

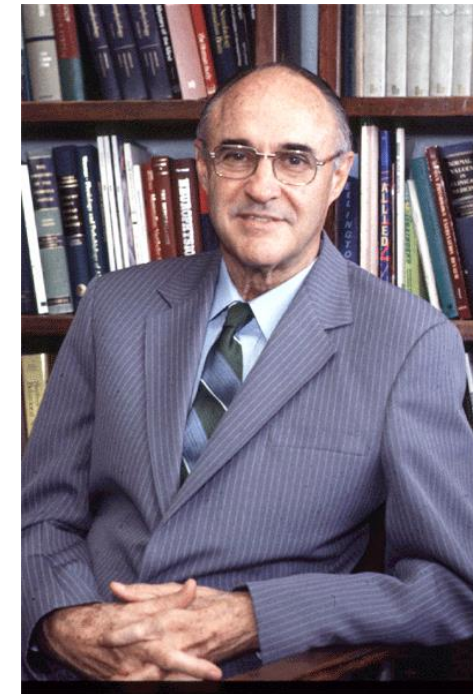
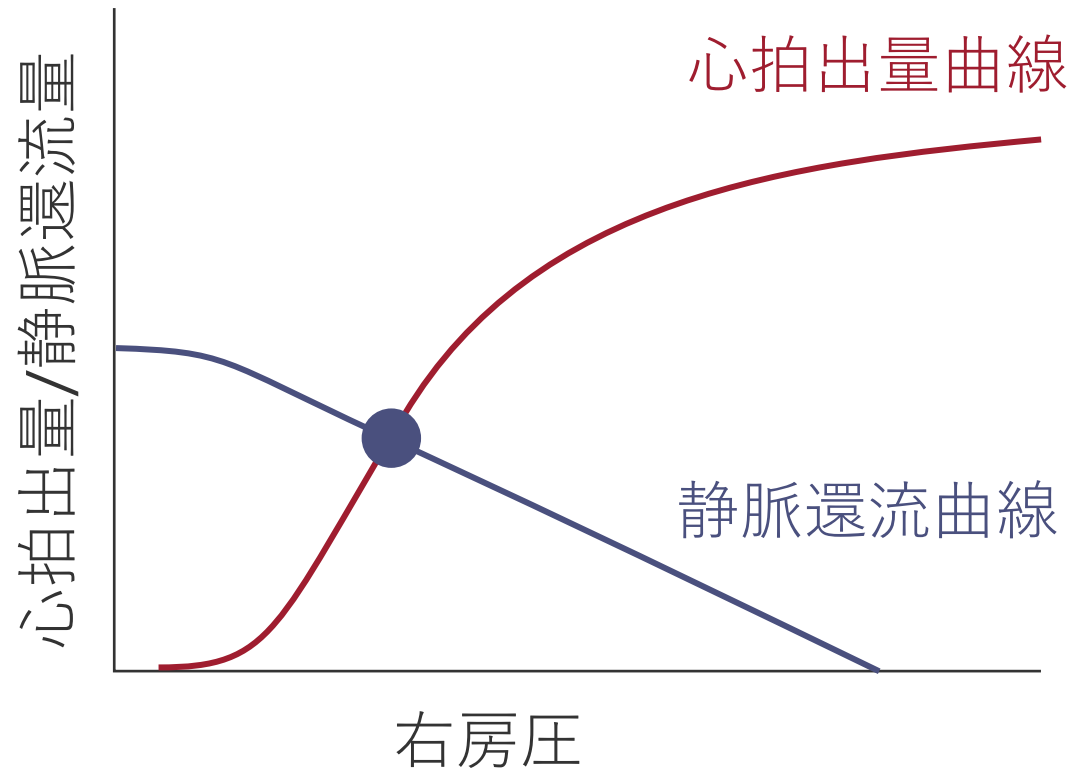
循環動態アカデミー SUMMER CAMP 2021

