

心不全・心機能アカデミーコラボ企画

患者を救う！ 臨床ツールとしてのPV loop

大西 勝也（心不全・心機能アカデミー） / 朔 啓太（循環動態アカデミー）

PV loopを基礎的に勉強しても今一つ臨床につながらないという指摘がある。多くは本質的理
解の不十分さからくる批判である一方、PV loopを実測することはたしかに高いハードルが存
在する。本セッションでは、PV loopを想像する、測定することの重要性を症例や実験を基に
議論していきたい。

大西先生の解説ス ライド付き！！！！

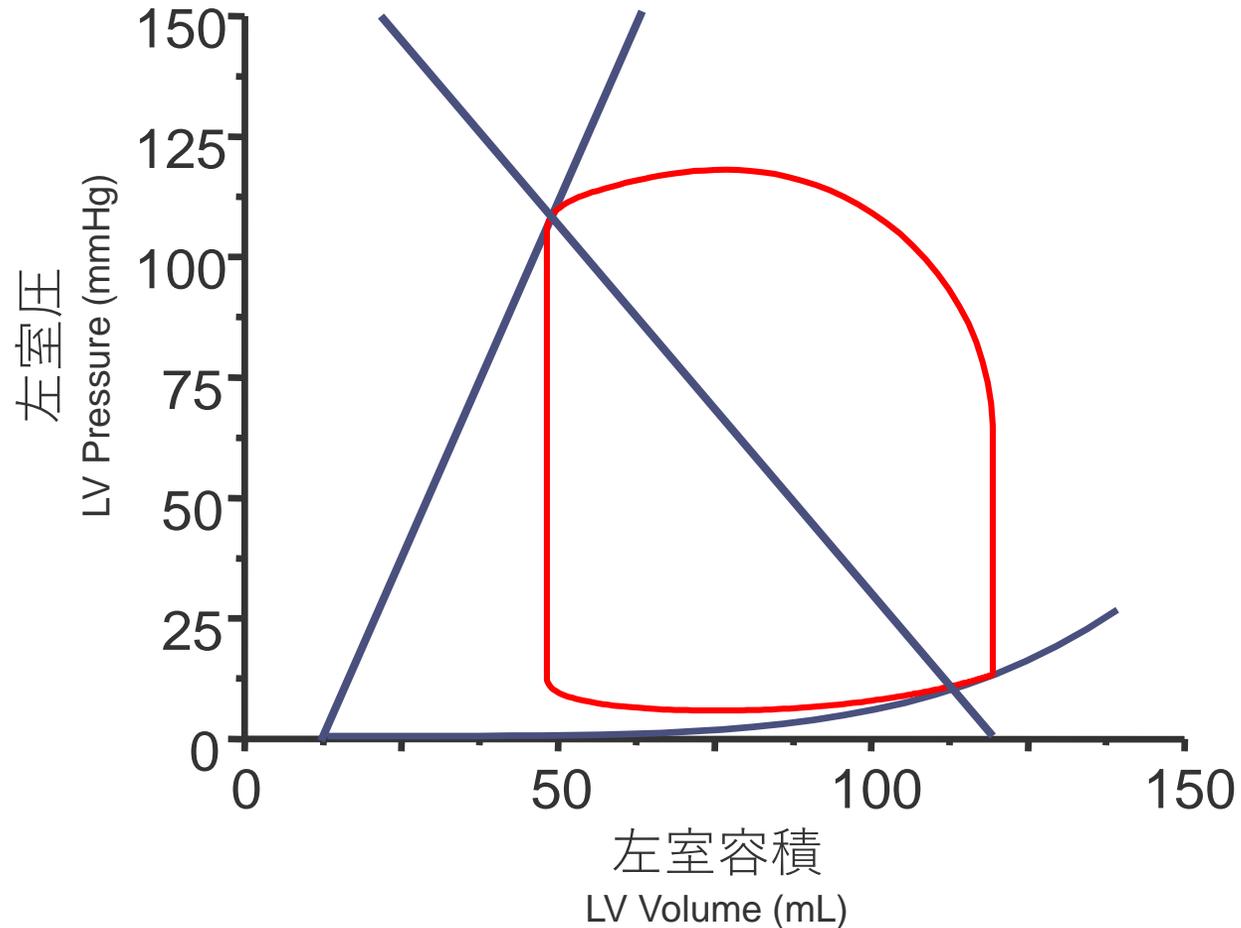
朔先生との討論会で話した内容で重要なところを言葉にします！

大西内科ハートクリニック
大西 勝也

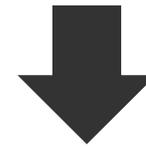
Katsuya Onishi, MD, FACC, FESC FJCS



PV loopを見る意義



- 心臓の収縮性と拡張性
- 心臓の前負荷と後負荷
- 心臓の仕事量



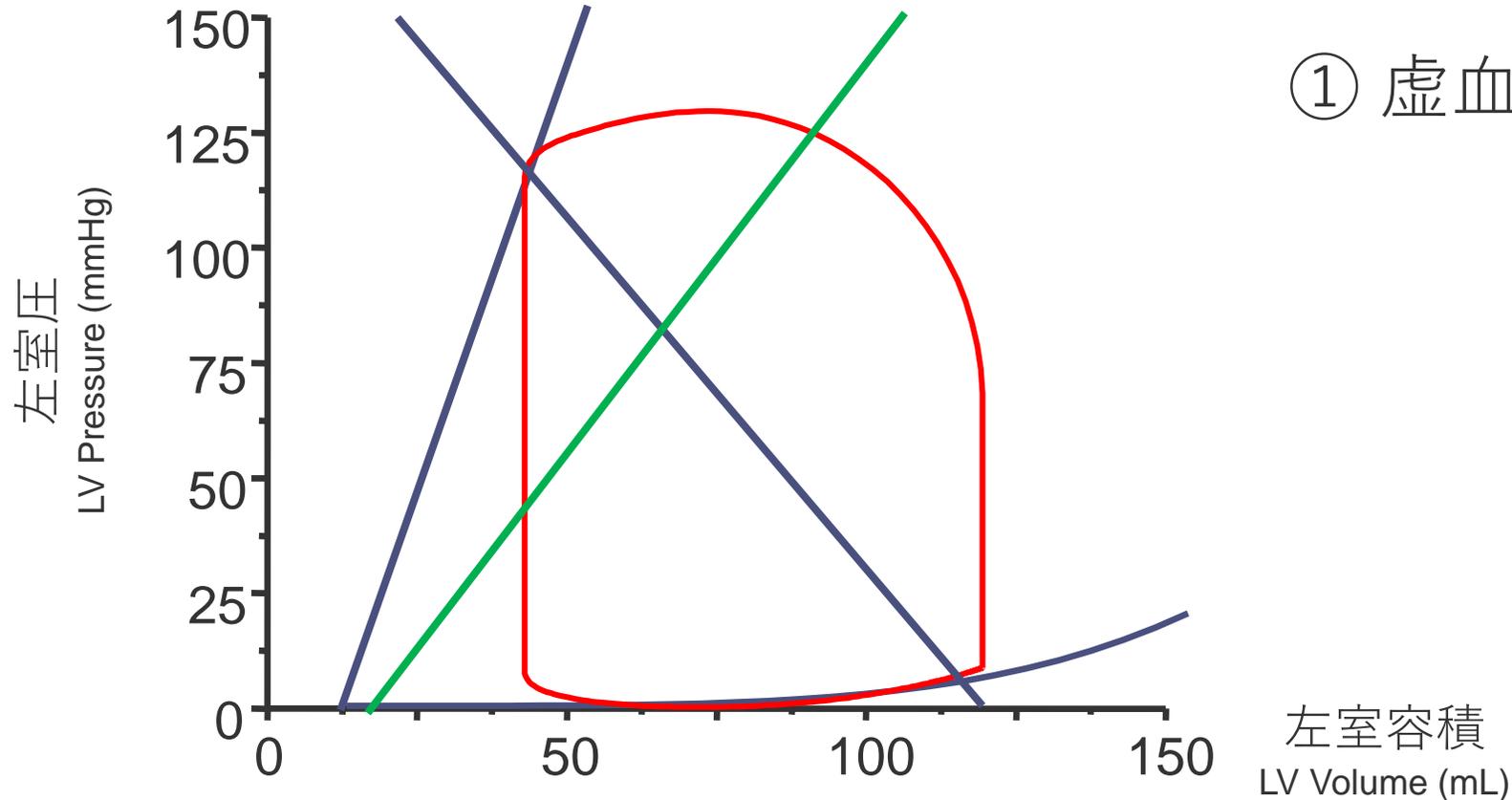
