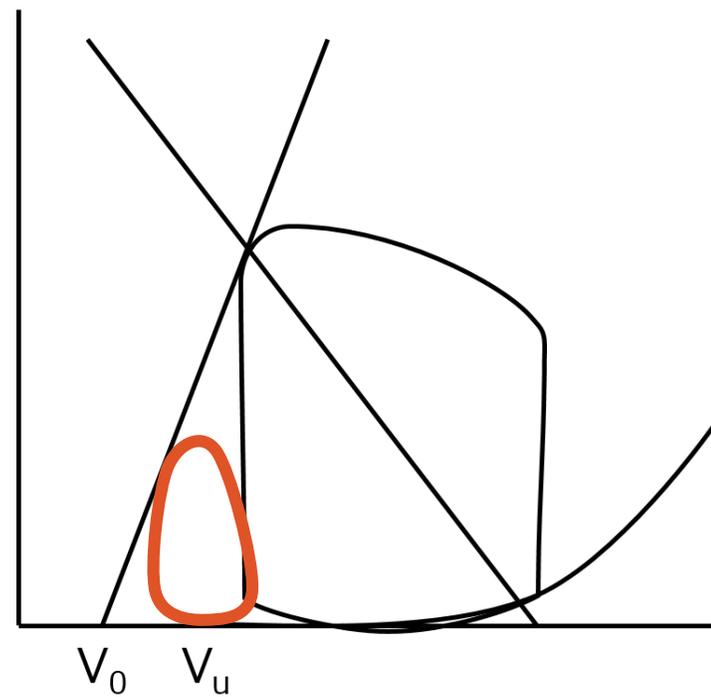


心臓から拍出がないので、心室と血管はカップリングしない。循環平衡における心機能曲線は、ポンプ流量そのものになる。

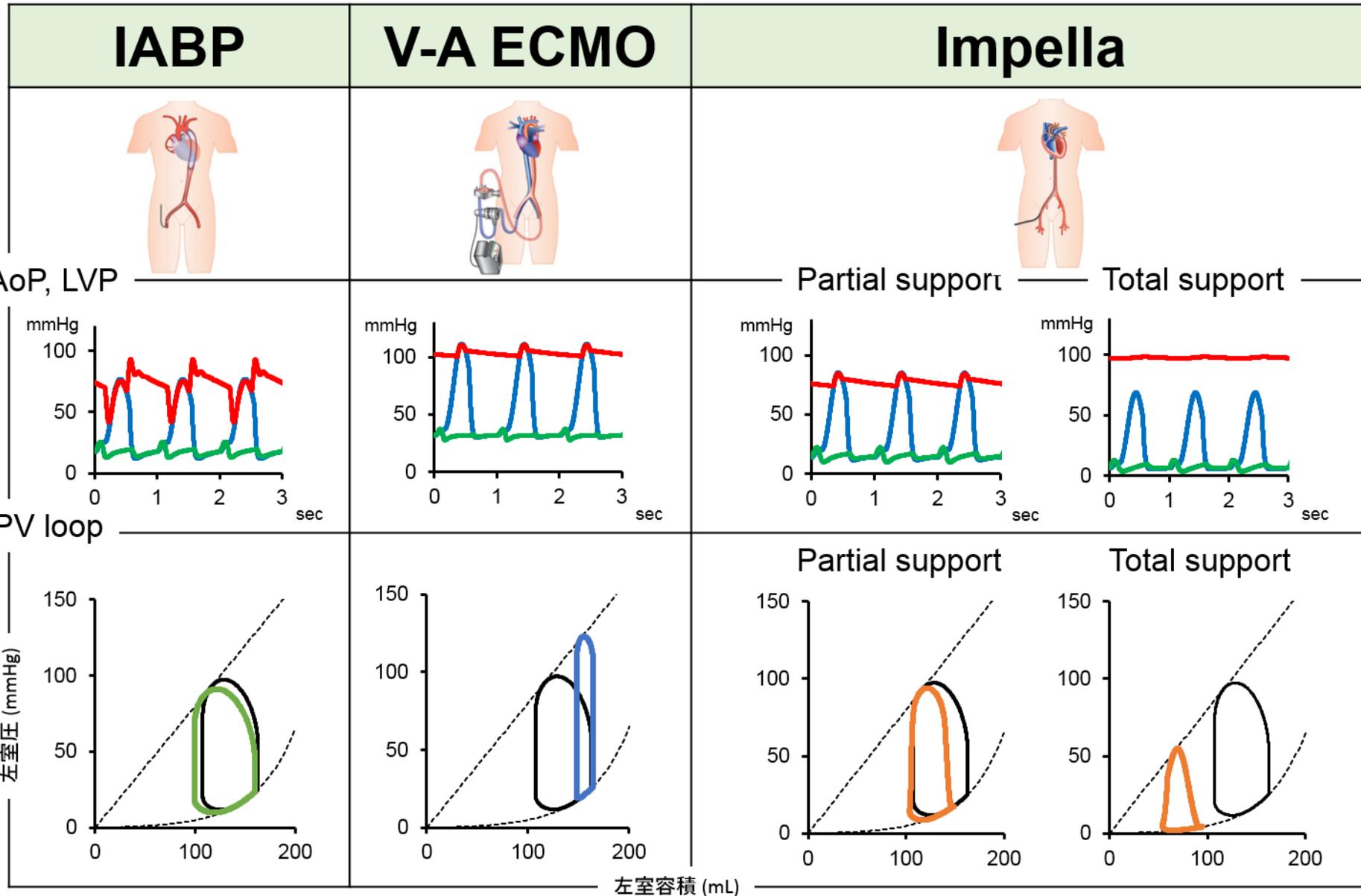