集え、循環動態オリンピックへ！

循環平衡を書いてみよう！

西川拓也 国立循環器病研究センター

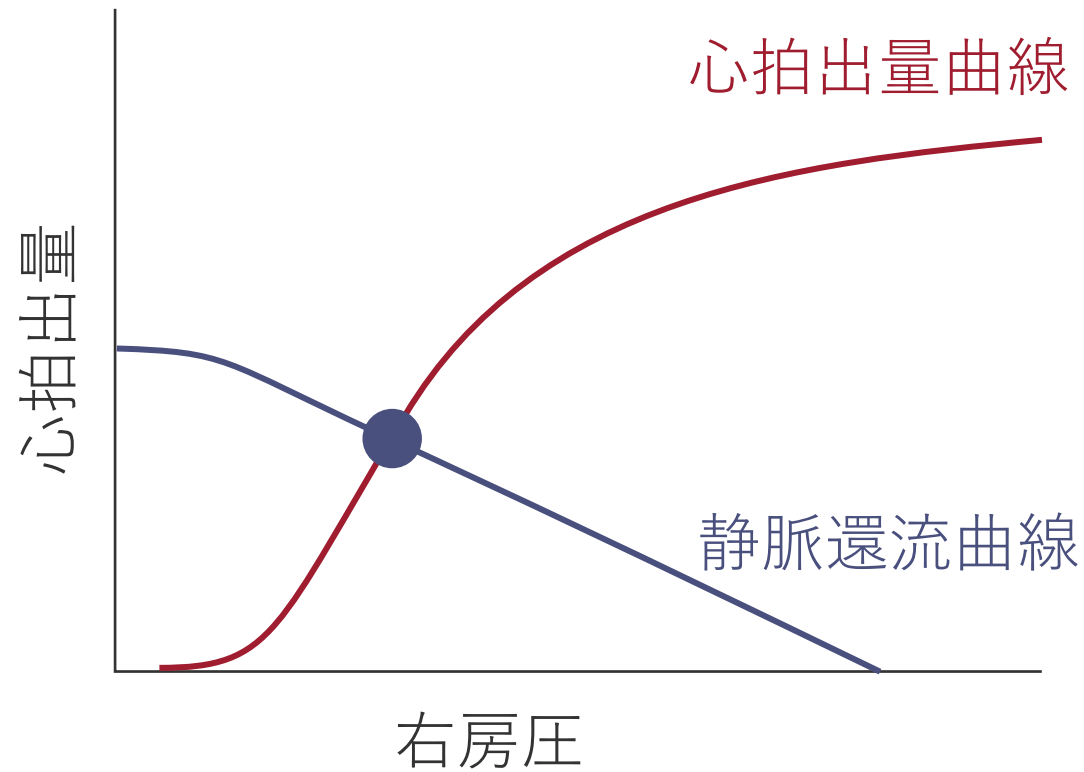
循環平衡



Arthur C. Guyton

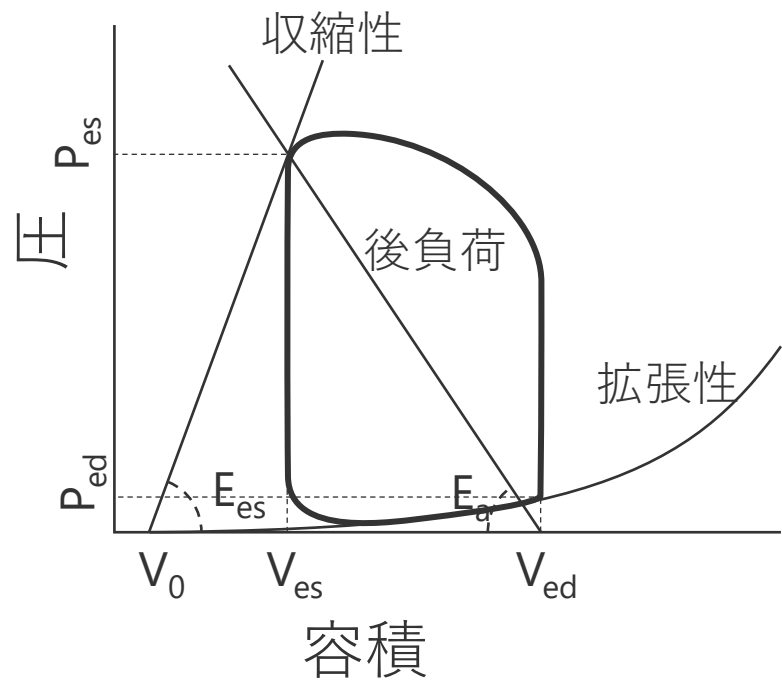
心拍出量曲線と静脈還流曲線の交差点で循環が平衡する

循環平衡ってどうやって目の前の患者に当てはめるの？

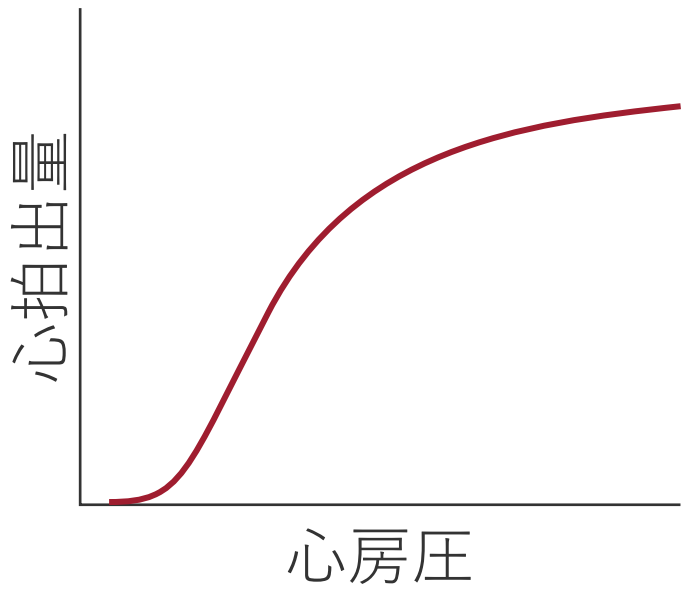


昨日の復習

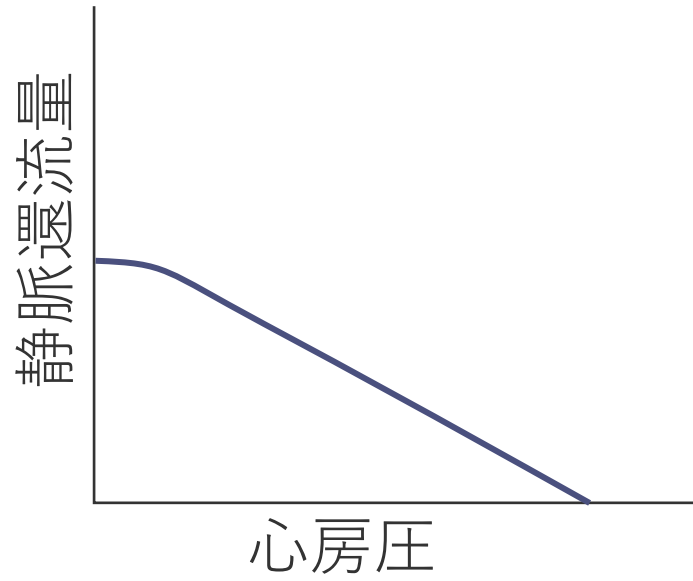
PV loop



心拍出量曲線



静脈還流曲線

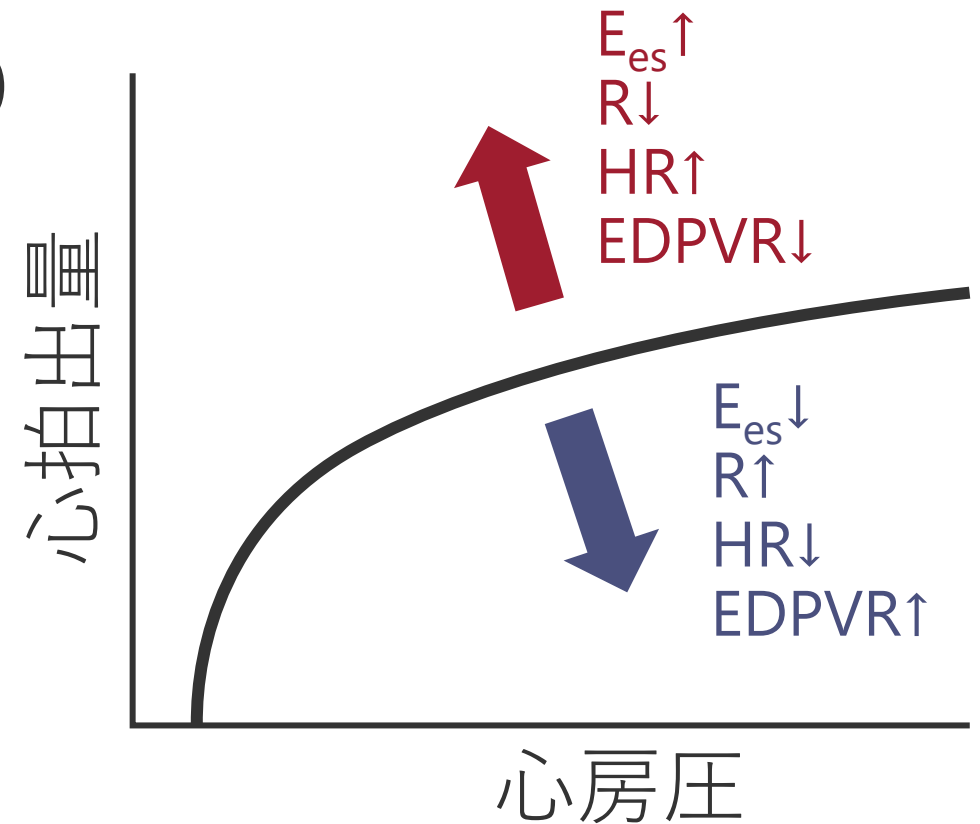


昨日の復習：心拍出量曲線

$$CO = \frac{1}{k} \cdot \frac{E_{es}}{\frac{E_{es}}{HR} + R} (\log(P_A - F) + H)$$

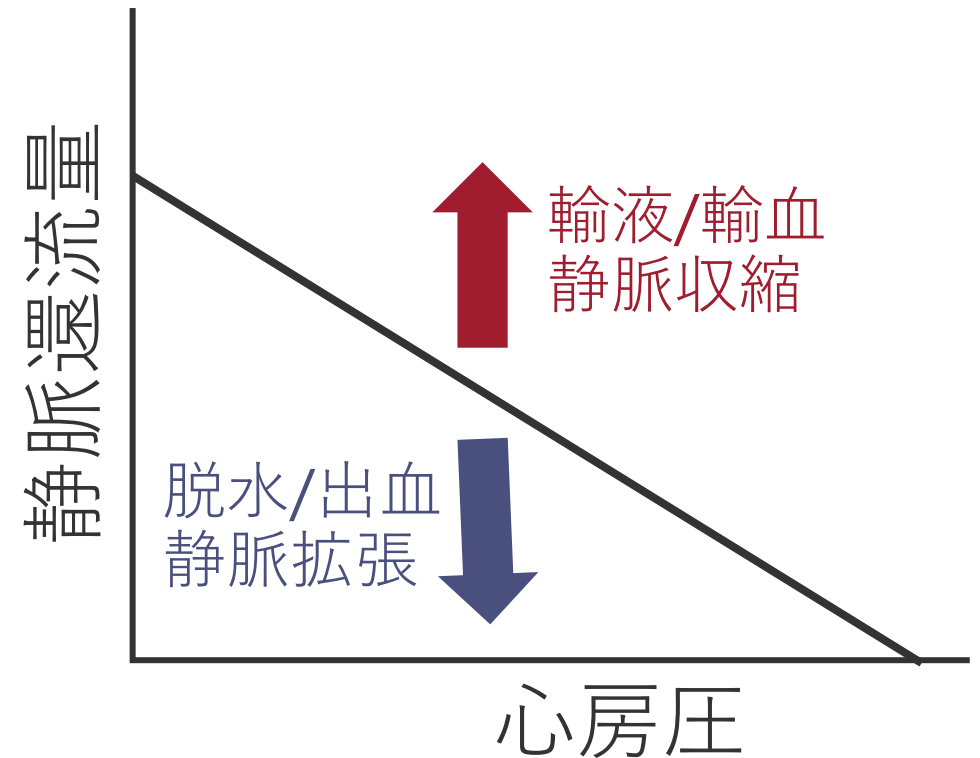
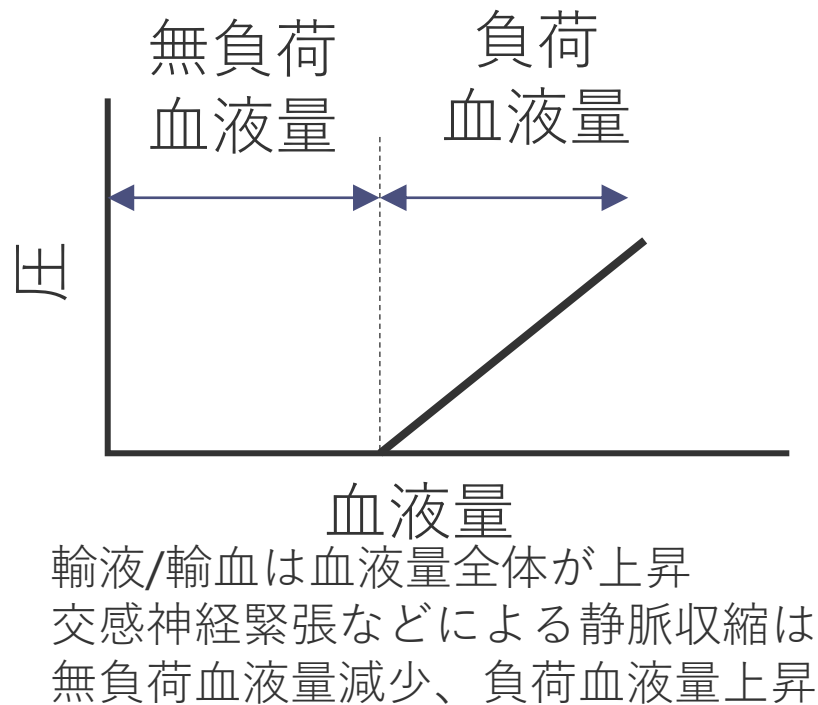
心拍出量曲線の傾き