- 心機能を抽出する
- 心臓の仕事を把握する
- 循環を把握する

心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているでしょう？

心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

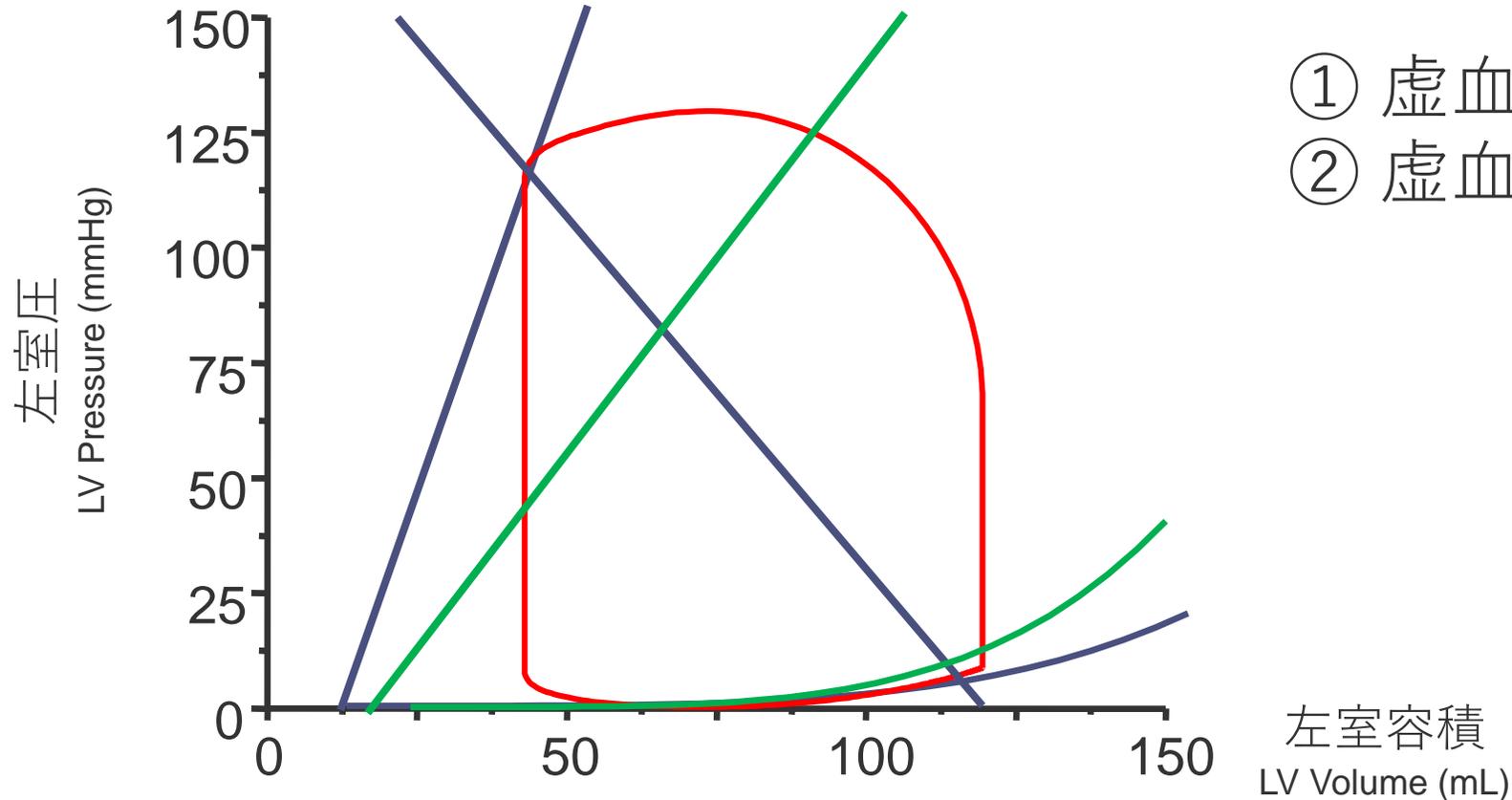
- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているのでしょうか？



