

第5回HERVAC

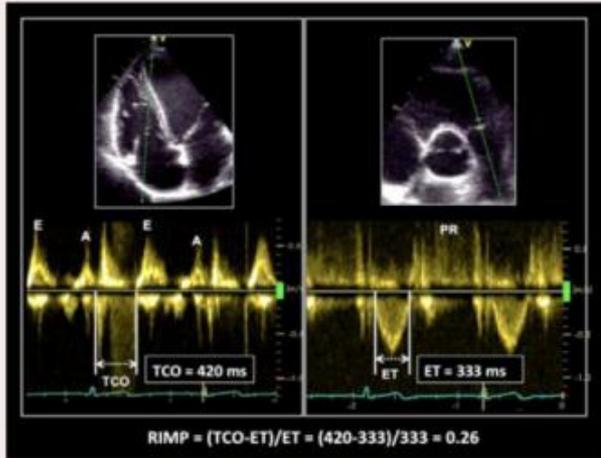
圧容積関係から
右室機能、右室-肺血管カップリング
評価法の意義と限界を再考する

九州大学病院循環器内科

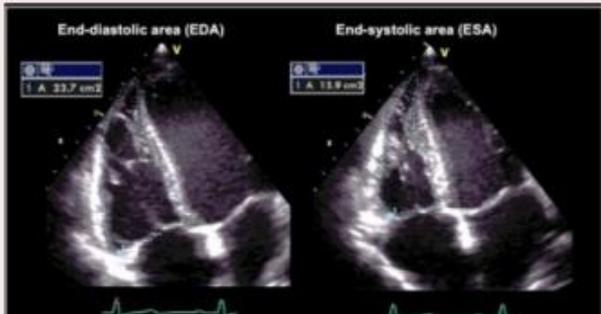
坂本隆史

右室全体の機能

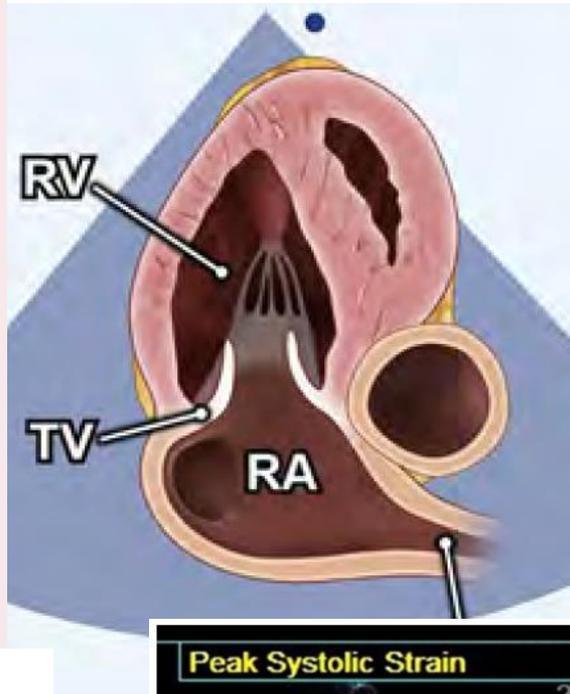
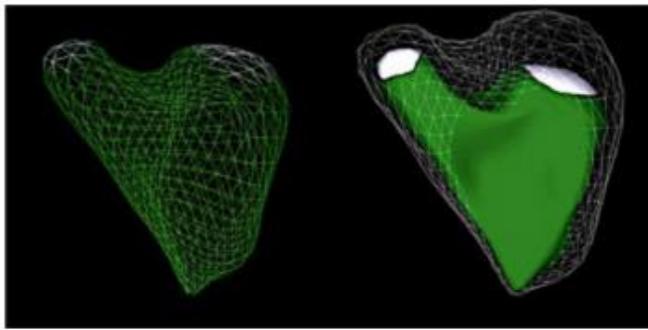
パルスドプラによる RIMP



FAC

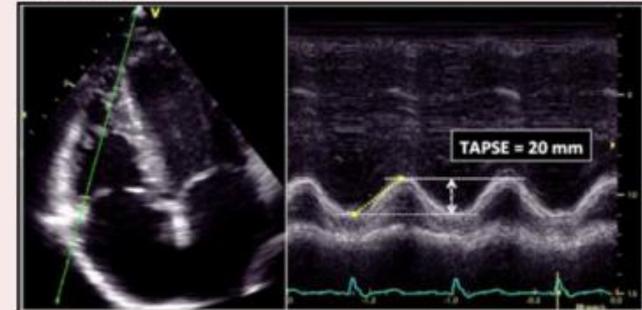


EF

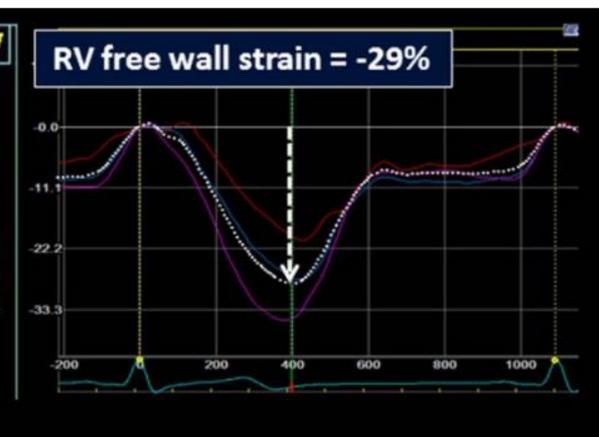
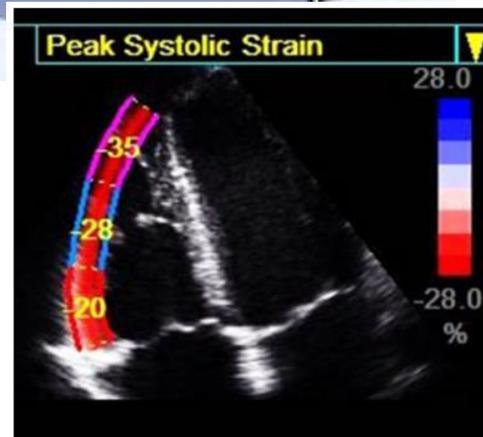
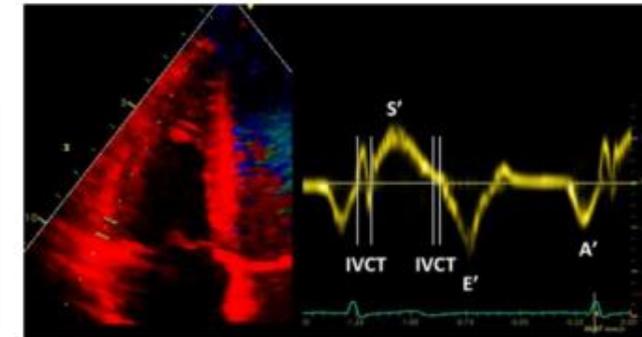