- E_{es} : 収縮性
- R : 抵抗
- HR : 心拍数
- $EDPVR$: 拡張性



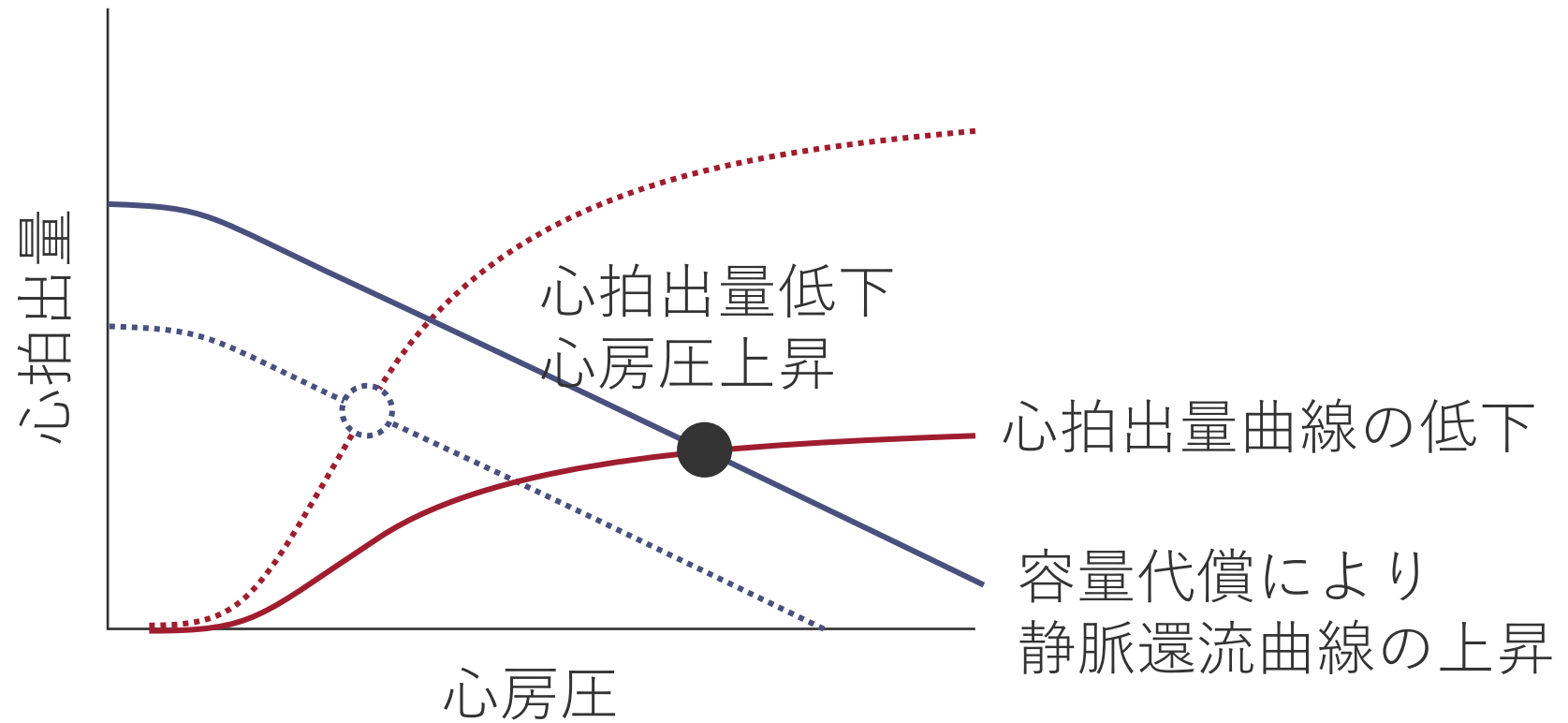
心拍出量曲線は心臓と動脈の性質

昨日の復習：静脈還流曲線



静脈還流曲線は負荷血液量（静脈により変化あり）の性質

心不全の循環平衡は？



循環平衡は単純に見えて深い！

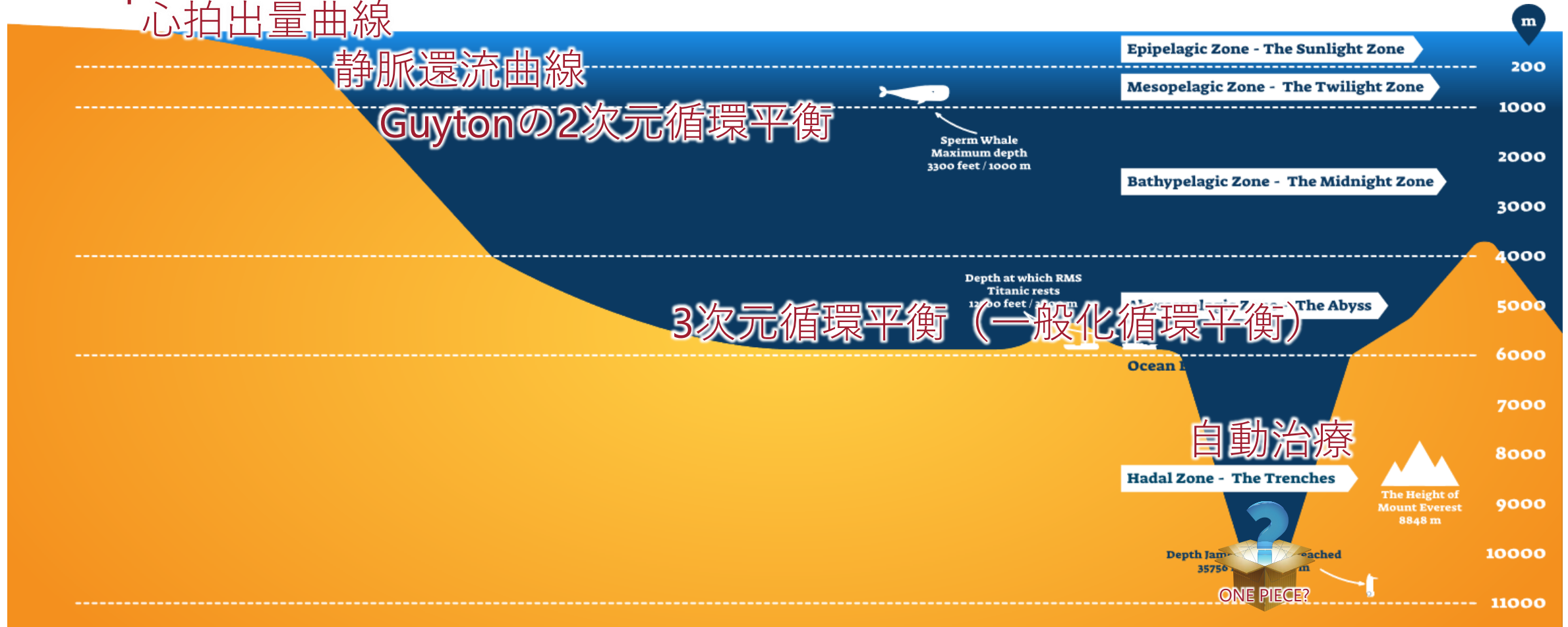
PV loop

心拍出量曲線

静脈還流曲線

Guytonの2次元循環平衡

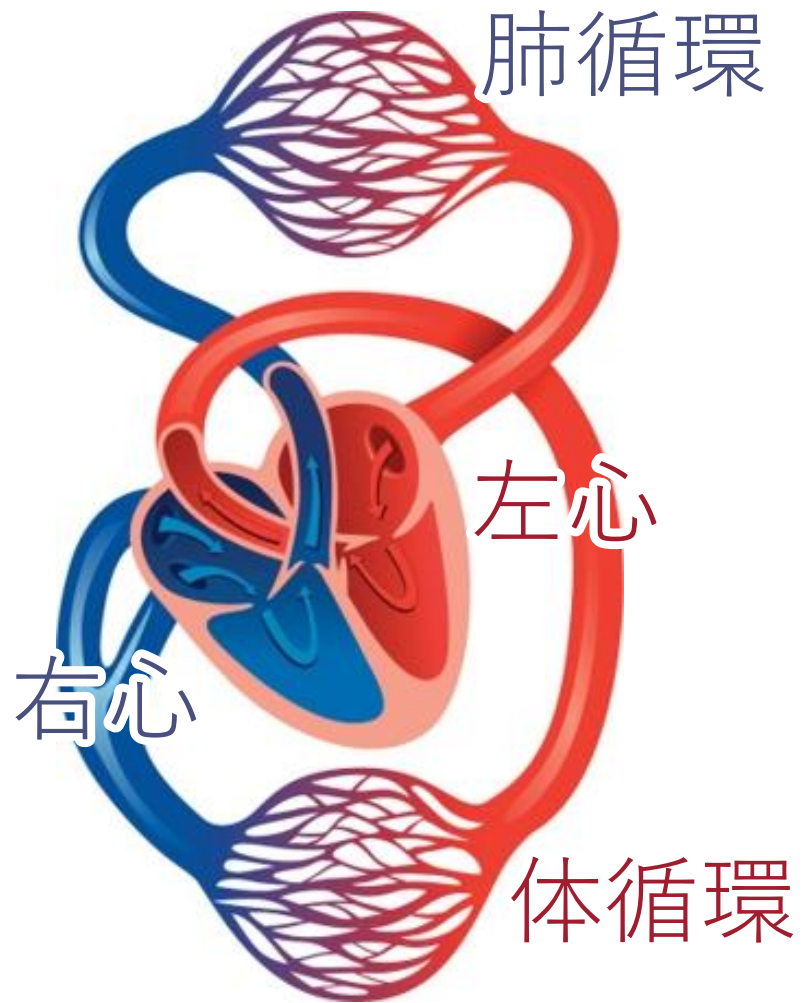
3次元循環平衡（一般化循環平衡）



A photograph of two divers in a dark underwater cave. The divers are silhouetted against a bright blue light source at the top. They are holding flashlights that illuminate the rocky floor. The text "Deep dive into Circulatory Equilibrium" is overlaid in white.

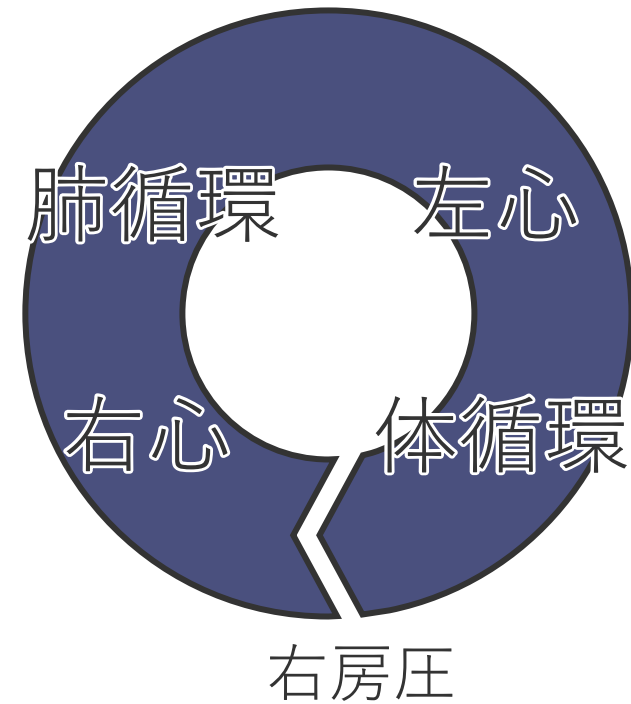
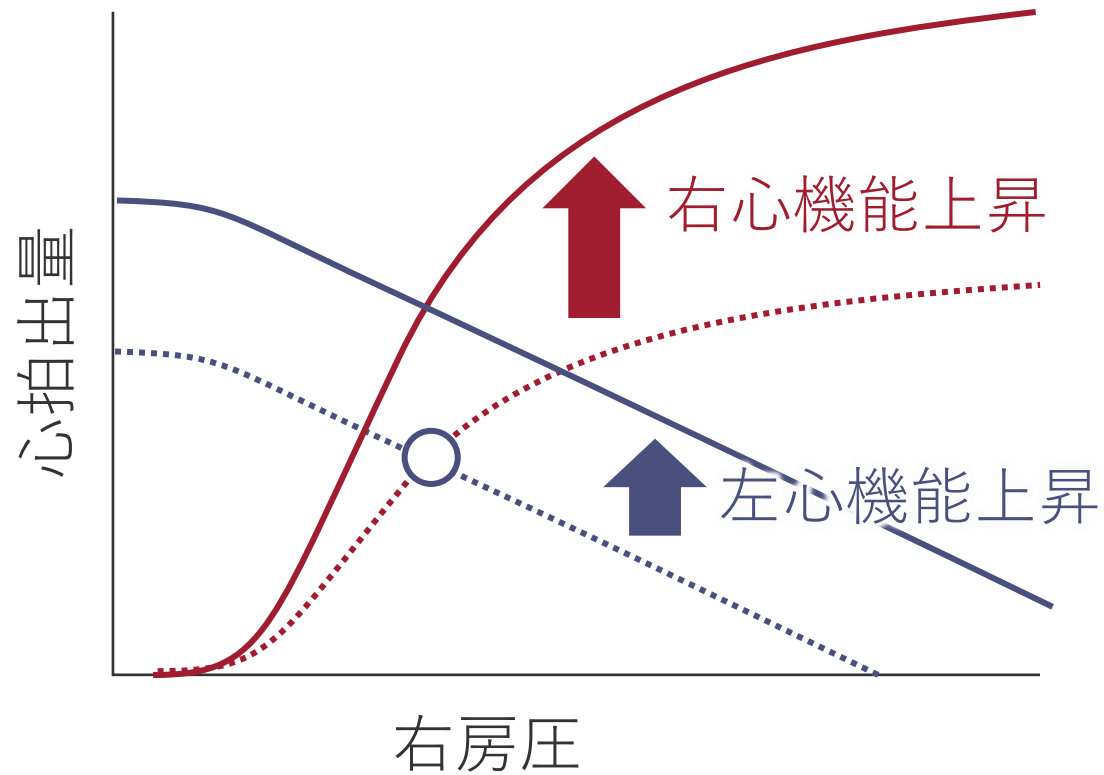
Deep dive into Circulatory Equilibrium