① 虚血 → E_{es} の低下

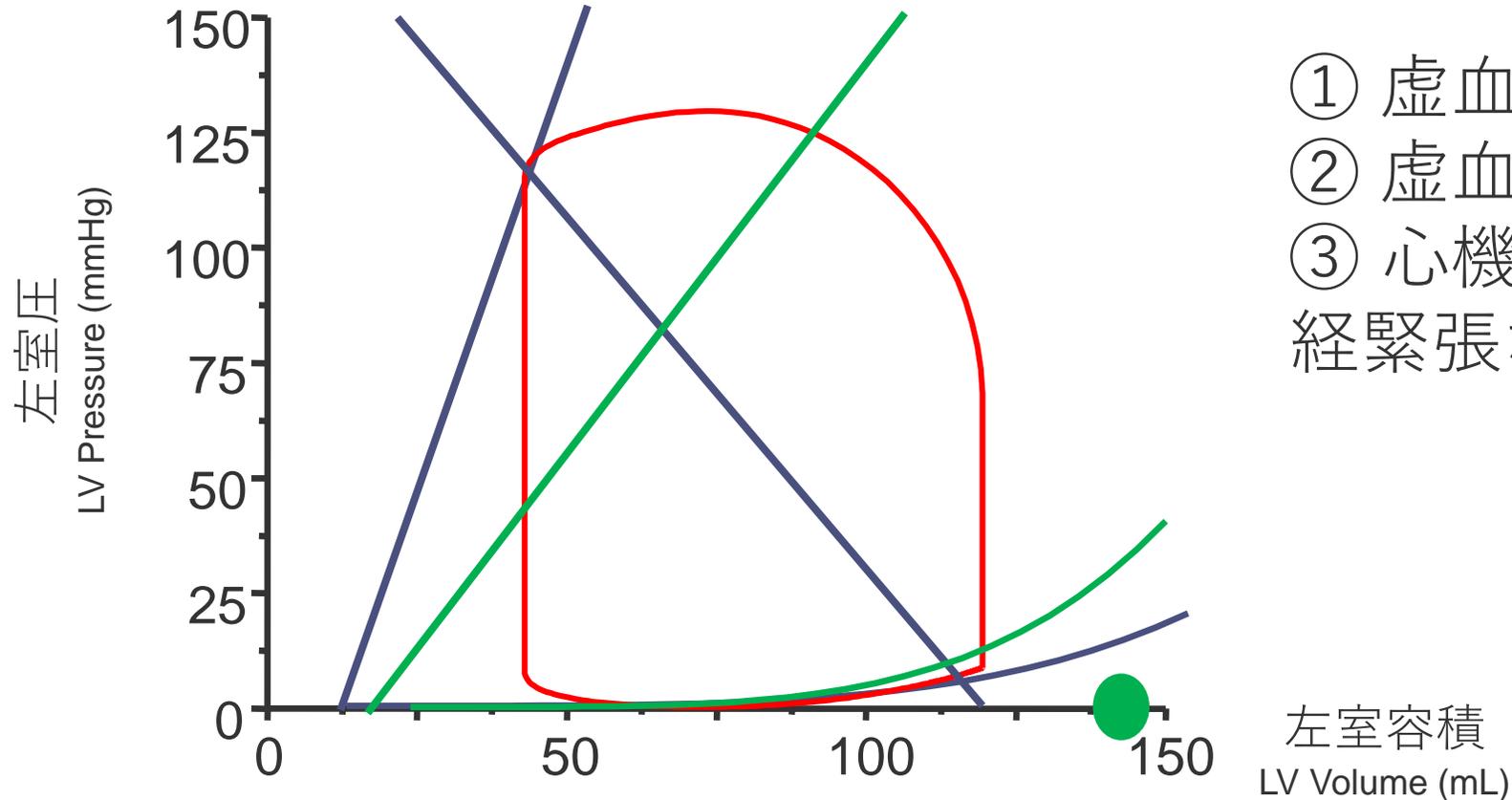
心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているのでしょうか？