# Total support



循環平衡

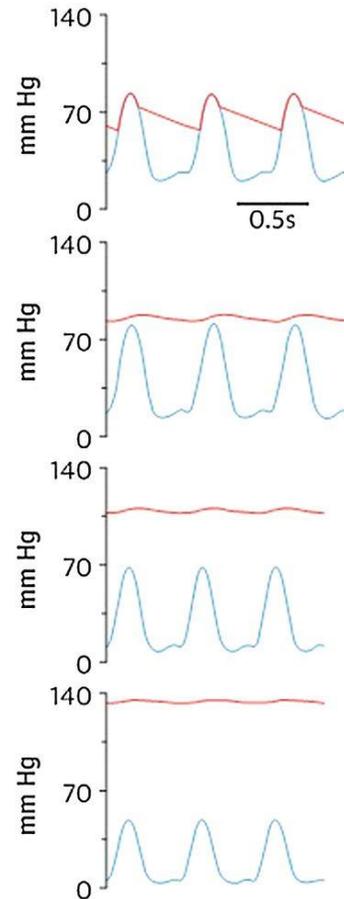
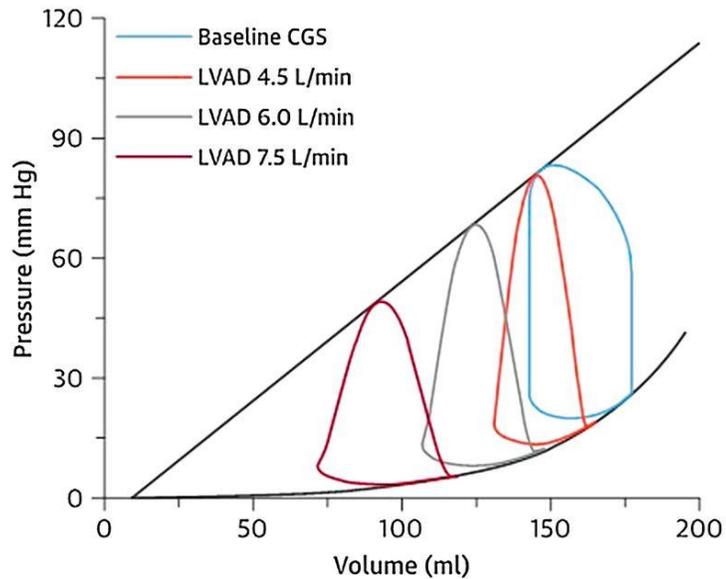