右心と左心、体循環と肺循環



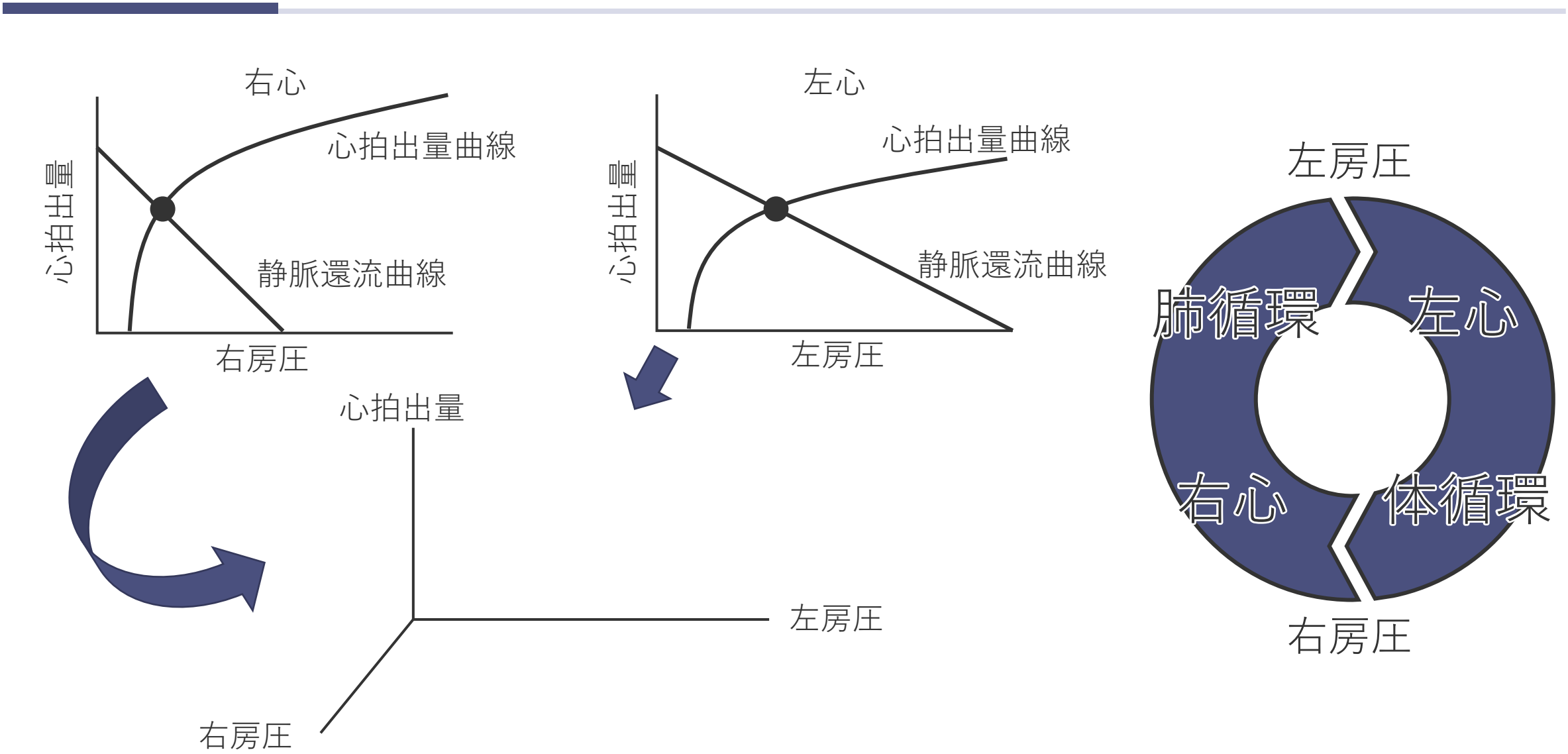
左心が右心の静脈還流を作り
右心が左心の静脈還流を作る

右心、左心と循環平衡

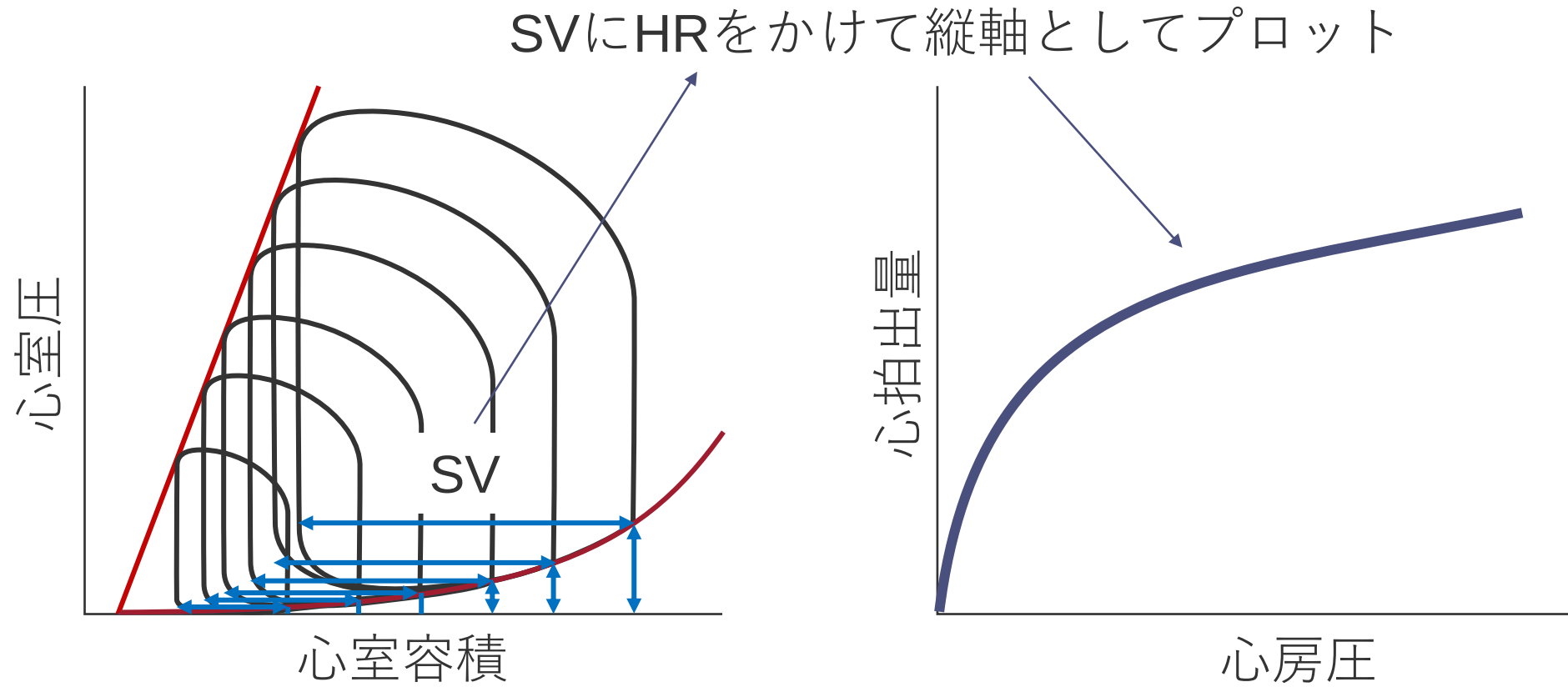


左心不全や右心不全を表現できない

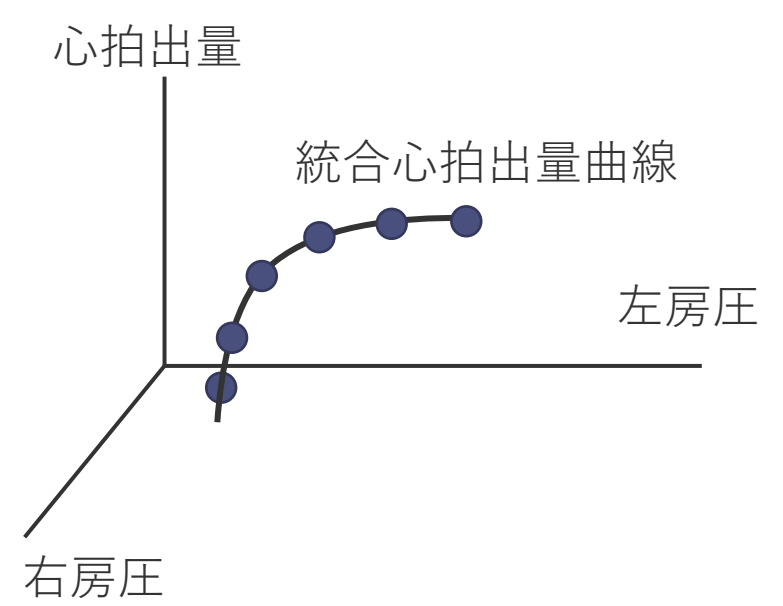
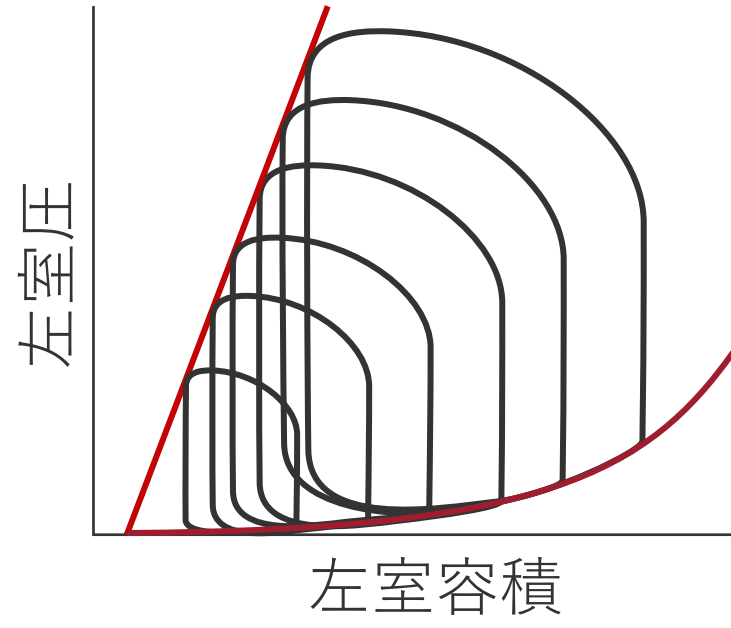
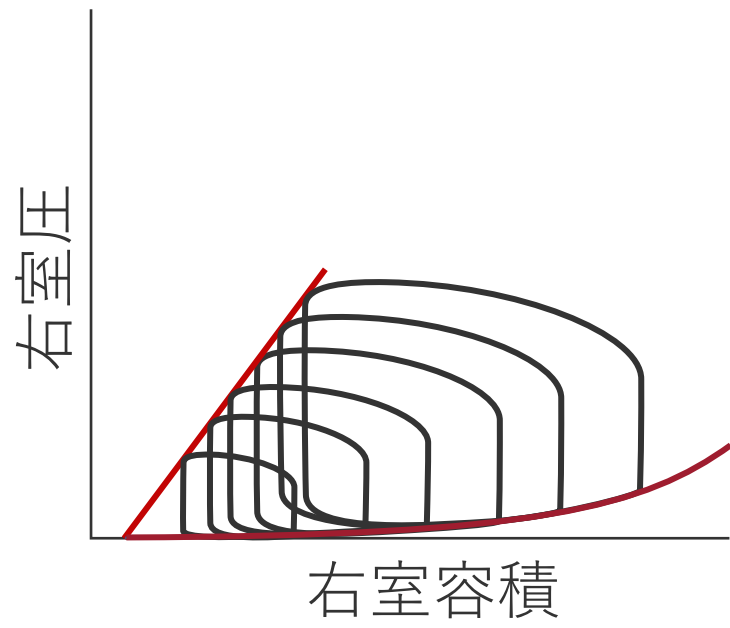
循環を組み合わせる：一般化循環平衡モデル