心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

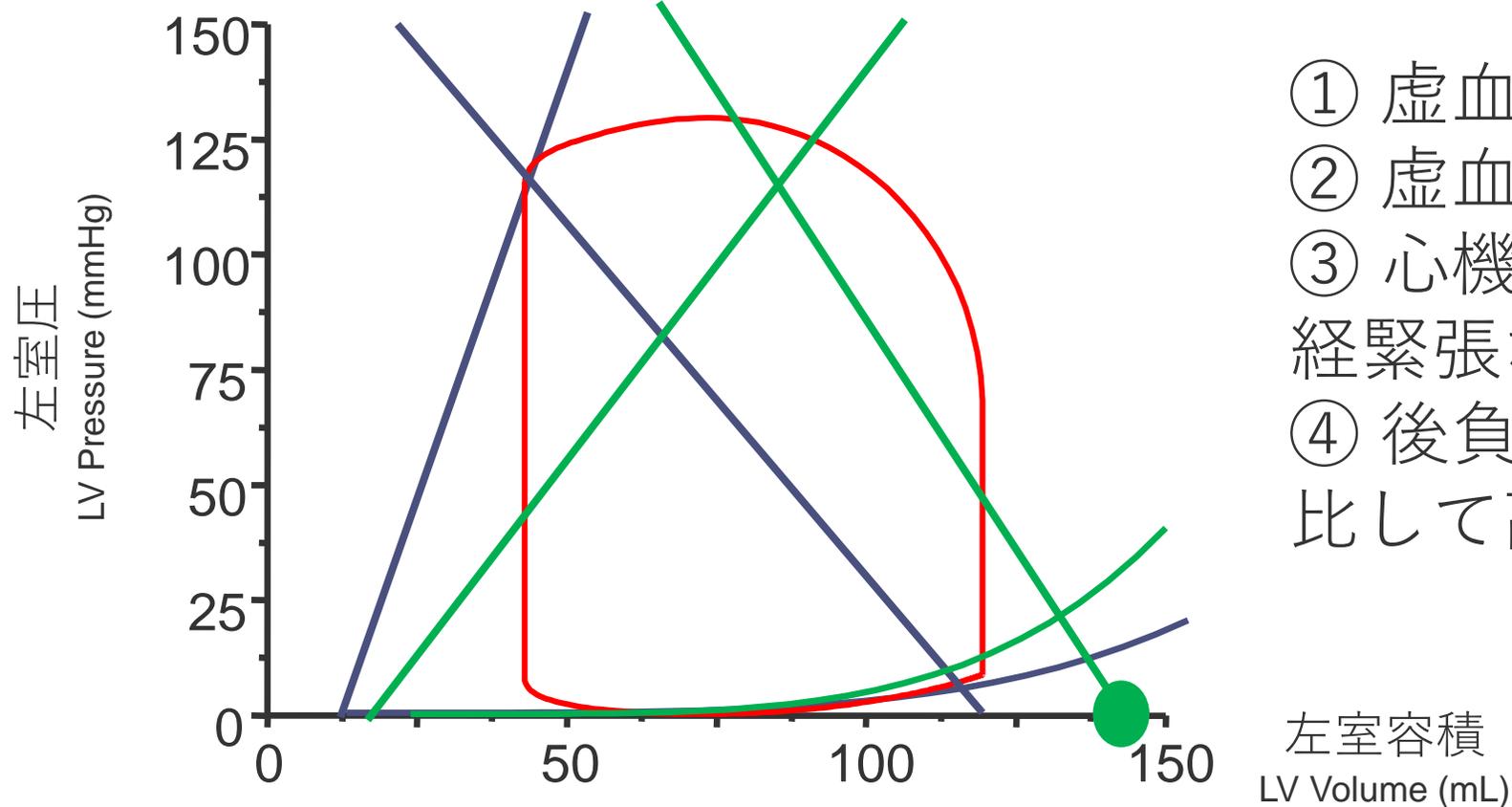
- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているのでしょうか？