右室長軸方向収縮能

TAPSE



パルス組織ドプラ法による S 波



右室機能の指標

右室での以下の指標を圧容積関係の視点から考察する。

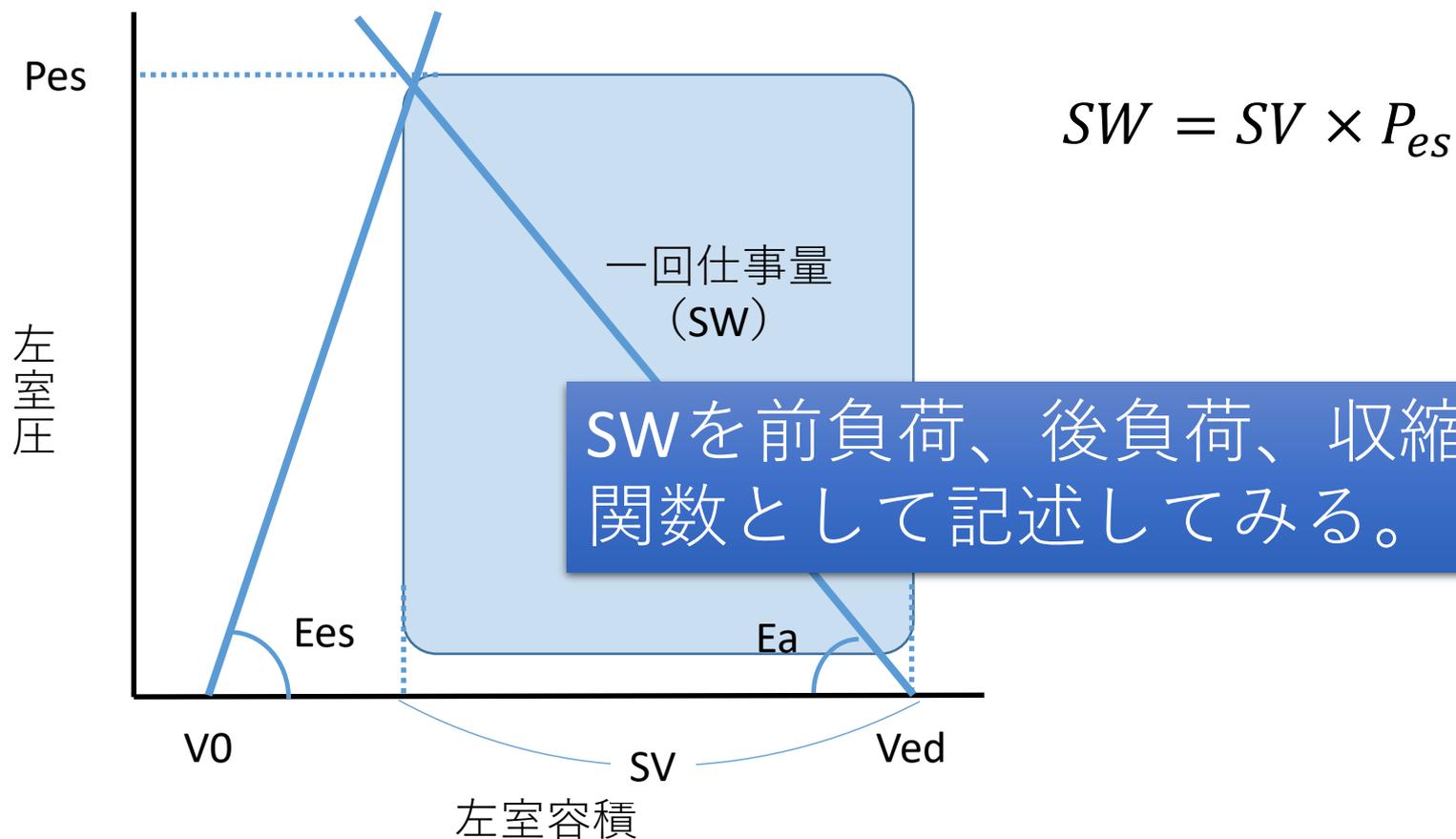
RV stroke work(RVSW)

$RVSP \times SV$ 、 $TRPG \times TAPSE$ など

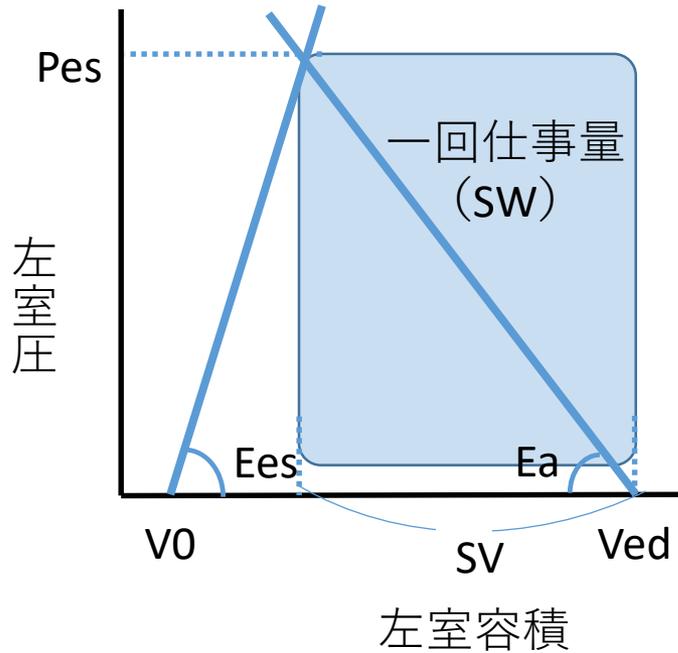
RV-PA coupling

Ea/Ees 、 $TAPSE/PASP$ など

LV stroke work(=external work)



収縮性 E_{es} 、前負荷 V_{ed} 、後負荷 E_a



$$SW = SV \times P_{es}$$

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

$$SW = SV^2 \times E_a$$

$$SV = (V_{ed} - V_0) \times \frac{E_{es}}{(E_{es} + E_a)} = \frac{(V_{ed} - V_0)}{(1 + \frac{E_a}{E_{es}})}$$

$$SW = \frac{(V_{ed} - V_0)^2 \times E_a}{(1 + \frac{E_a}{E_{es}})^2}$$

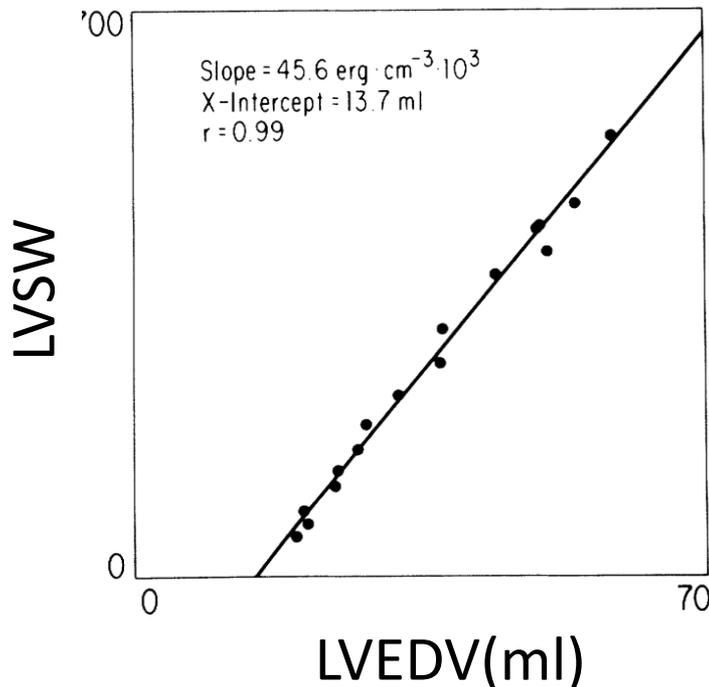
Stroke work(SW)は収縮性、前負荷、後負荷が複雑に相互関係することで決定している。

Preload-recruitable stroke work

Linearity of the Frank-Starling relationship in the intact heart: the concept of preload recruitable stroke work

DONALD D. GLOWER, M.D., JOHN A. SPRATT, M.D., NICHOLAS D. SNOW, B.S.,
J. SCOTT KABAS, B.A., JAMES W. DAVIS, M.S.E.E., CRAIG O. OLSEN, M.D.,
GEORGE S. TYSON, M.D., DAVID C. SABISTON, JR., M.D., AND
J. SCOTT RANKIN, M.D.