PV loop

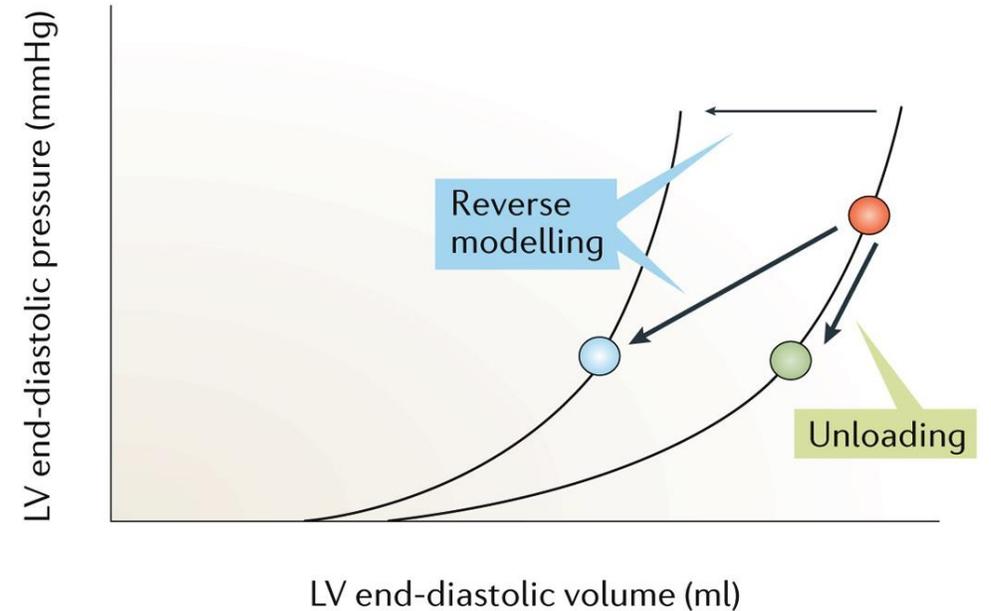


# LVAD=PVA縮小=酸素消費低下

LVADはPVAを小さくする



Reverse remodeling もする



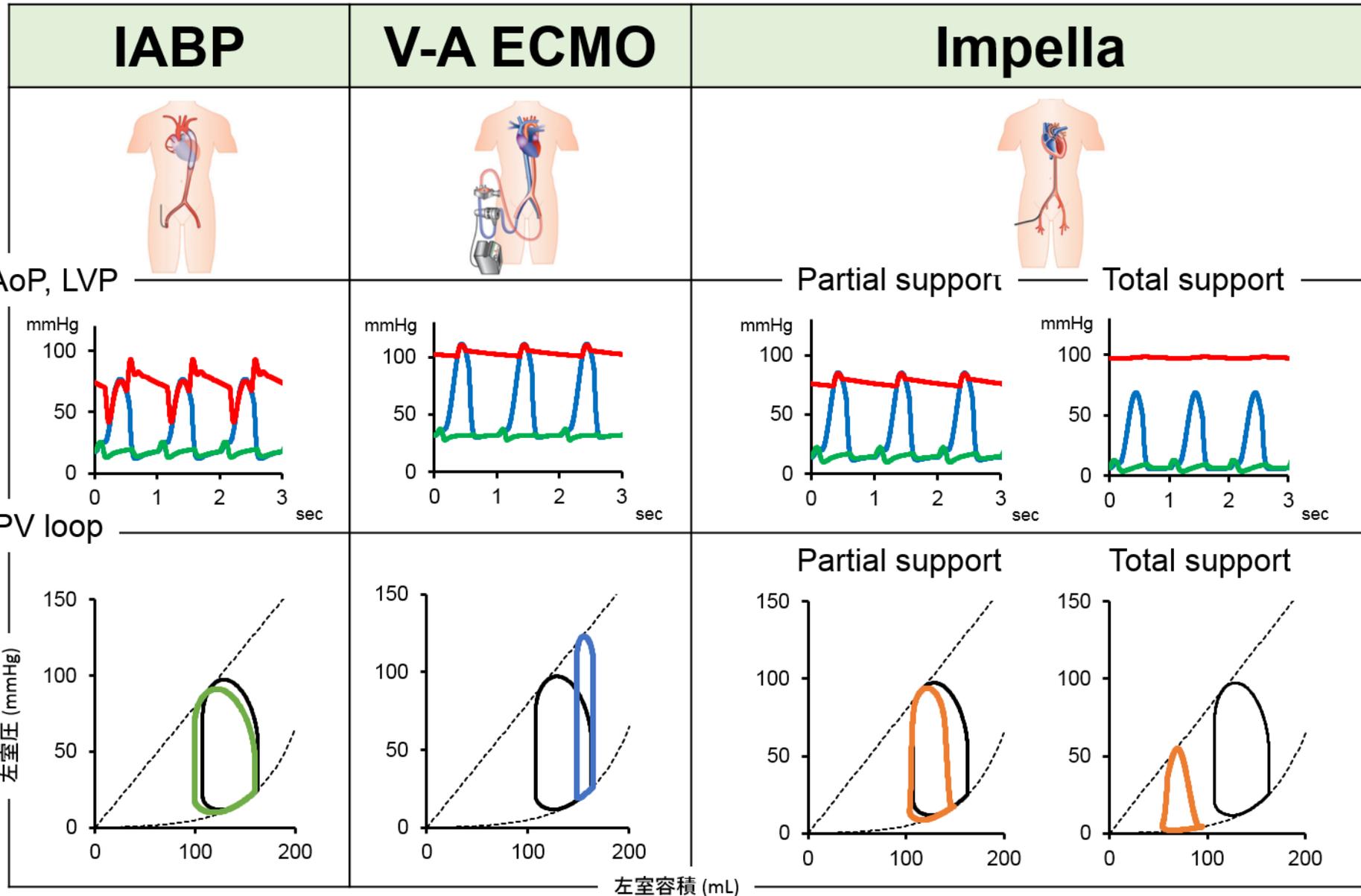