- ① 虚血→ E_{es} の低下
- ② 虚血→拡張障害
- ③ 心機能曲線の低下や交感神経緊張などで前負荷が増える

心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

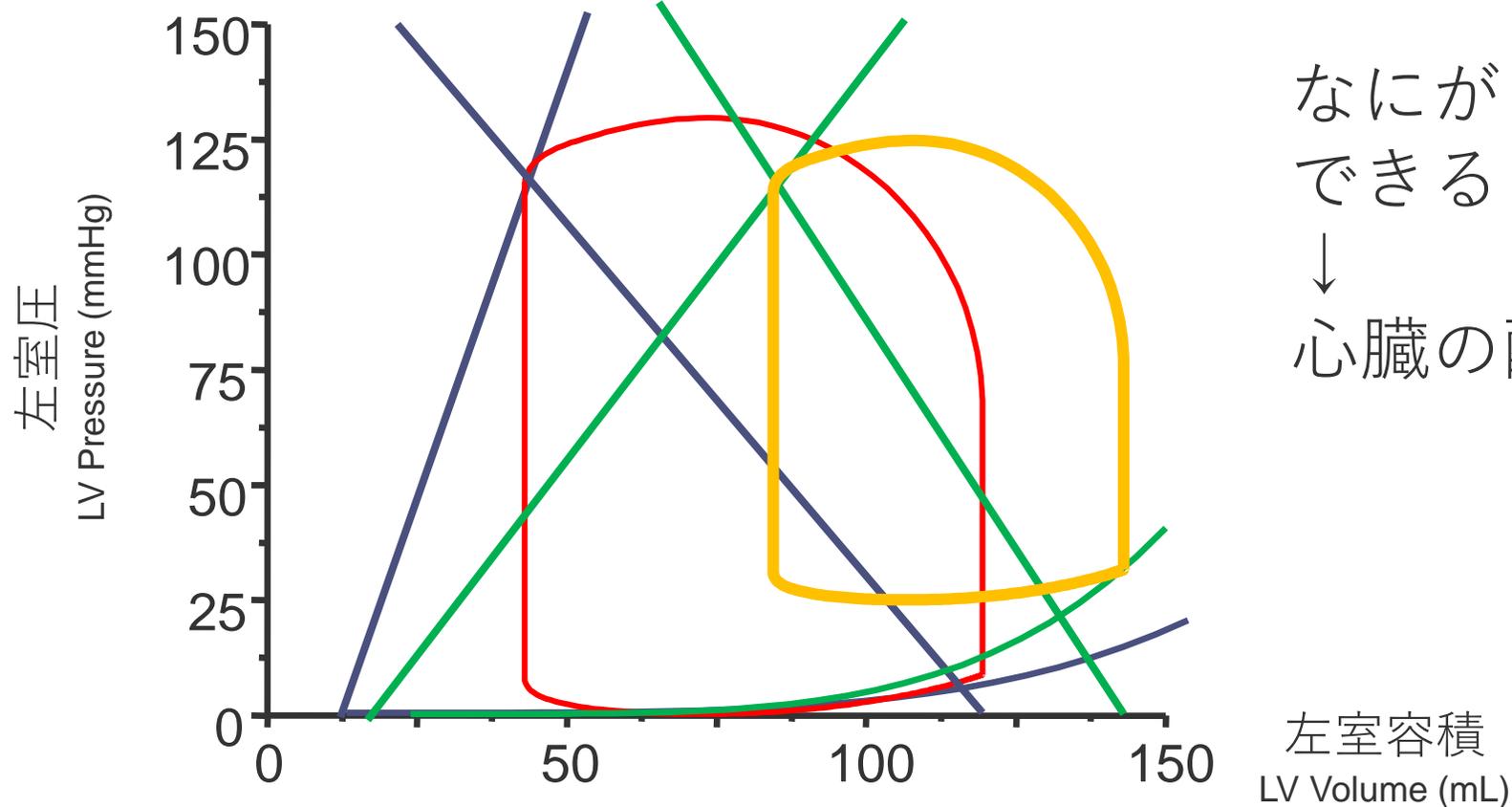
- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているのでしょうか？



- ① 虚血→ E_{es} の低下
- ② 虚血→拡張障害
- ③ 心機能曲線の低下や交感神経緊張などで前負荷が増える
- ④ 後負荷増加もしくは E_{es} に比して高い状態