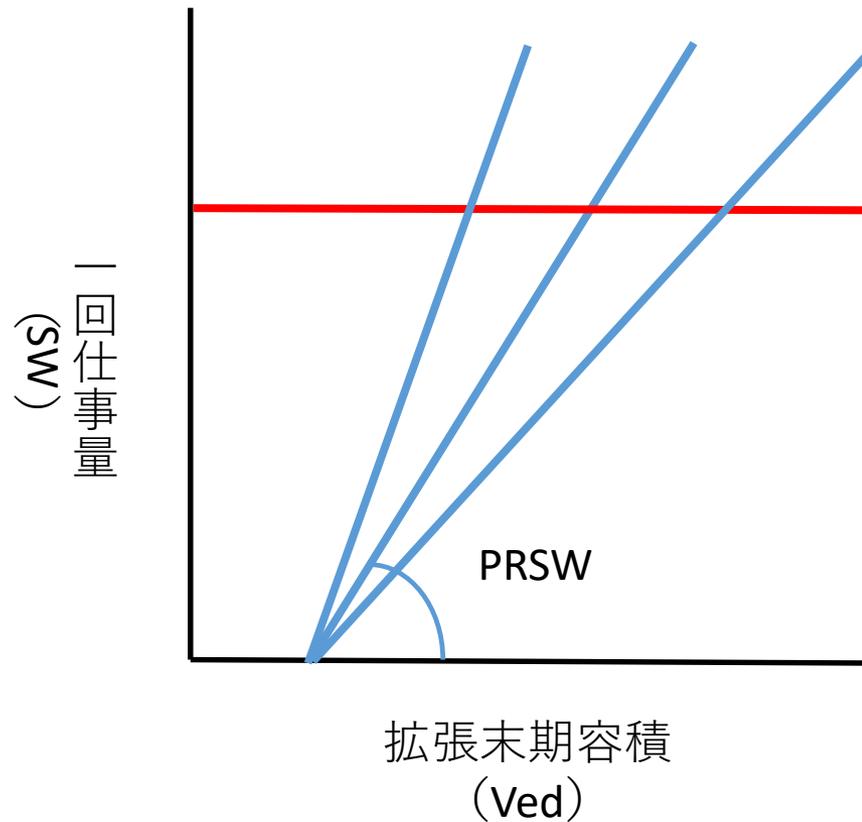
Circulation 1985



- LVEDVとSWにlinearな関係あり
- このslopeは後負荷、心拍数に影響を受けない
- このslopeは「負荷非依存の収縮性」の指標

PRSWの枠組みとSWの関係

SWは収縮性の指標？

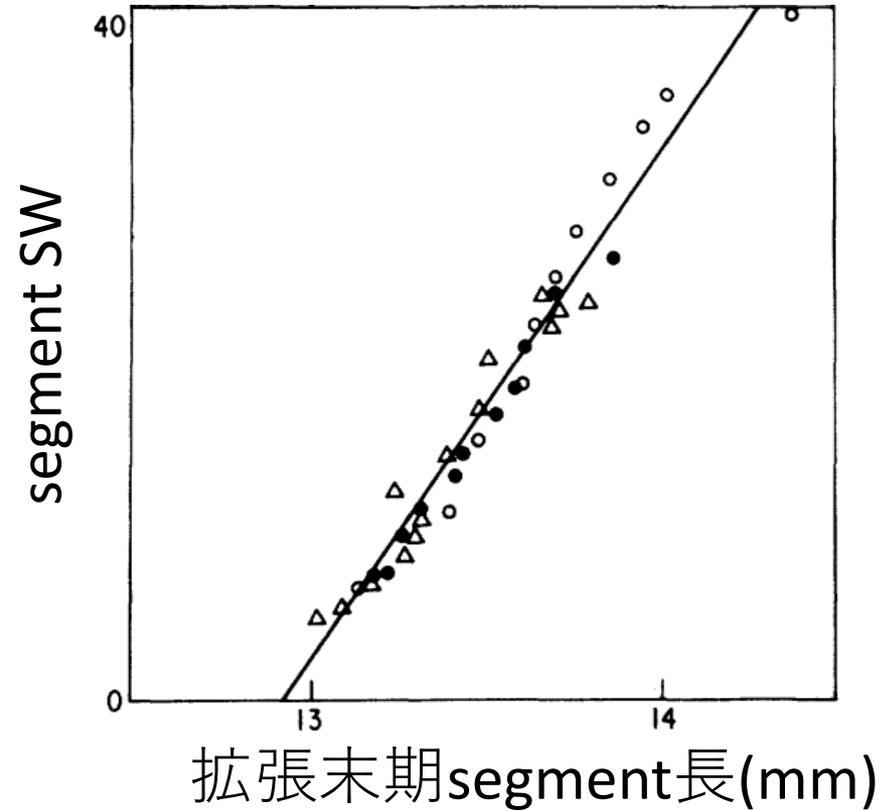
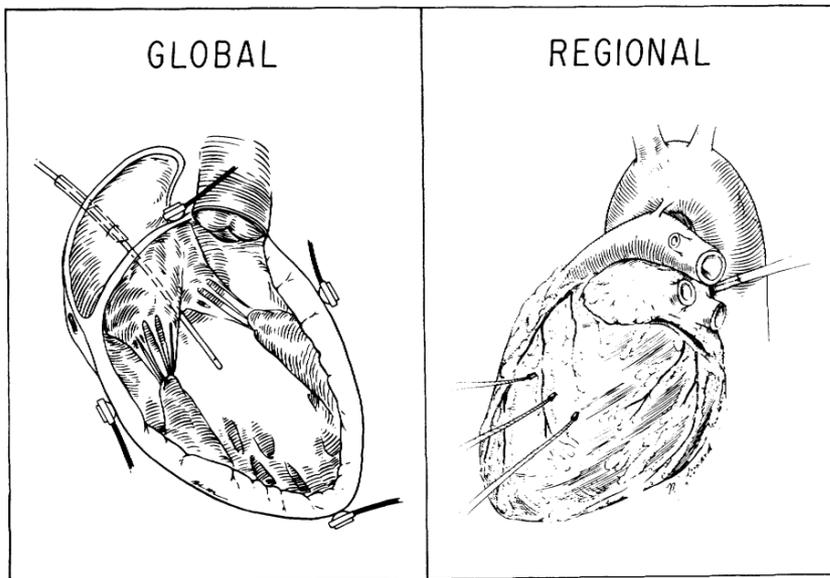