次のうち、自己心拍出が低下しない補助循環デバイスはどれでしょう？

1.IABP

2.PCPS (ECMO)

3.植込み型LVAD

4.Impella 5.0



左室容積 (mL)

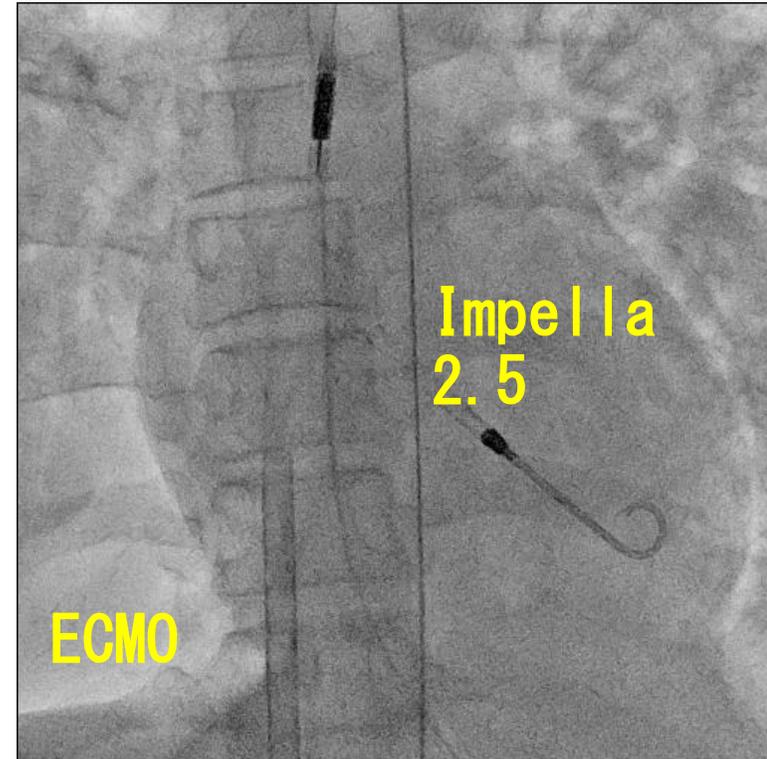
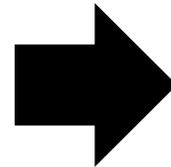
左室圧 (mmHg)