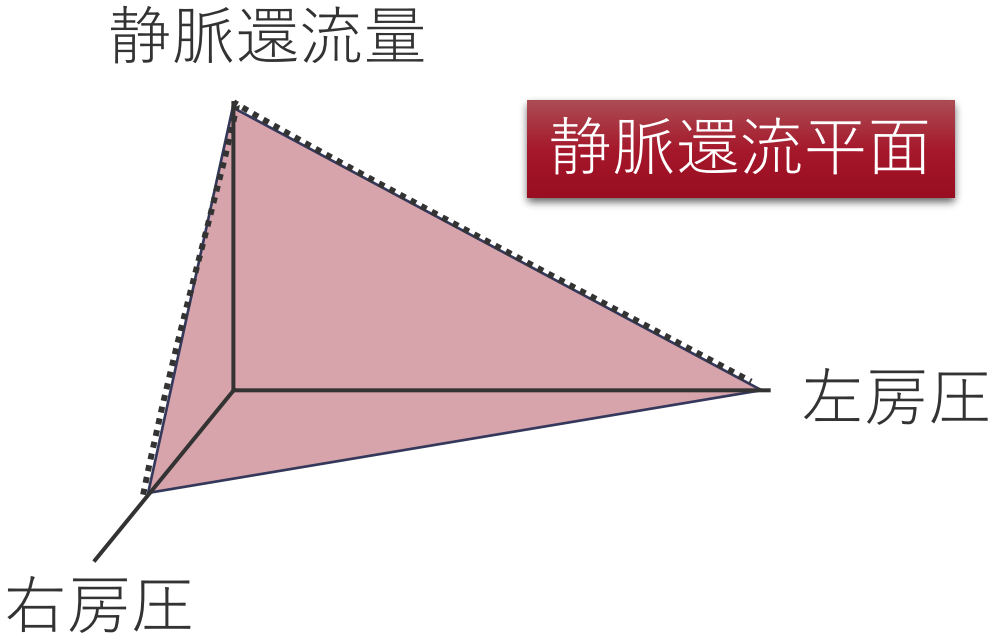
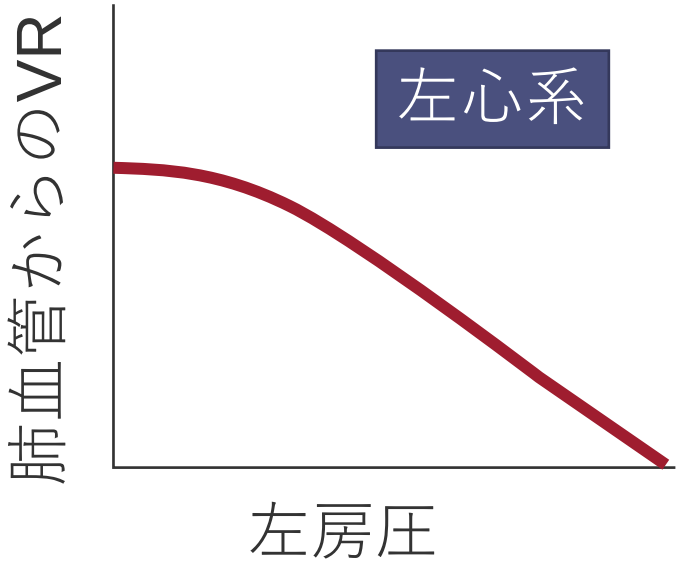
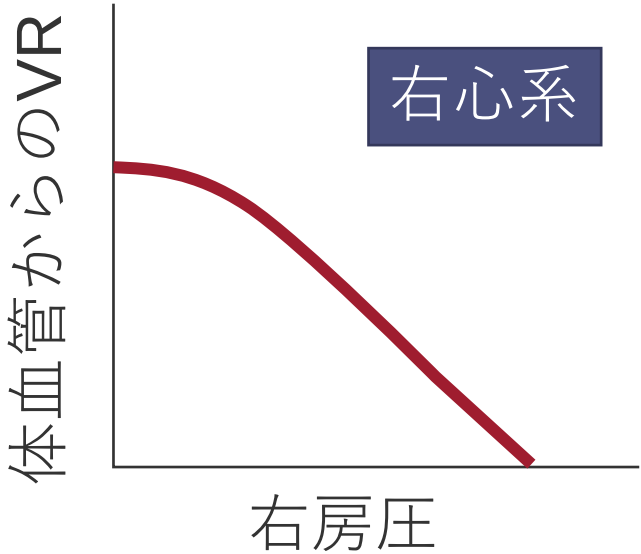
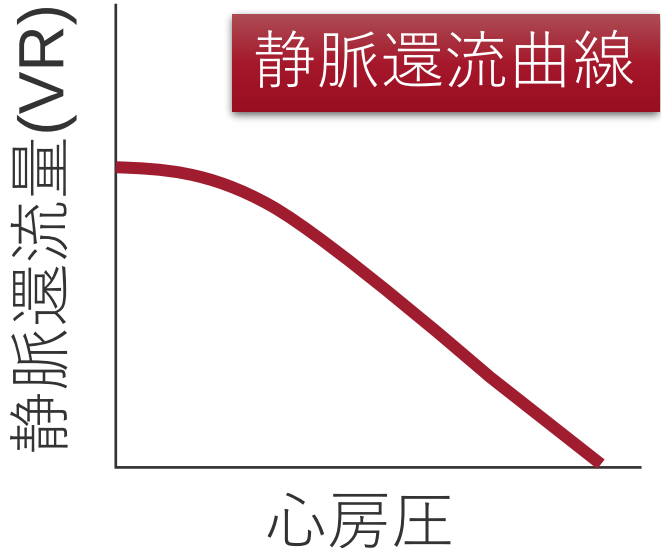
統合心拍出量曲線



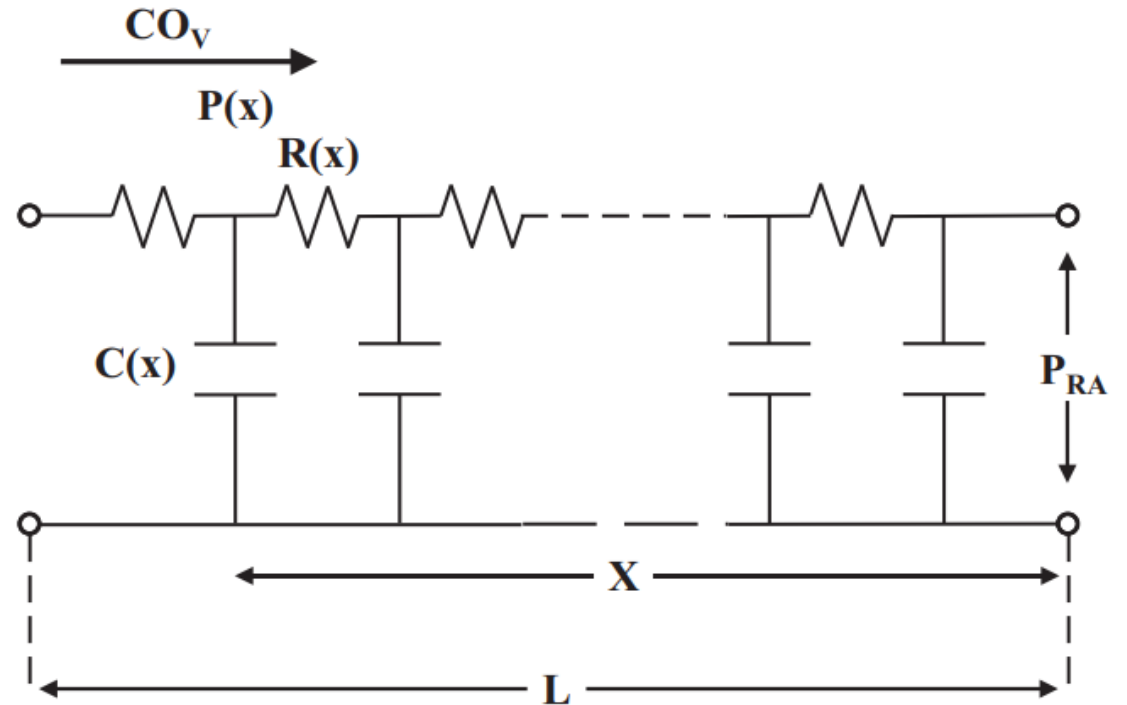
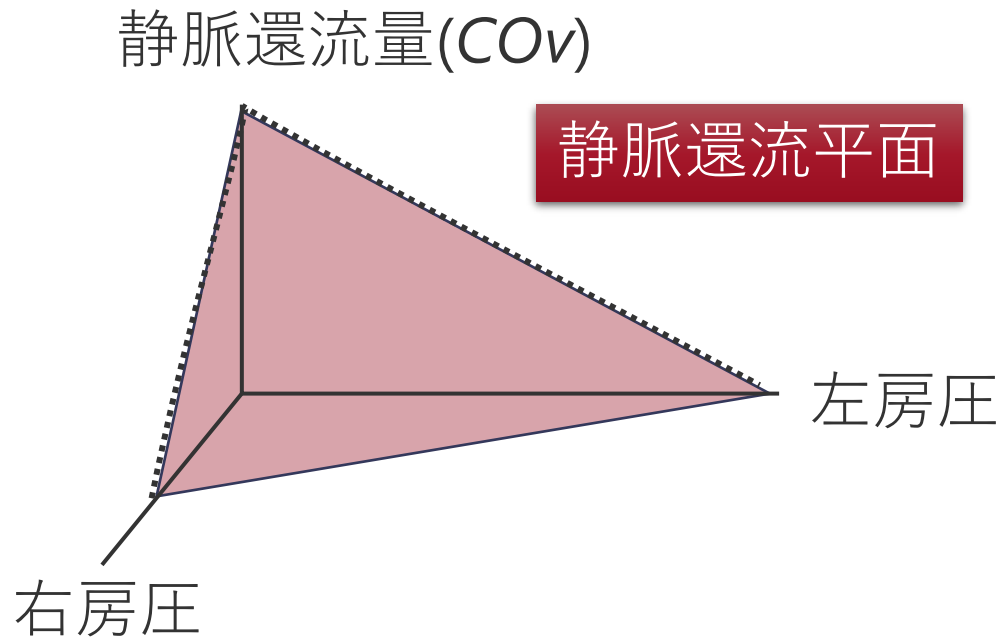
統合心拍出量曲線