SWと拡張末期容積との関係を見ることで、心室固有の収縮性に迫れる可能性

Regional PRSW

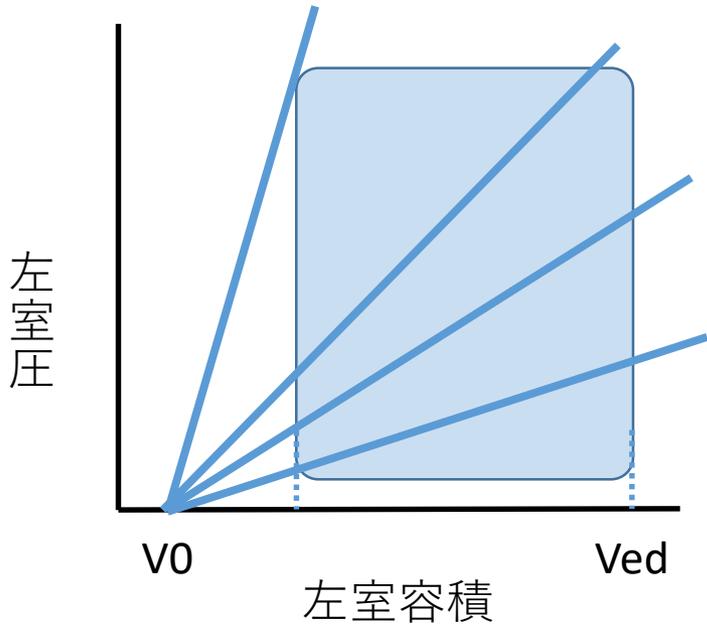
Circulation 1985

後負荷変化させた際のPRSW



局所のSWと拡張末期segment長との関係を見ることで、心室固有の収縮性に迫れる可能性

$$dP/dt_{max}/V_{ed}$$

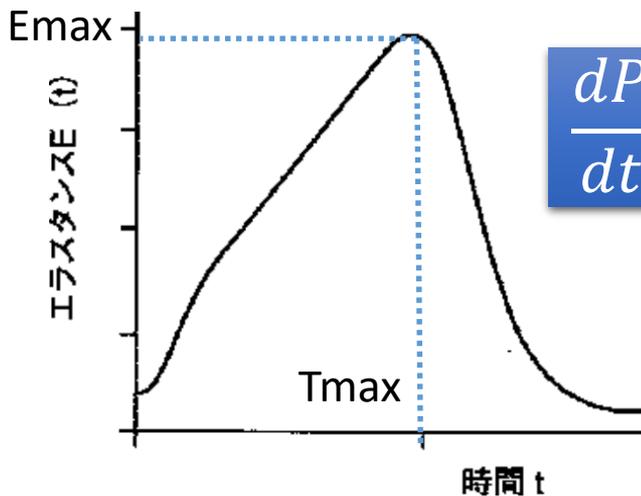


心周期によって左室のelastanceが
変化する。
「時変エラスタンス：E(t)」

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

$$= E_{max} \cdot \frac{1}{T_{max}} E_N(t) \times V(t)$$

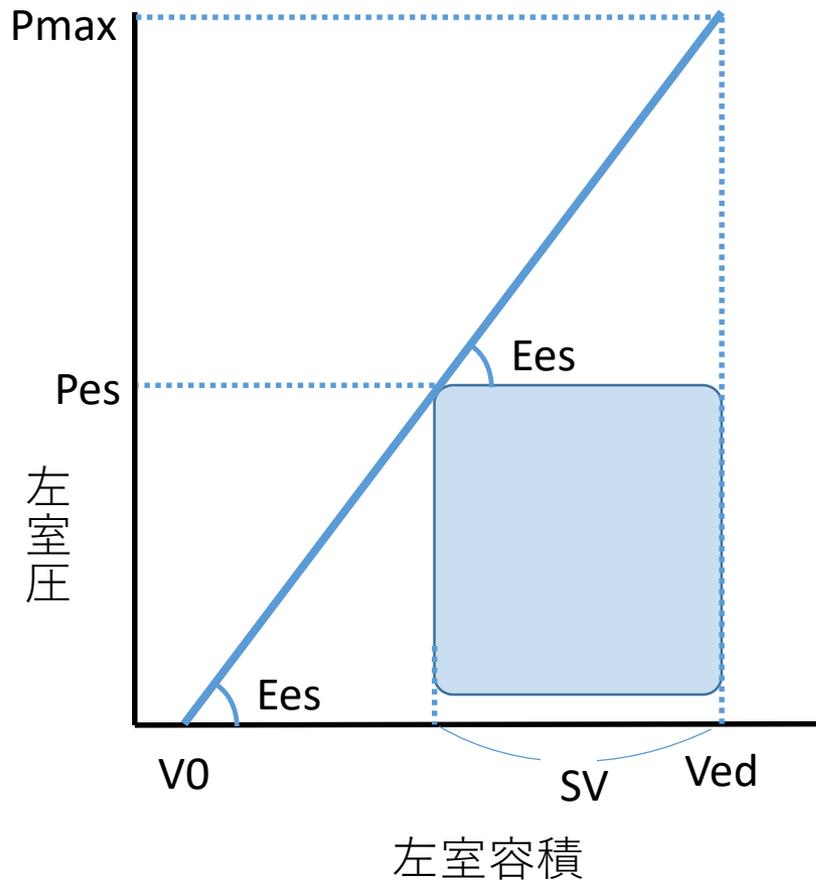
$$\frac{dP}{dt} max = E_{max} \cdot \frac{1}{T_{max}} E_N'(t) \times V_{ed}$$



$$\frac{dP}{dt} max/V_{ed} = E_{max} \cdot \frac{1}{T_{max}} E_N'(t/N)$$

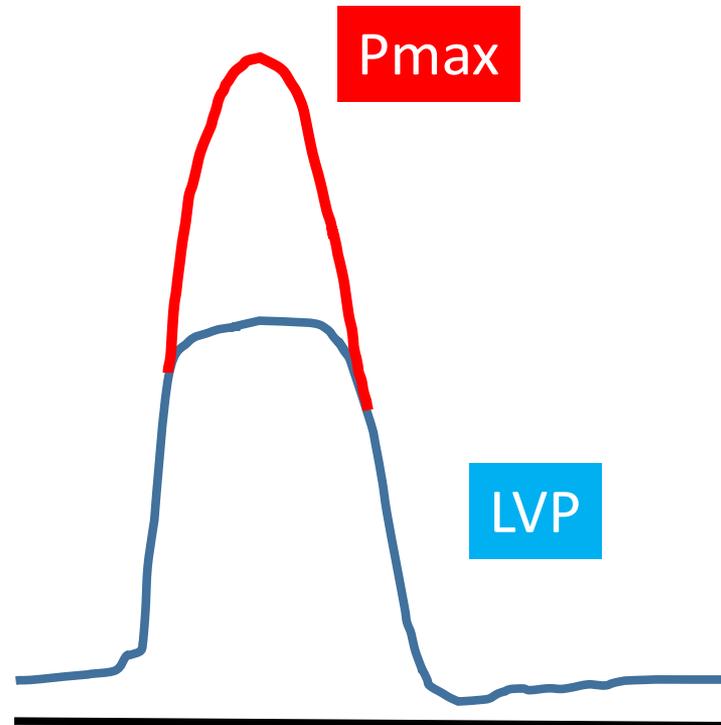
$dP/dt_{max}/V_{ed}$ は心拍数が同じ
であれば E_{max} の指標となる