【主訴】 息切れ

【現病歴】 劇症型心筋症の診断で加療開始

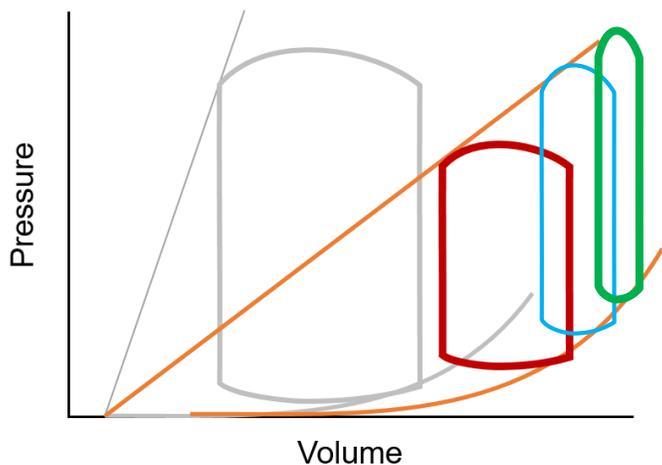
【Vital】 カテ時 HR 144/min, SpO2 80%台 (mask 10L), BP 81/56 mmHg

【右心カテ】 PCWP a/v/mean 35/27/31 mmHg, PA s/d/mean 43/38/40mmHg  
CVP21 mmHg, CO/CI 3.7/2.2 L/min, SVO2 37