静脈還流平面



静脈還流平面

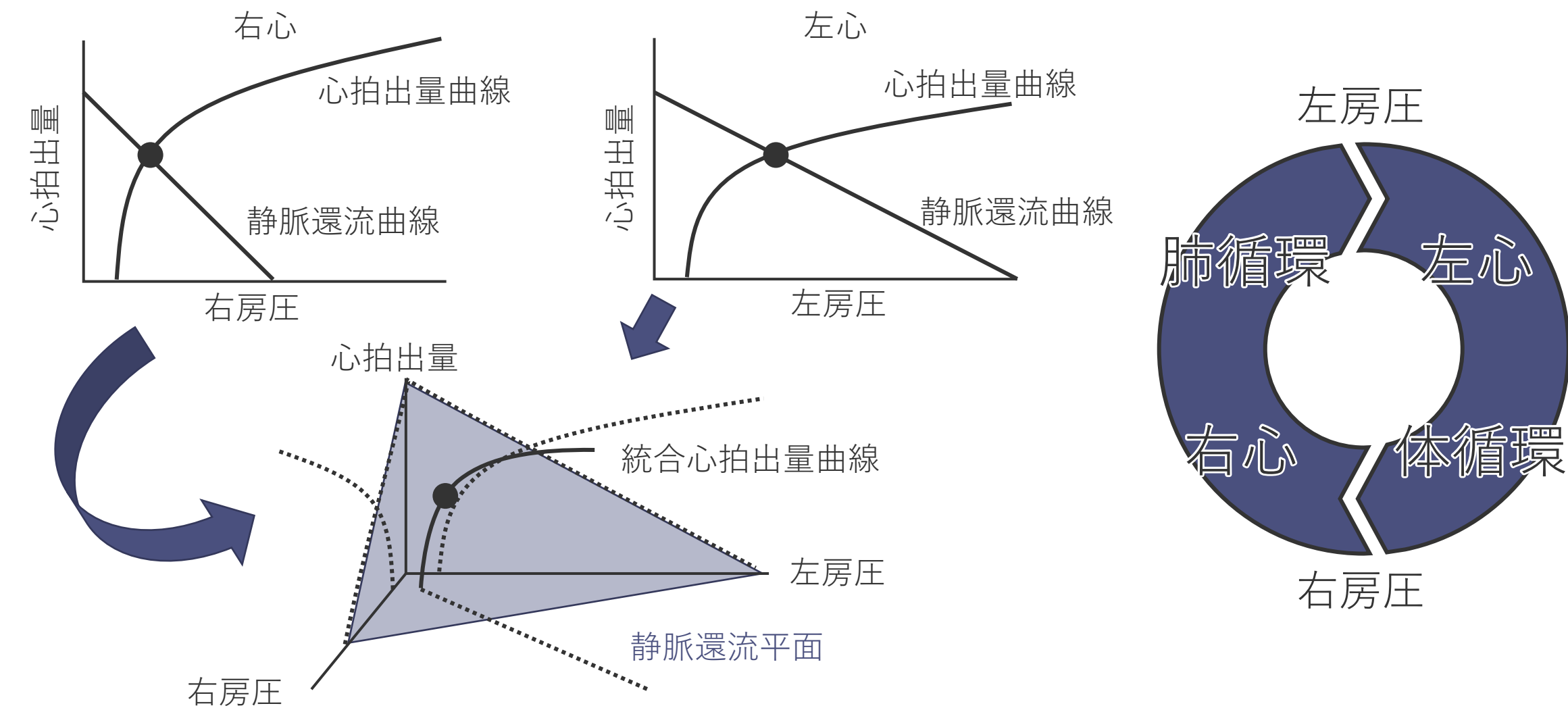


$$CO_v = \frac{SBV}{W} - (G_p \times P_{LA} + G_s \times P_{RA})$$

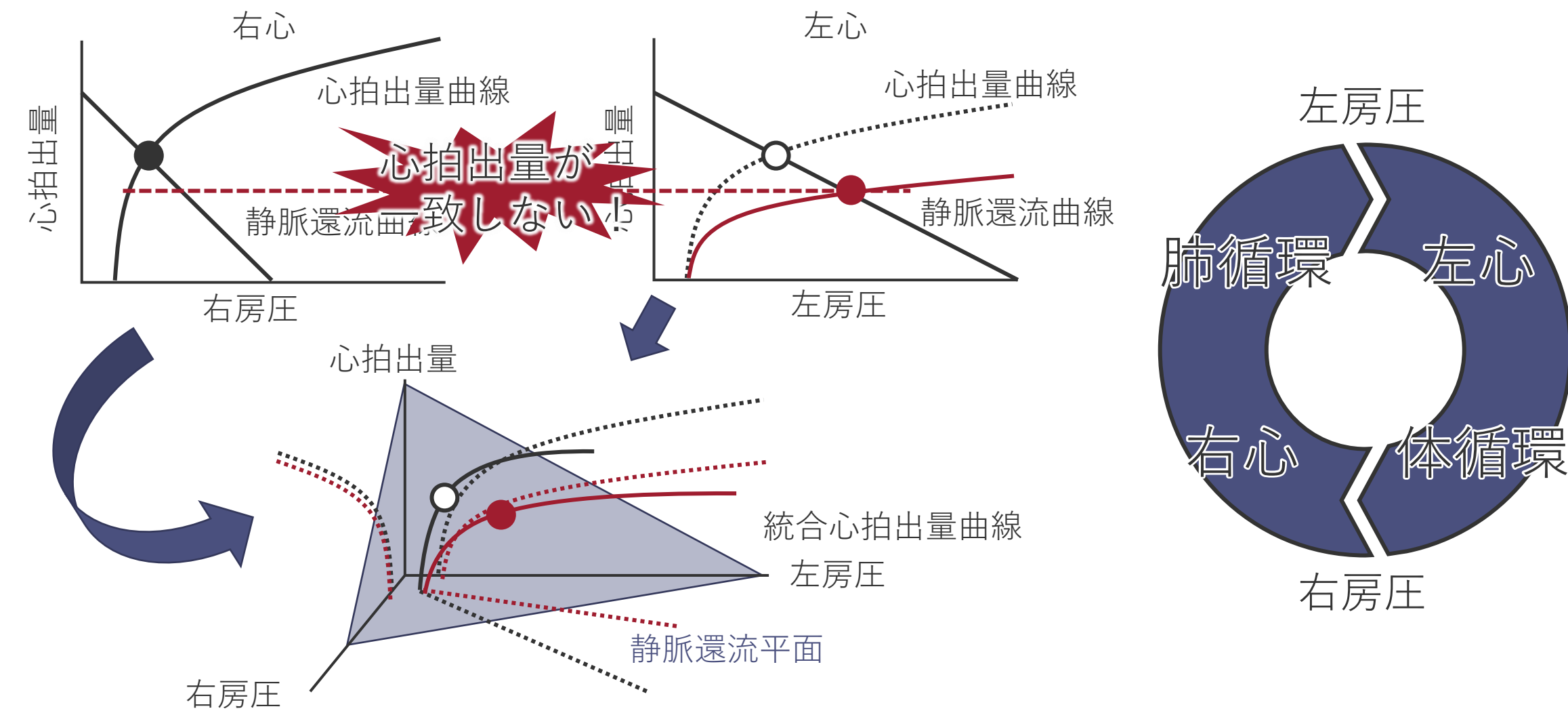
CO_v : 静脈還流量
 W , G_p , G_s は定数

Uemura K et al, AJP 2004

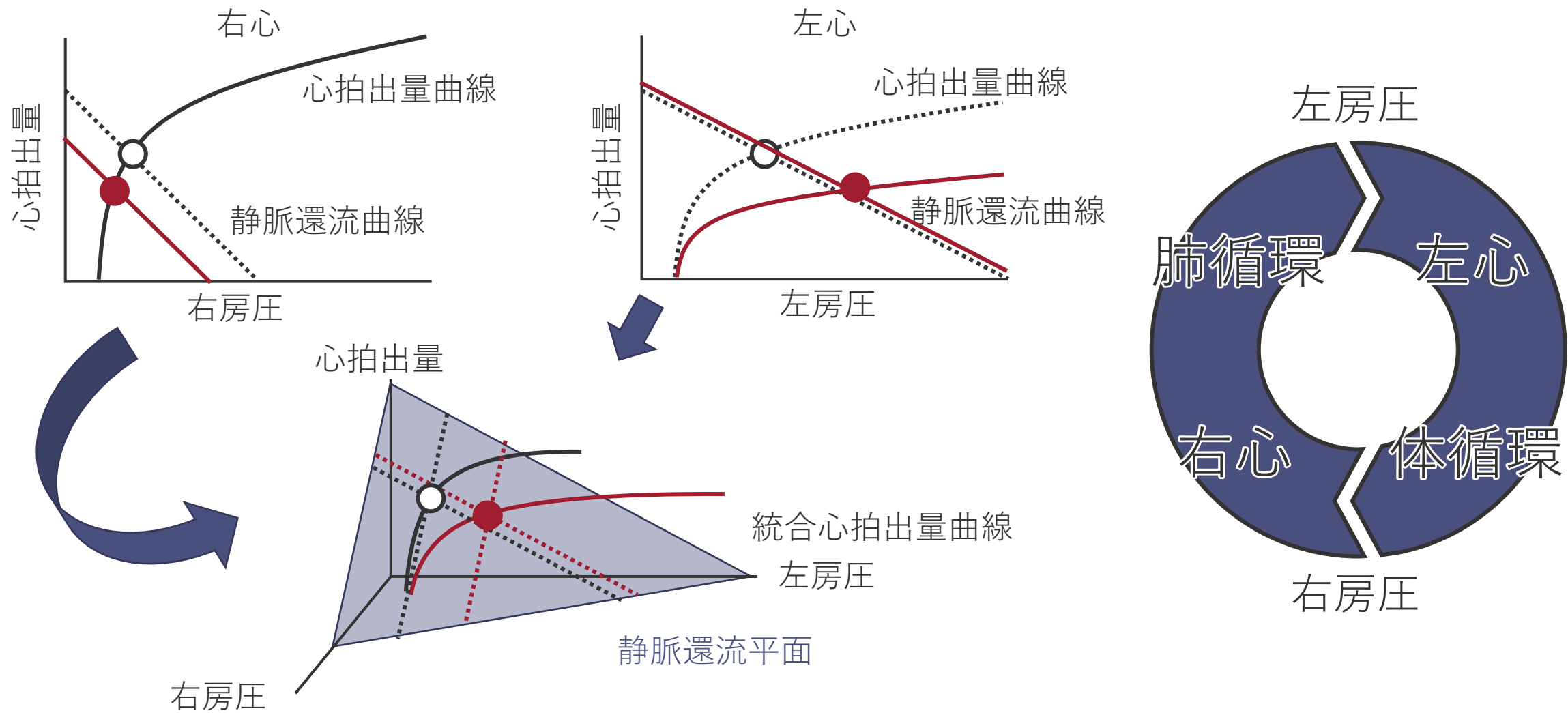
循環を組み合わせる：一般化循環平衡モデル



左心不全の循環平衡



左心不全の循環平衡



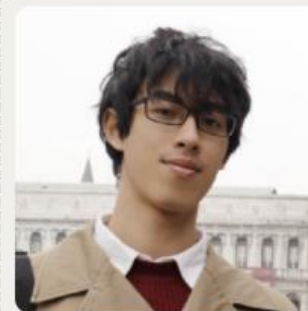


循環動態可視化ソフト SimArthur



荒船 龍彦

東京電機大学 理工学部
准教授



和田 直大

東京電機大学 大学院
理工学研究科

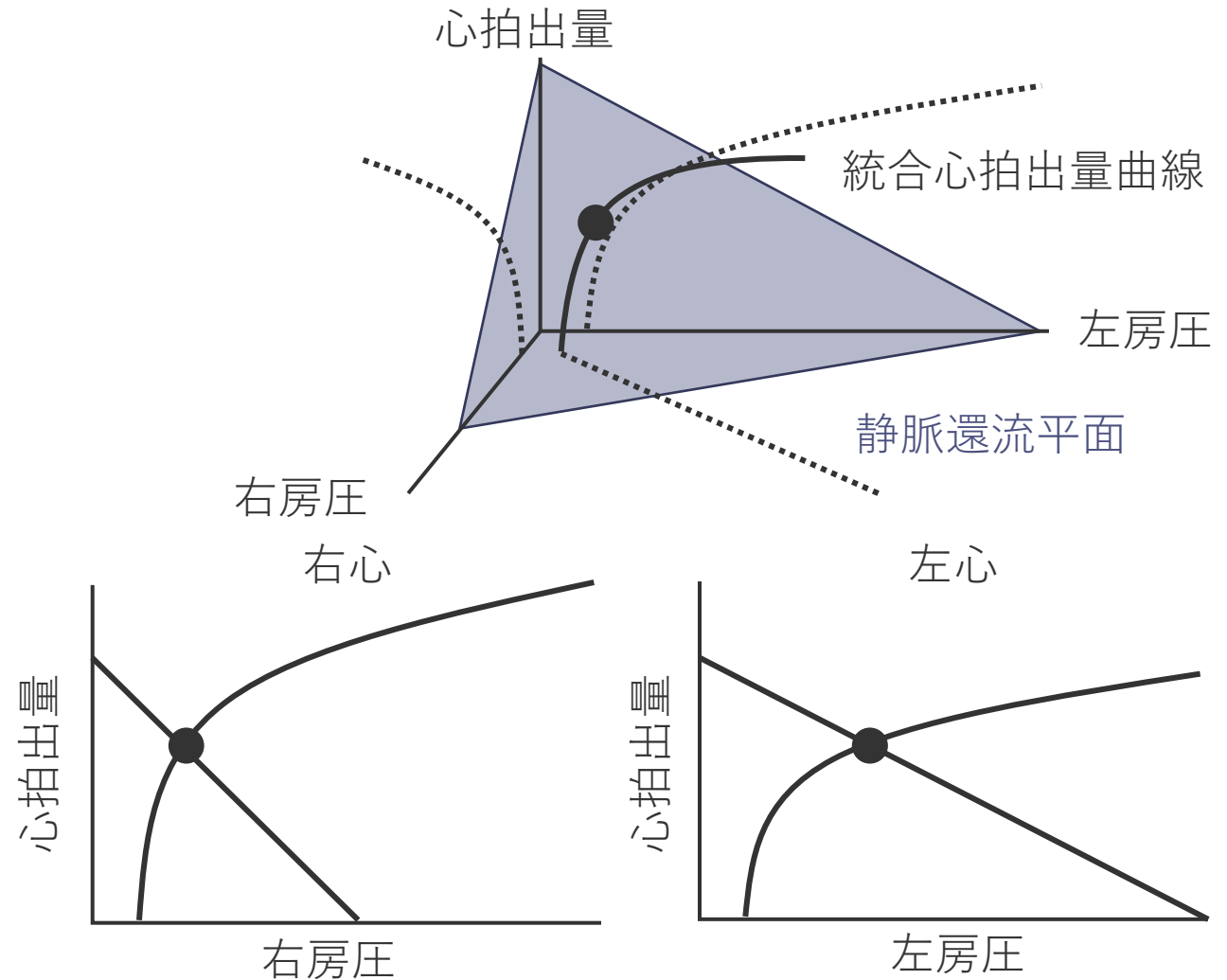


西山 和志

東京電機大学 理工学部
MedicalDevice Developers

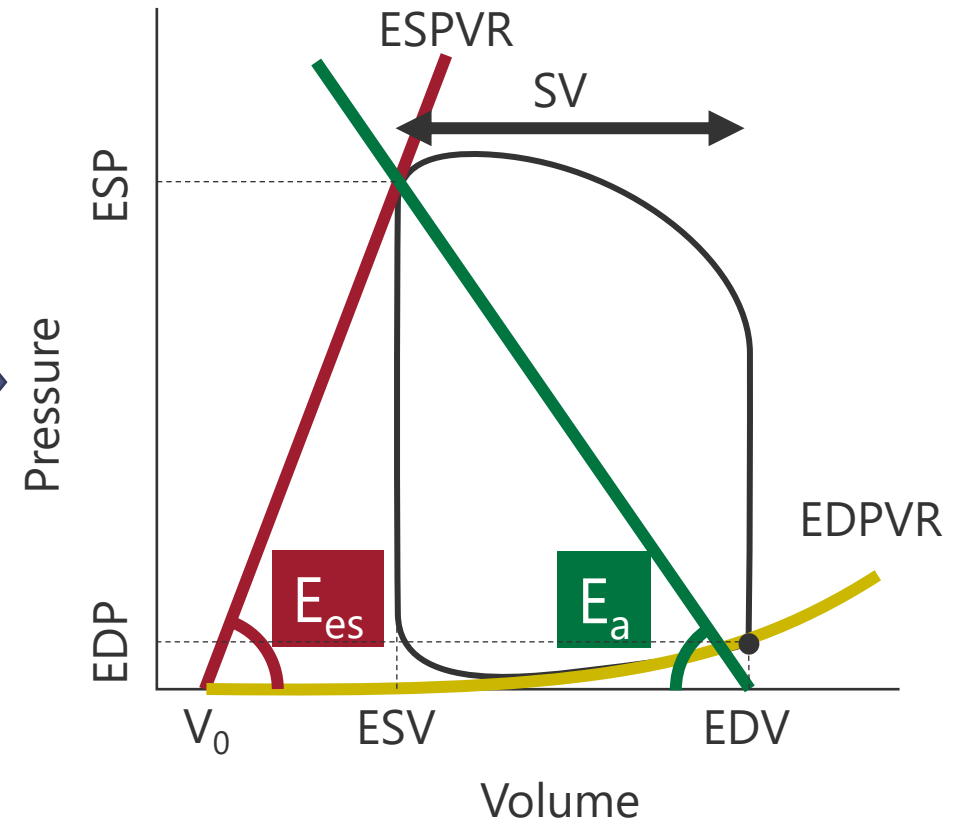