PmaxからE_{es}の推定



$$E_{es} = \frac{(P_{max} - P_{es})}{SV}$$

RV圧波形からPmaxを推定

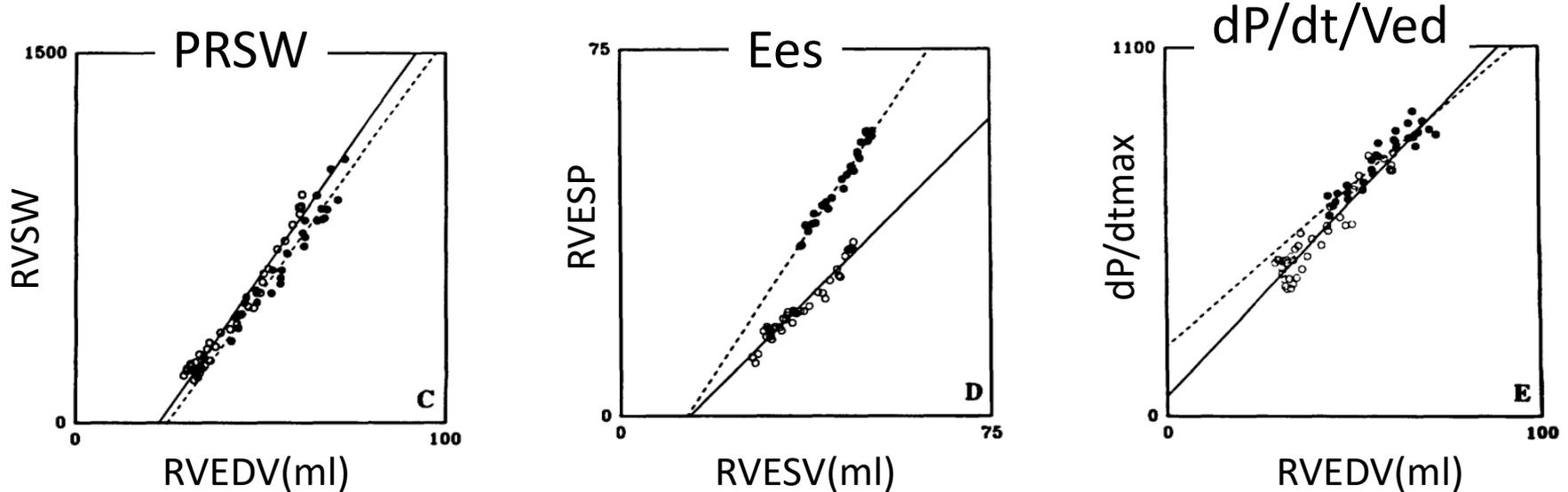


Right Ventricular Preload Recrutable Stroke Work, End-Systolic Pressure–Volume, and dP/dt_{\max} –End-Diastolic Volume Relations Compared as Indexes of Right Ventricular Contractile Performance in Conscious Dogs

Circulation Research 1992

Mohanraj K. Karunanithi, Jerzy Michniewicz, Susan E. Copeland, and Michael P. Feneley

Partial PA occlusionによる後負荷増大時の各指標の応答



- RVのPRSWは後負荷、心拍数に非依存であり、収縮力の指標
- Eesは後負荷により変化する。（肺動脈弁閉鎖タイミング等）
- dP/dt_{\max} は比較的負荷非依存である

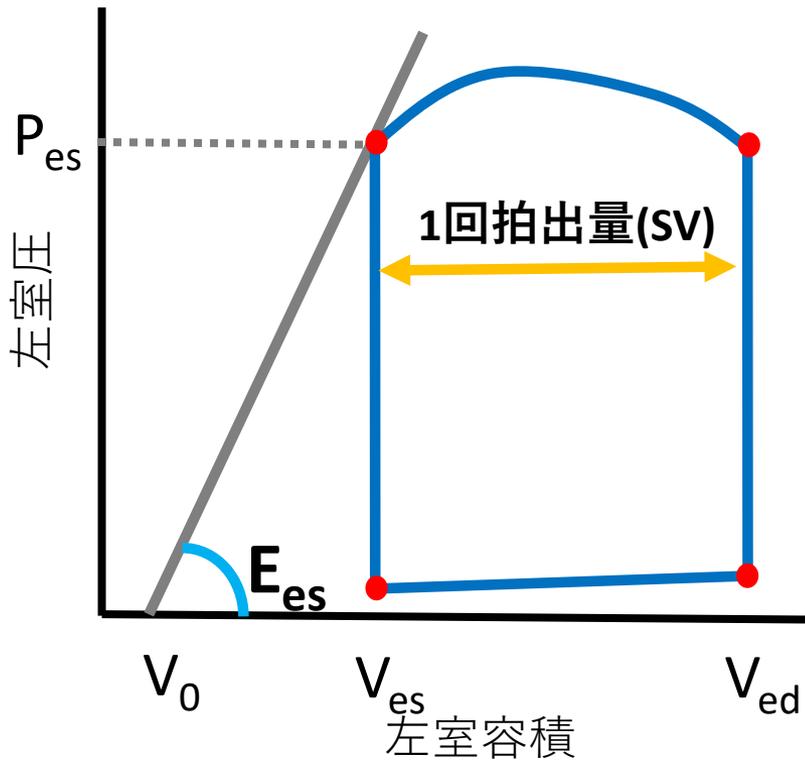
心室血管カップリング

RV-PA coupling

Ea/Ees、TAPSE/PASPなど

まず左室でのLV-A couplingを知ろう

左室圧容積関係



SVは心臓だけで決まるものではない。
後負荷としての血管を組み込む必要がある。

実効動脈エラスタンス (effective arterial elastance: E_a)