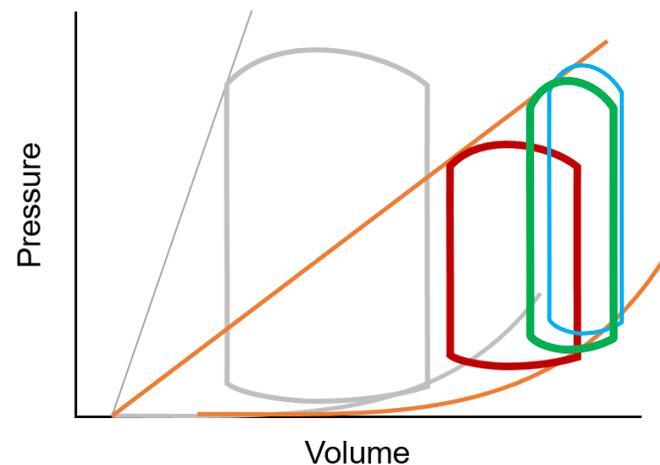


この症例でECPELLAとなった直後のPV loop  
はどのようなになるでしょうか？

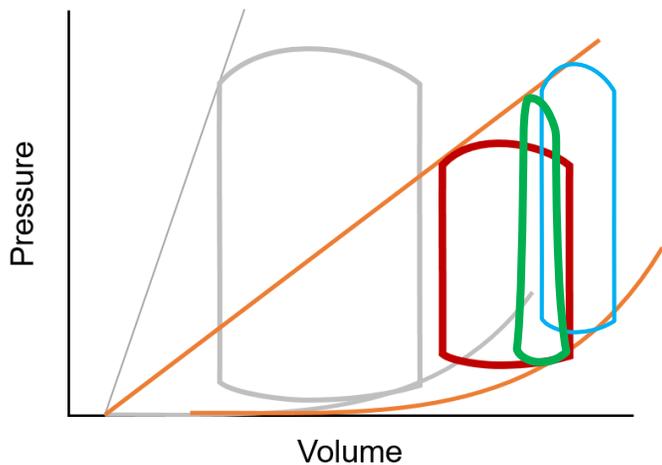
①



③

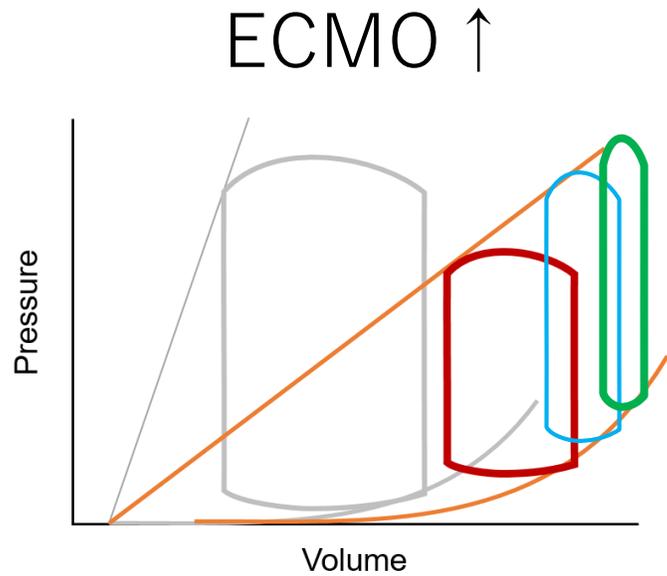


②

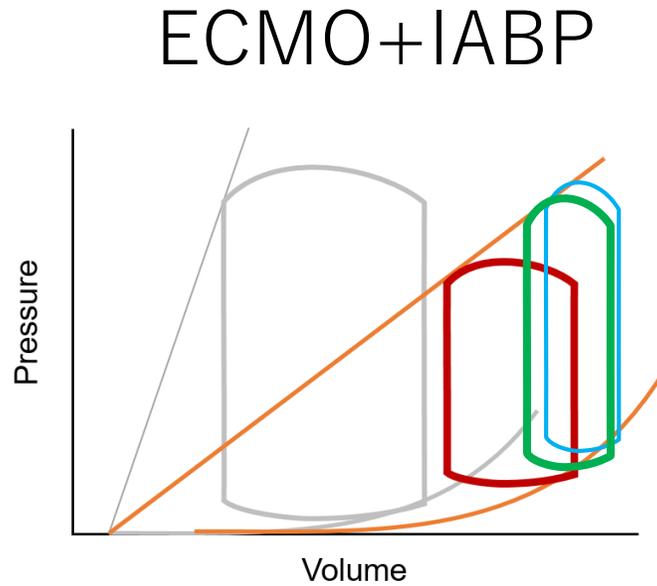


赤 : Baseline  
青 : ECMO  
緑 : ECMO+Impella

①

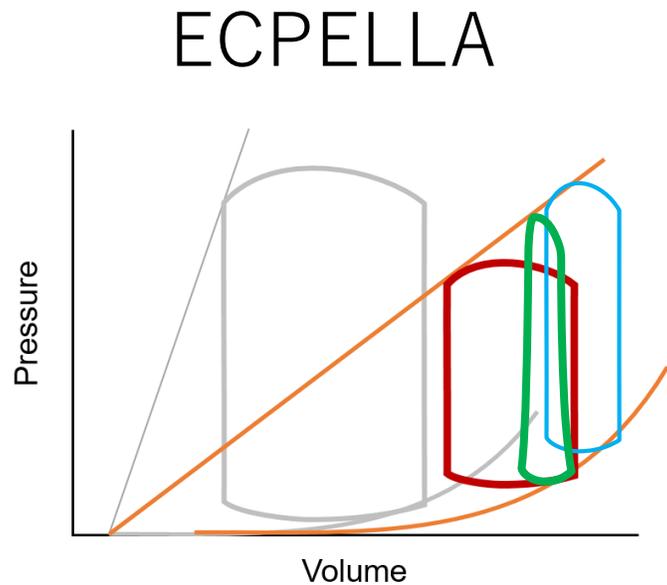


③



赤 : Baseline  
青 : ECMO  
緑 : ECMO+Impella

②



極論すると、、、  
ECMOの次の手は3パターン！

# まとめ

---

- 循環動態の基礎知識を概説した。
- 循環は単純で高度なシステムのもと恒常性を維持している。
- 循環フレームワークで考えると理解は早い。
- 循環フレームワークは臨床の役に立つ。

次週は基礎的知識を活かす臨床症例の検討や最新研究のお話をします！

# 循環動態アカデミー



- 循環動態の知識シェアサイト（スライド共有）
- 会員は1600人
- 夏の研究会は1087人の参加
- 本日のスライドも掲載しておきます！

# 一緒にやりませんか？

- 医局や病院からの短期国内留学可能！
- 論文作成のお手伝い可能！
- 学位取得可能！
- 研究員での雇用可能！
- 医療機器開発に参加可能！
- 大動物での手術可能！

半端ない立地！  
半端ない施設！  
半端ない経験！

ワンチャンあるよ