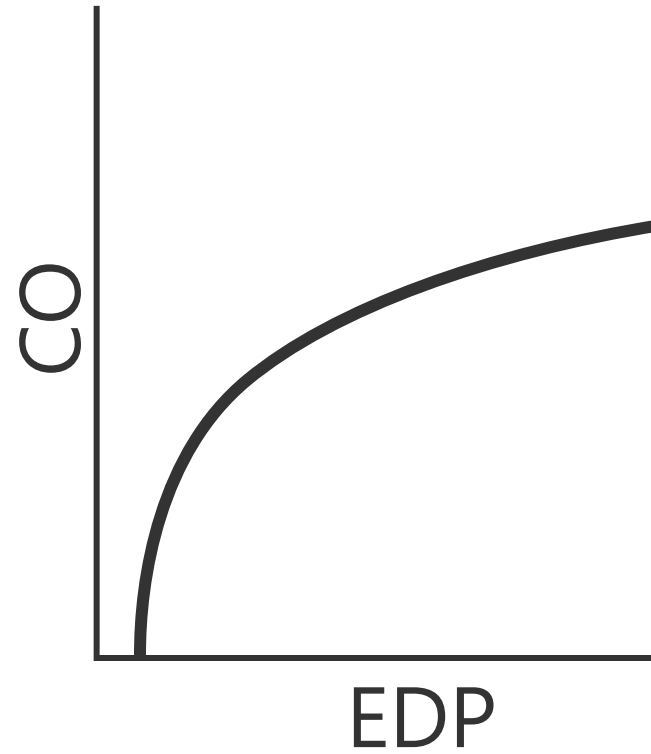
心拍出量、心房圧から循環平衡を可視化！

心拍出量
左房圧 (PAWP)
右房圧 (CVP)



血圧、心拍数、駆出率からPV loopまで可視化

心拍出量
左房圧
右房圧
平均血圧
心拍数
駆出率



☐ 予測モード

患者パラメータ

身長[cm]

体重[kg]

循環動態

心拍数[bpm]

平均血圧[mmHg]

平均肺動脈圧[mmHg]

平均左房圧[mmHg]

平均右房圧[mmHg]

左室心拍出量[l/min]

エコー指標

左心駆出率[%]

右心駆出率[%]

心血管機能パラメータ

負荷血液量[ml/min]

体血管抵抗[l/min]

肺血管抵抗[l/min]

左心心拍排出量曲線
[l/min/mmHg]

右心心拍排出量曲線
[l/min/mmHg]

LV Ees[mmHg/ml]

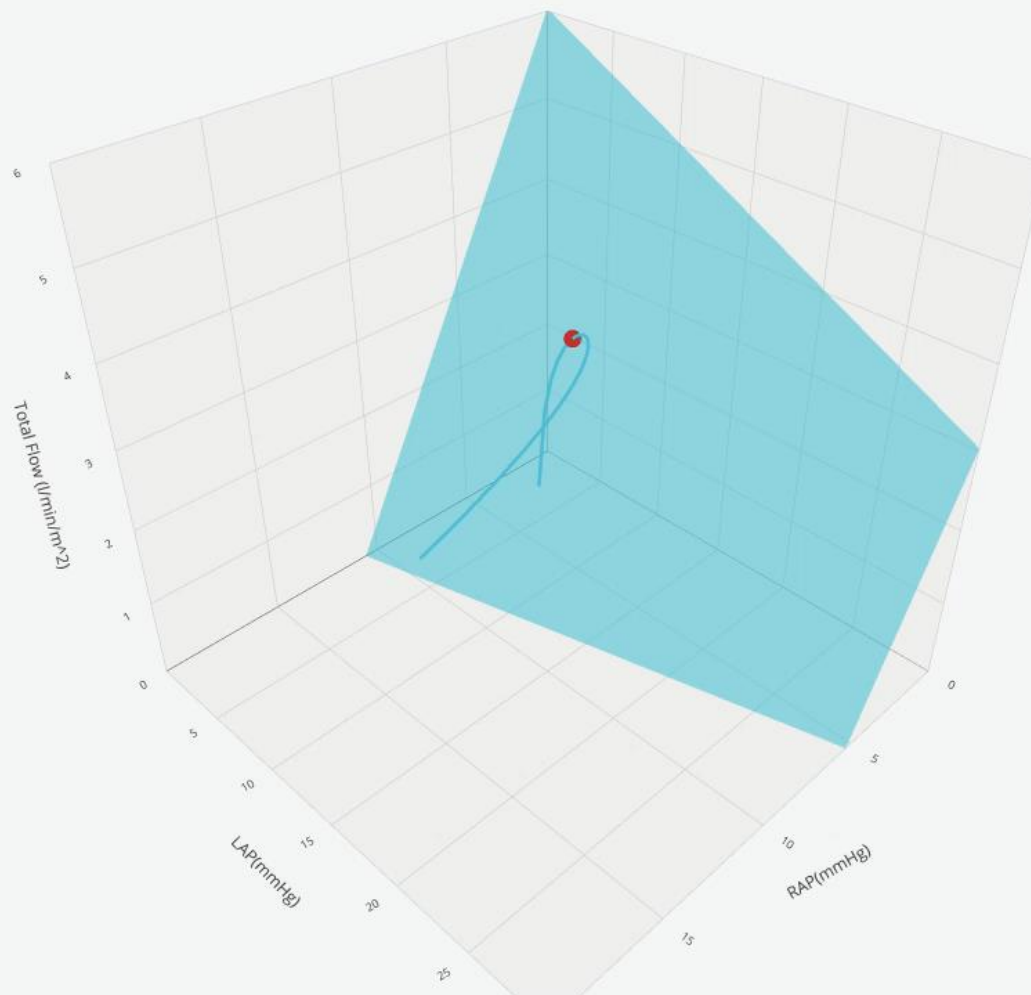
RV Ees[mmHg/ml]

LV Ea[mmHg/ml]

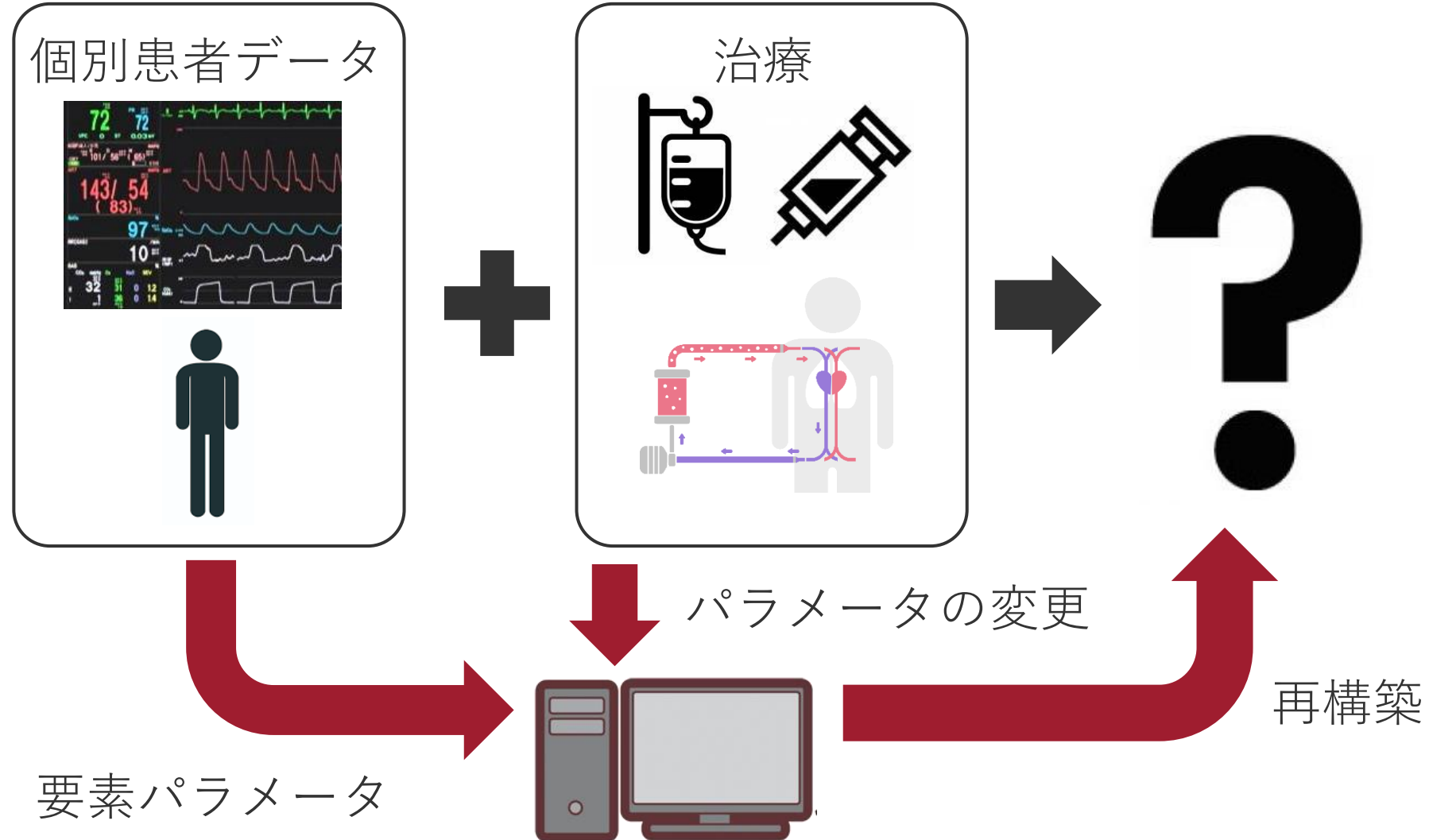
RV Ea[mmHg/ml]