平均動脈圧を P_{mean} 、一回拍出量を SV とすると

$$E_a = P_{\text{mean}} / SV$$

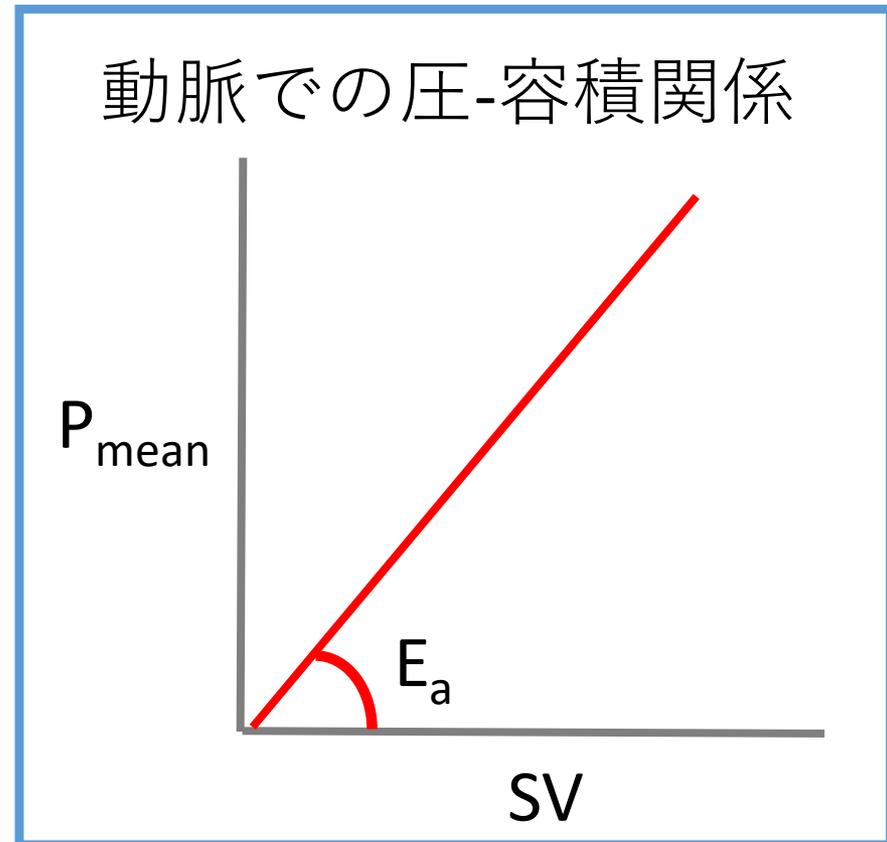
末梢血管抵抗を R とすると、

$$P_{\text{mean}} = CO \times R$$

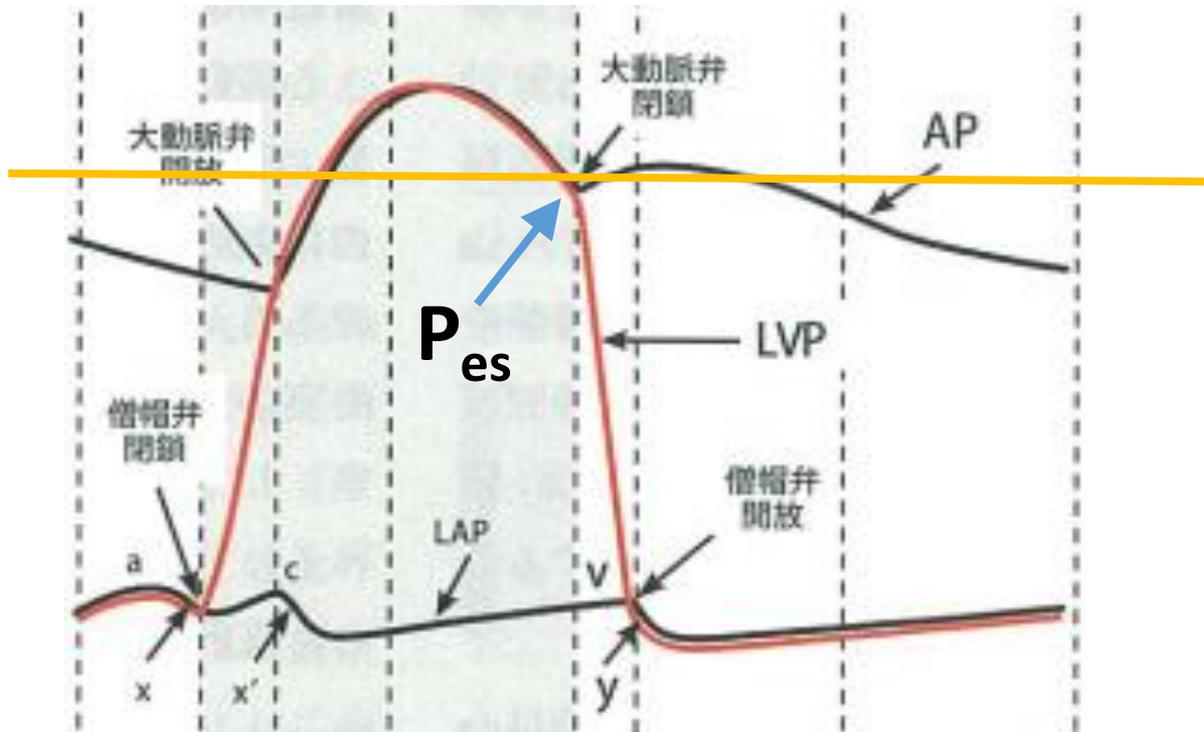
$$P_{\text{mean}} = SV \times HR \times R$$

$$P_{\text{mean}} / SV = HR \times R \\ = E_a$$

$$E_a = HR \times R$$



心臓と血管をcouplingさせるための仮定： $P_{es} = P_{mean}$

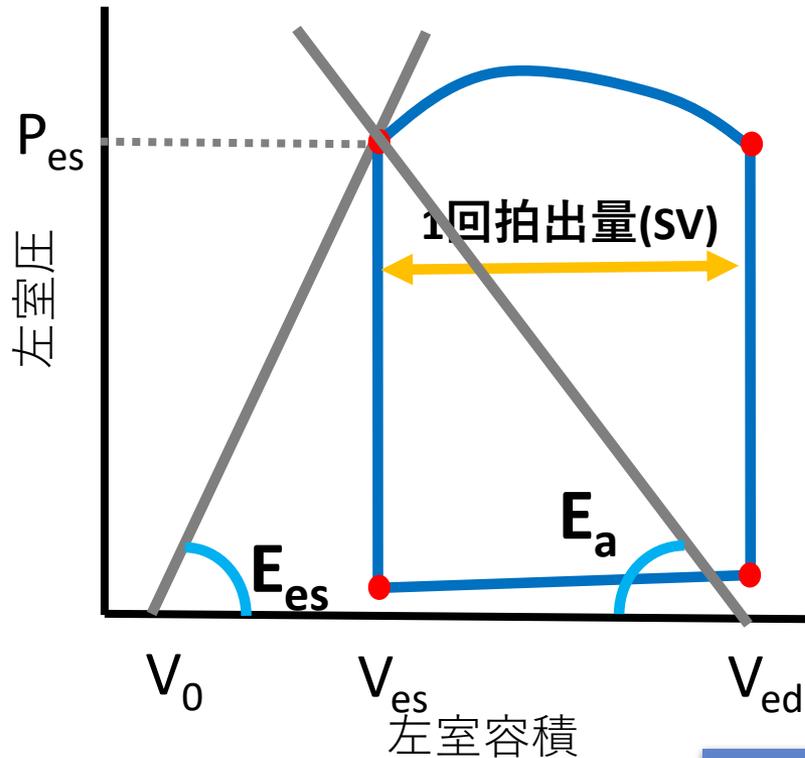


$$P_{mean}$$

$$E_a = P_{mean} / SV$$

$$E_a = P_{es} / SV$$

心室-血管coupling

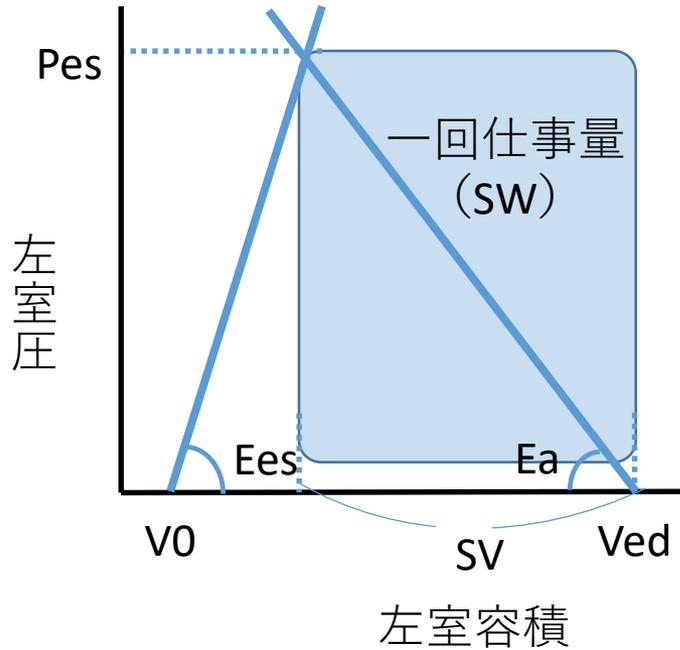


$$E_a = P_{es} / SV$$

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

$$\begin{aligned} EF &= \frac{(V_{ed} - V_0)}{V_{ed}} \times \frac{E_{es}}{(E_{es} + E_a)} \\ &= \frac{(V_{ed} - V_0)}{V_{ed}} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{E_a}{E_{es}}\right)} \end{aligned}$$

収縮性 E_{es} 、前負荷 V_{ed} 、後負荷 E_a



$$SW = SV \times P_{es}$$

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

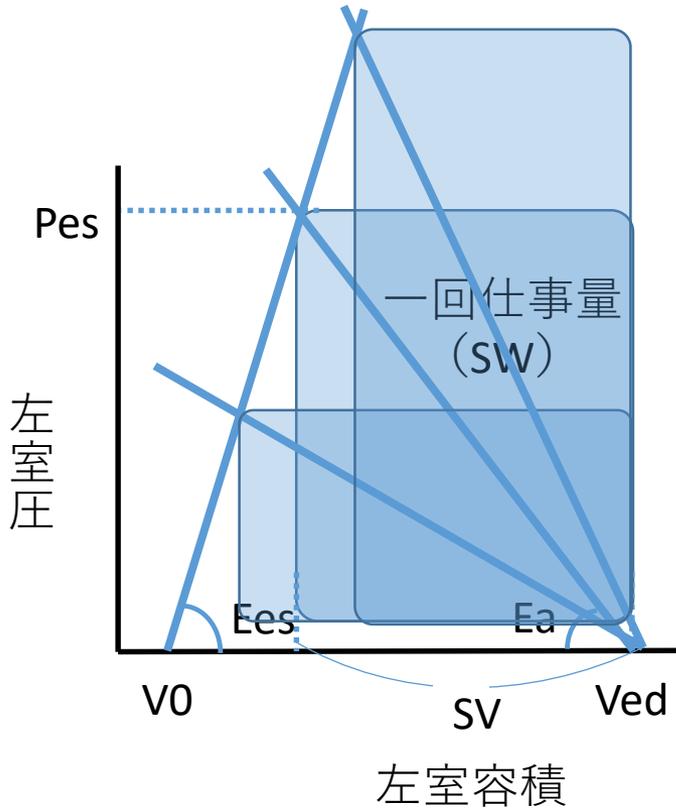
$$SW = SV^2 \times E_a$$

$$SV = (V_{ed} - V_0) \times \frac{E_{es}}{(E_{es} + E_a)} = \frac{(V_{ed} - V_0)}{(1 + \frac{E_a}{E_{es}})}$$

$$SW = \frac{(V_{ed} - V_0)^2 \times E_a}{(1 + \frac{E_a}{E_{es}})^2}$$

Stroke work(SW)は収縮性、前負荷、後負荷が複雑に相互関係することで決定している。

ある心臓が外的仕事(SW)を行う際の afterloadと仕事効率： Q_{load}



前提： E_{es} と V_{ed} は固定

$$Q_{load} = \frac{SW}{SW_{max}}$$

$$SW = \frac{(V_{ed} - V_0)^2 \times E_a}{\left(1 + \frac{E_a}{E_{es}}\right)^2}$$

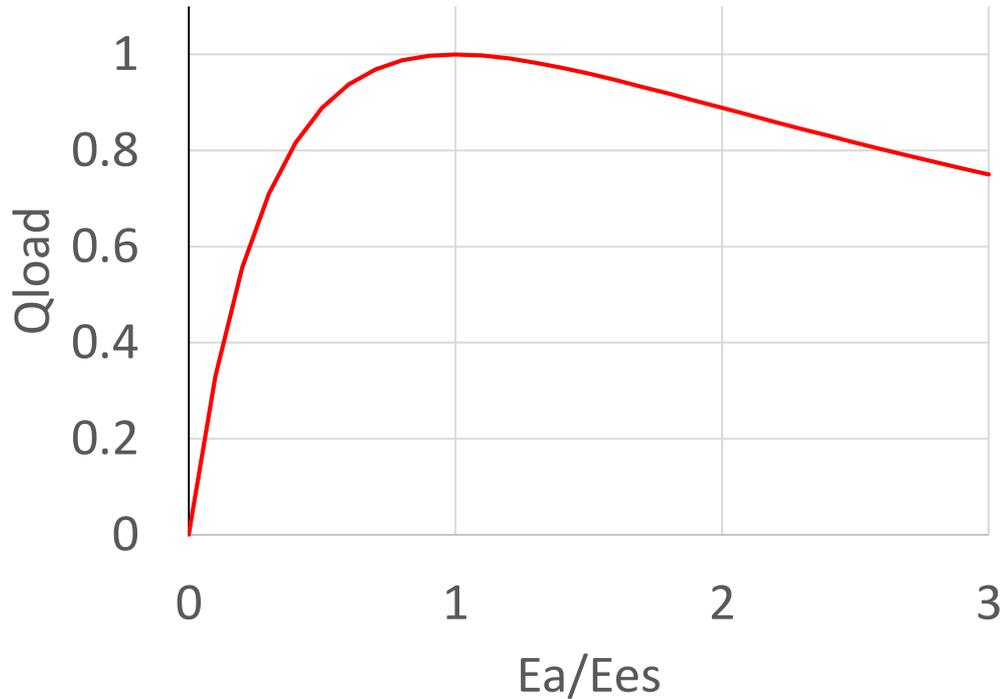
$E_a = E_{es}$ の時にSWは最大となり、

$$SW_{max} = \frac{(V_{ed} - V_0)^2 \times E_{es}}{4}$$

$$Q_{load} = \frac{4 \times \frac{E_a}{E_{es}}}{\left(1 + \frac{E_a}{E_{es}}\right)^2}$$

外的仕事とエネルギー効率： Q_{load}

$$Q_{load} = \frac{4 \times \frac{E_a}{E_{es}}}{\left(1 + \frac{E_a}{E_{es}}\right)^2}$$



$E_a/E_{es}=1$ の時にエネルギー効率はoptimalとなる

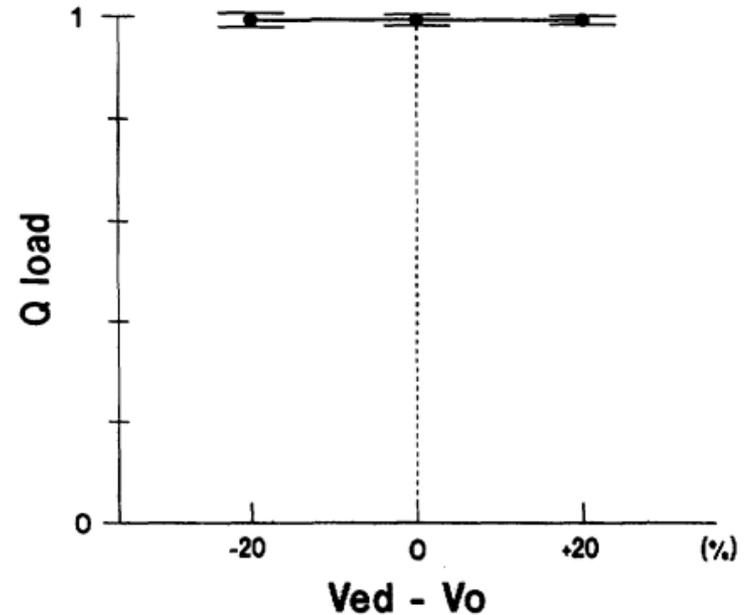
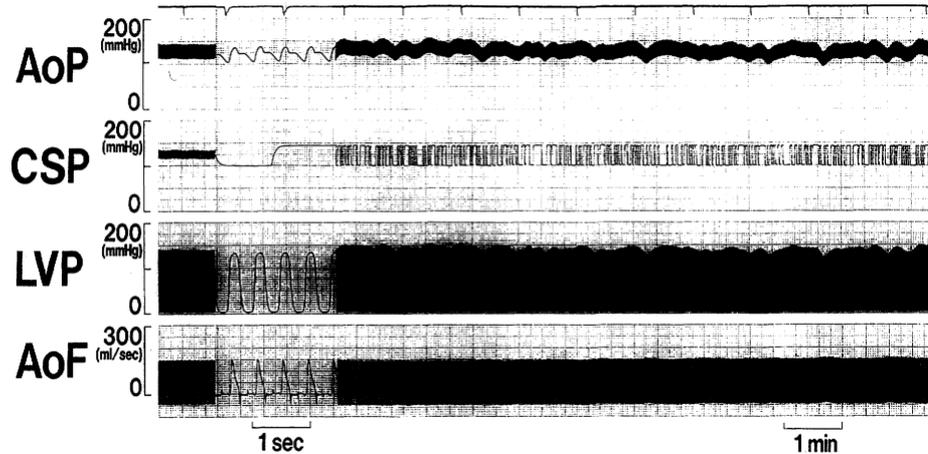
Dynamic effects of carotid sinus baroreflex on ventriculoarterial coupling studied in anesthetized dogs