LV Stiffness[1/ml]

Circulatory equilibrium(3D)



パラメータを変化した際の循環動態が予想できる



Q. 次のうち左心の収縮力の影響を受けないものは？

1. 左心心拍出量曲線
2. 統合心拍出量曲線
3. 右心の静脈還流曲線
4. 3次元静脈還流平面

☐ 予測モード

患者パラメータ

身長[cm] 体重[kg]

循環動態

心拍数[bpm] 平均血圧[mmHg] 平均肺動脈圧[mmHg] 平均左房圧[mmHg] 平均右房圧[mmHg] 左室心拍出量[l/min]

エコー指標

左心駆出率[%] 右心駆出率[%]

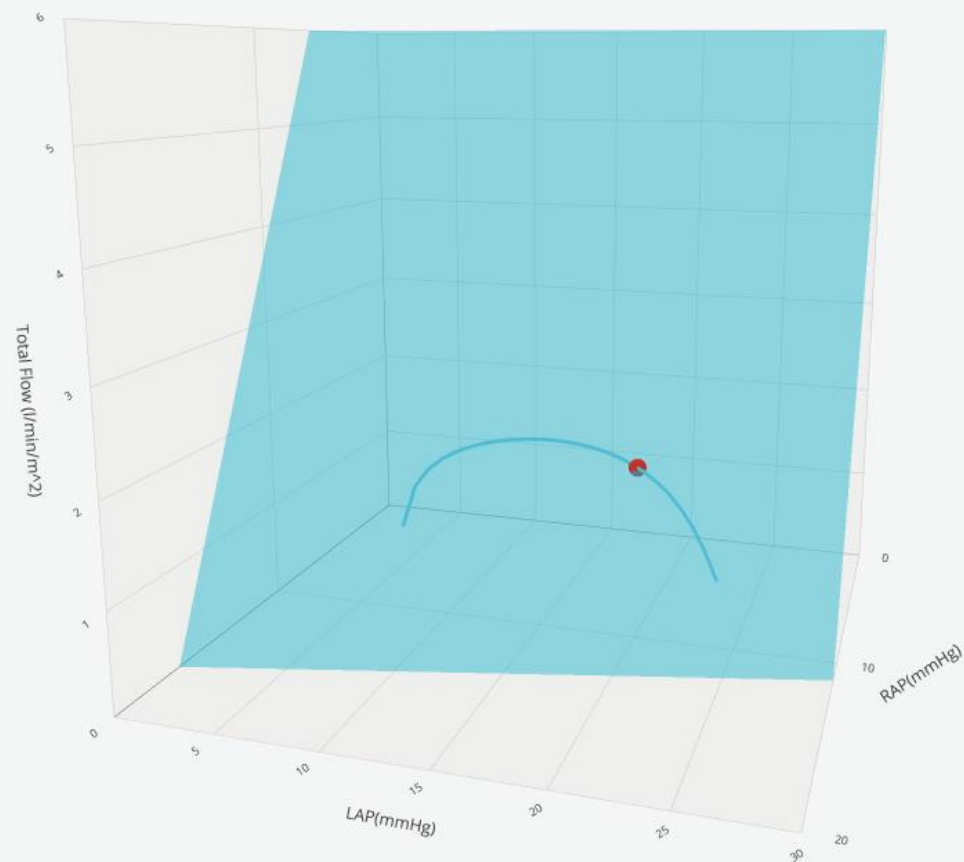
心血管機能パラメータ

負荷血液量[ml/min] 体血管抵抗[l/min] 肺血管抵抗[l/min]

左心心拍排出量曲線

[l/min/mmHg]

右心心拍排出量曲線

[l/min/mmHg] LV Ees[mmHg/ml] RV Ees[mmHg/ml] LV Ea[mmHg/ml] RV Ea[mmHg/ml] LV Stiffness[1/ml] RV Stiffness[1/ml] 

Circulatory equilibrium(Right heart)

Circulatory equilibrium(Left heart)

平均血圧[mmHg]	68	100
平均肺動脈圧[mmHg]	31	27.5
平均左房圧[mmHg]	20	11.2
平均右房圧[mmHg]	9.9	9.94
左室心拍出量[l/min]	3	4.44

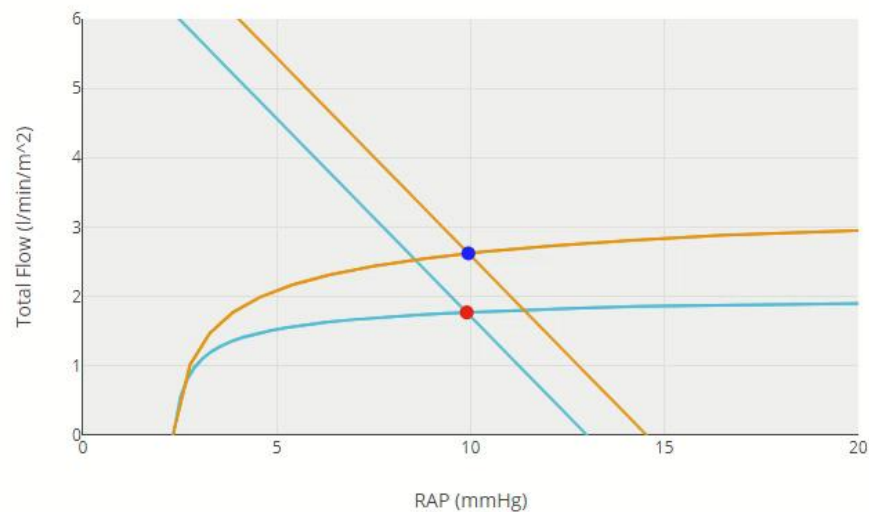
エコー指標

左心駆出率[%]	23	41.5
右心駆出率[%]	40	28.2

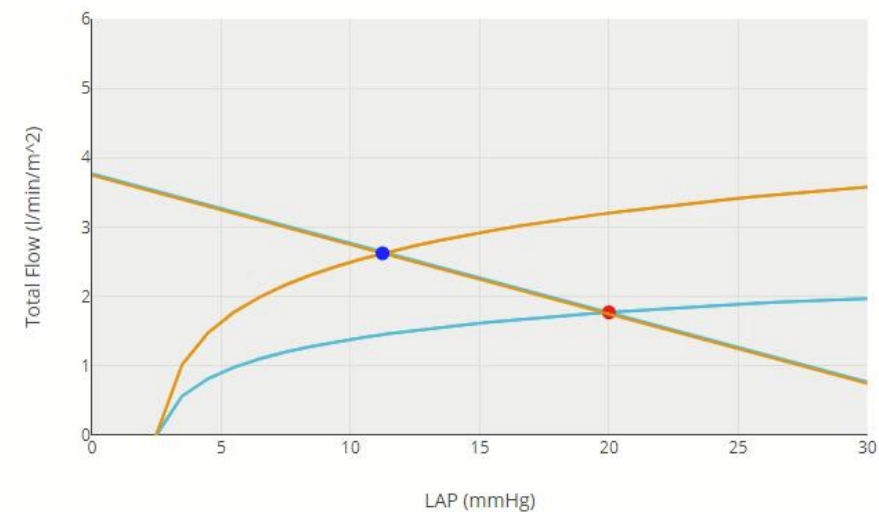
心血管機能パラメータ

負荷血液量[ml/min]	205	206
体血管抵抗[l/min]	22.6	22.5
肺血管抵抗[l/min]	3.66	3.5
左心心拍排出量曲線		
[l/min/mmHg]	0.81	1.47
右心心拍排出量曲線		
[l/min/mmHg]	1.58	1.58
LV Ees[mmHg/ml]	0.64	1.55
RV Ees[mmHg/ml]	0.23	0.21
LV Ea[mmHg/ml]	2.17	2.17
RV Ea[mmHg/ml]	0.35	0.35
LV Stiffness[μ/ml]	0.02	0.02
RV Stiffness[μ/ml]	0.02	0.02
LV PVA[ml・mmHg]	825	736
RV PVA[ml・mmHg]	236	223

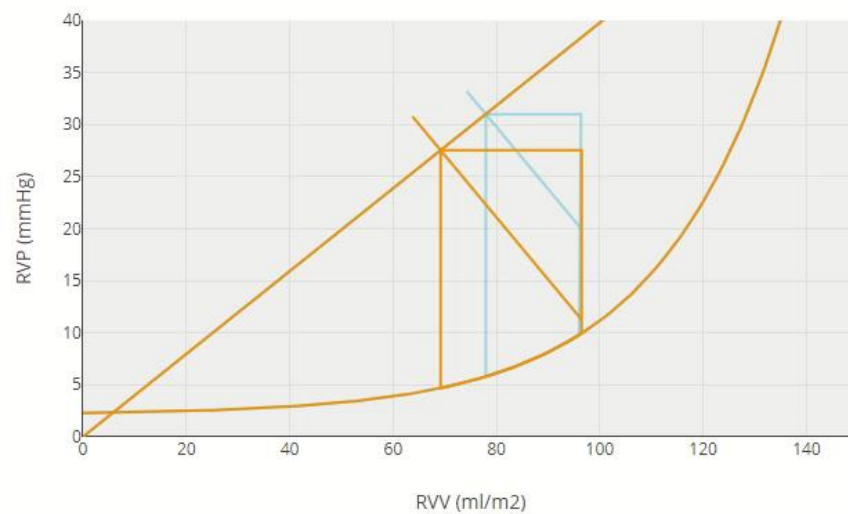
Circulatory equilibrium(Right heart)



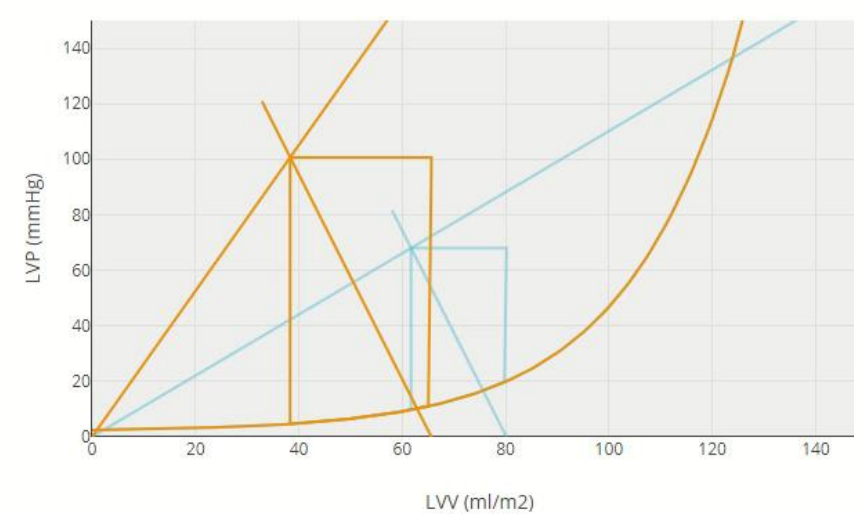
Circulatory equilibrium(Left heart)



PV loop(Right ventricle)



PV loop(Left ventricle)



Take Home Message

- 心拍出量曲線と静脈還流曲線の交点が循環動態の平衡点
- 心拍出量曲線と静脈還流曲線の性質を捉えると循環が見える
- 左心系と右心系を分けて考えるためには三次元の循環平衡が必要
- SimArthur** 本日から無料公開！