T Kubota, J Alexander, Jr, R Itaya, K Todaka, M Sugimachi, K Sunagawa, Y Nose and A Takeshita

Circ. Res. 1992;70;1044-1053

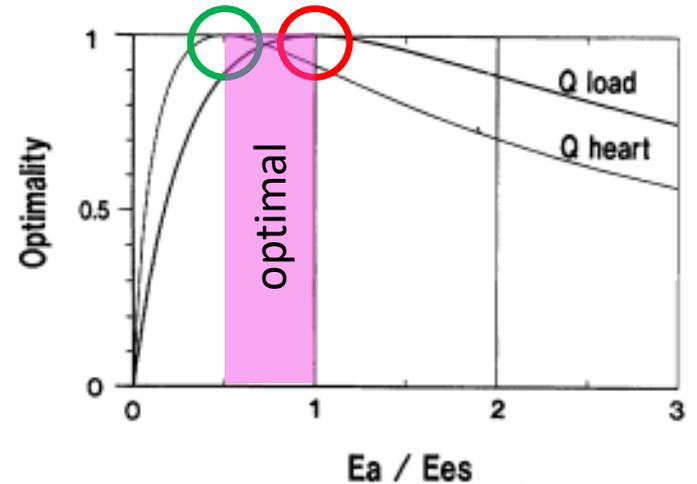
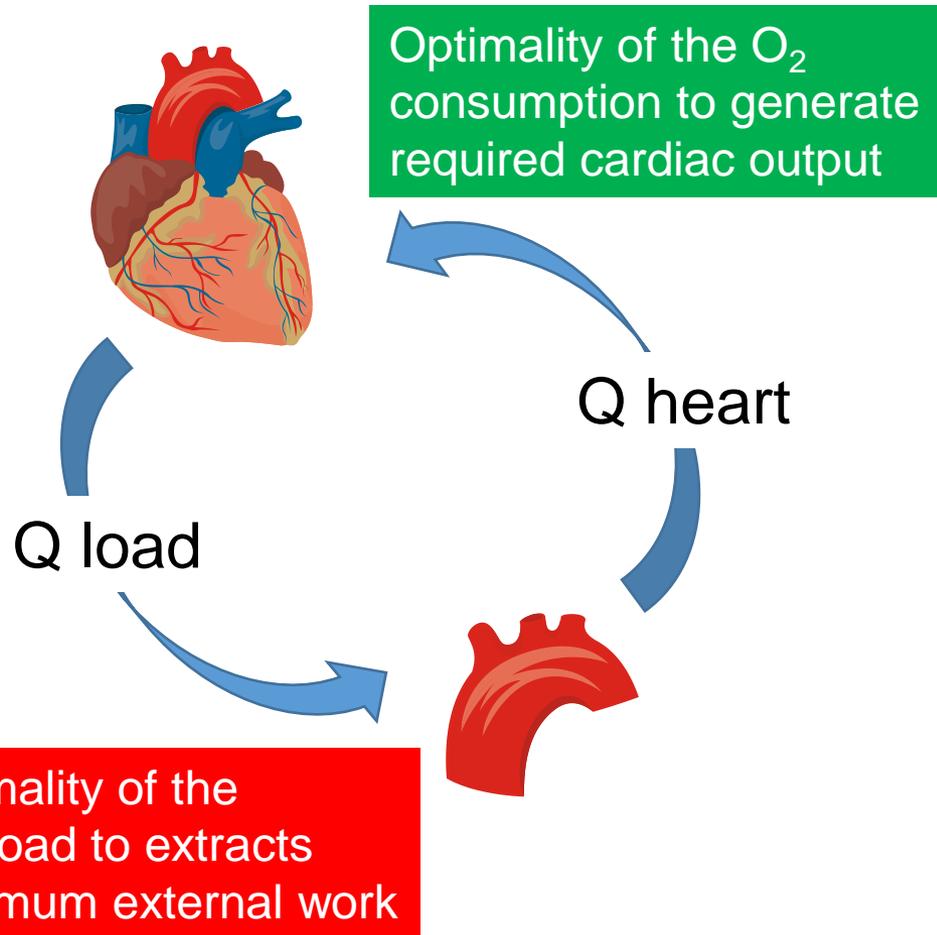
Circulation Research

JOURNAL OF THE AMERICAN HEART ASSOCIATION

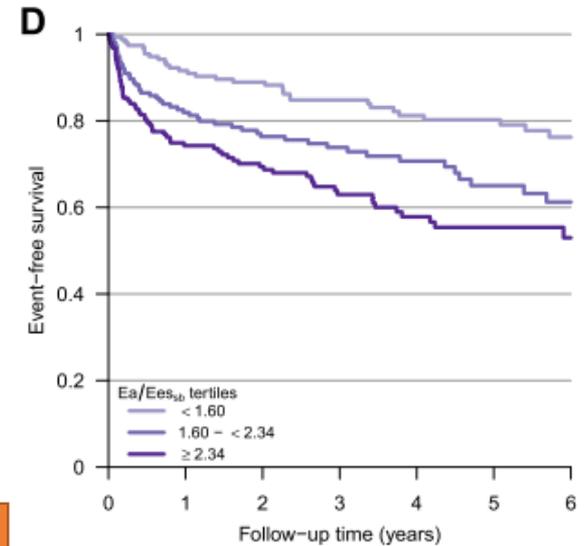


自律神経はQloadをoptimalに保ちながら血行動態を制御している。

心室のエネルギー効率： Ea/Ees



Kubota T et al, *Circ Res*1992



Ky B et al, *JACC* 2013

Ea/Ees is an index of ventricular energetic efficiency.

心室血管カップリング

RV-PA coupling

Ea/Eesはenergetic efficiencyの指標！

TAPSE/PASPは？

TAPSEは収縮性の指標（負荷依存性あり）

PASPは後負荷の指標？

少なくともcoupling指標としてはPASP/TAPSE

何を見ている指標なのかわかりにくい。

まとめ

- 圧と容積の関係から歴史的に様々な指標が提唱されており、右室にも応用できる可能性がある。
(PRSW、Ees、 dP/dt_{max} /Vedなど)
- 右室機能評価法は様々であるが、その元にあるコンセプトを理解することは、臨床指標の理解に有用である。
- 右室機能の評価は一つの指標ではなく、様々な指標を総合的に考慮し判断する必要がある。

ご清聴ありがとうございました。

連絡先

tsaka@junnai.org