心筋梗塞でなぜ肺うっ血になるのか？

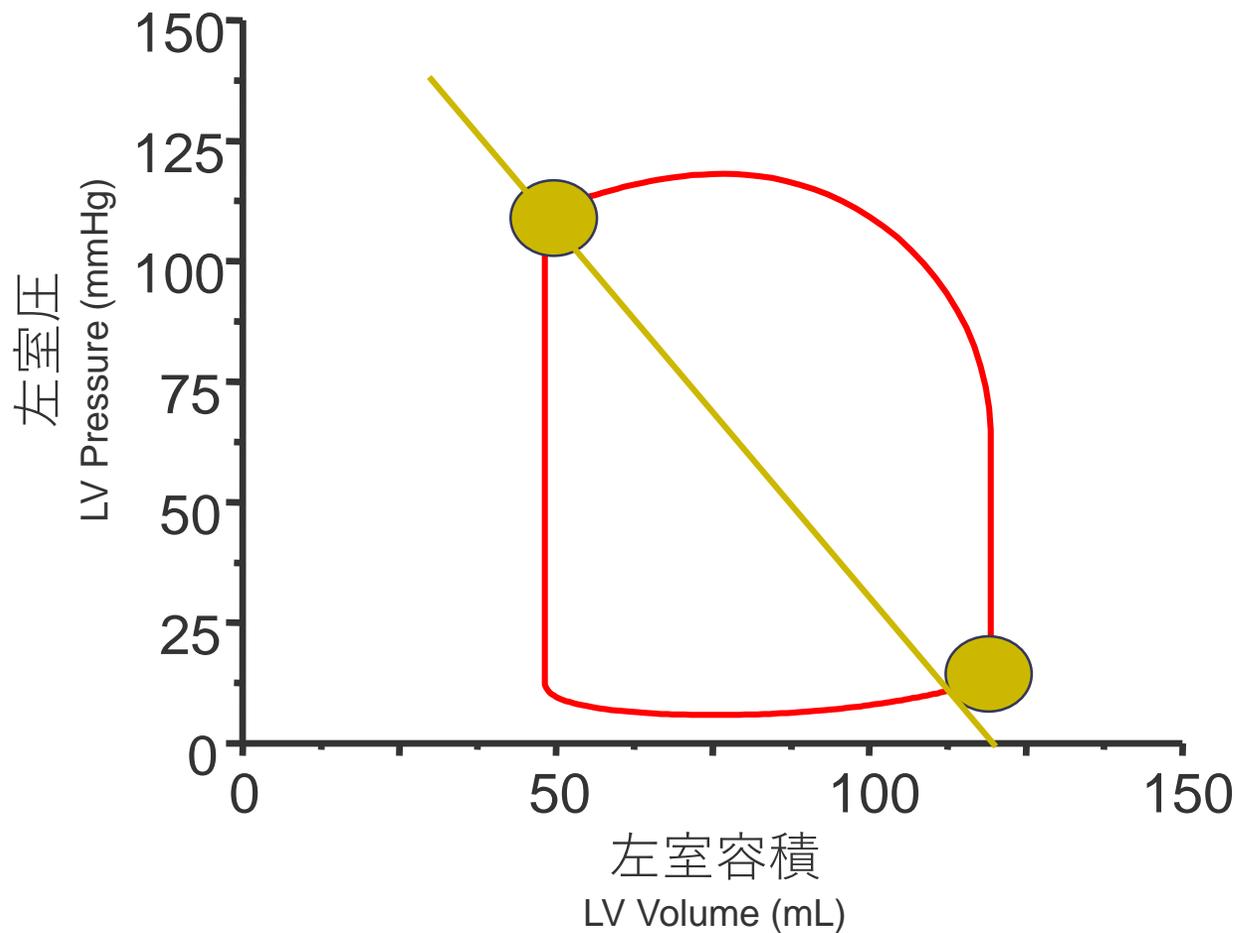
- 心筋梗塞後に若干の心拡大を伴って、肺うっ血を来しています。どのような心臓の変化がおきているのでしょうか？



なにがどう悪いのかを把握
できる！

↓
心臓の酸素消費を知る

PV loopを描く：Loopを想像する



左肩の点

X: ESV → エコー

Y: P_{es} → 平均血圧

右下の点

X: EDV → エコー

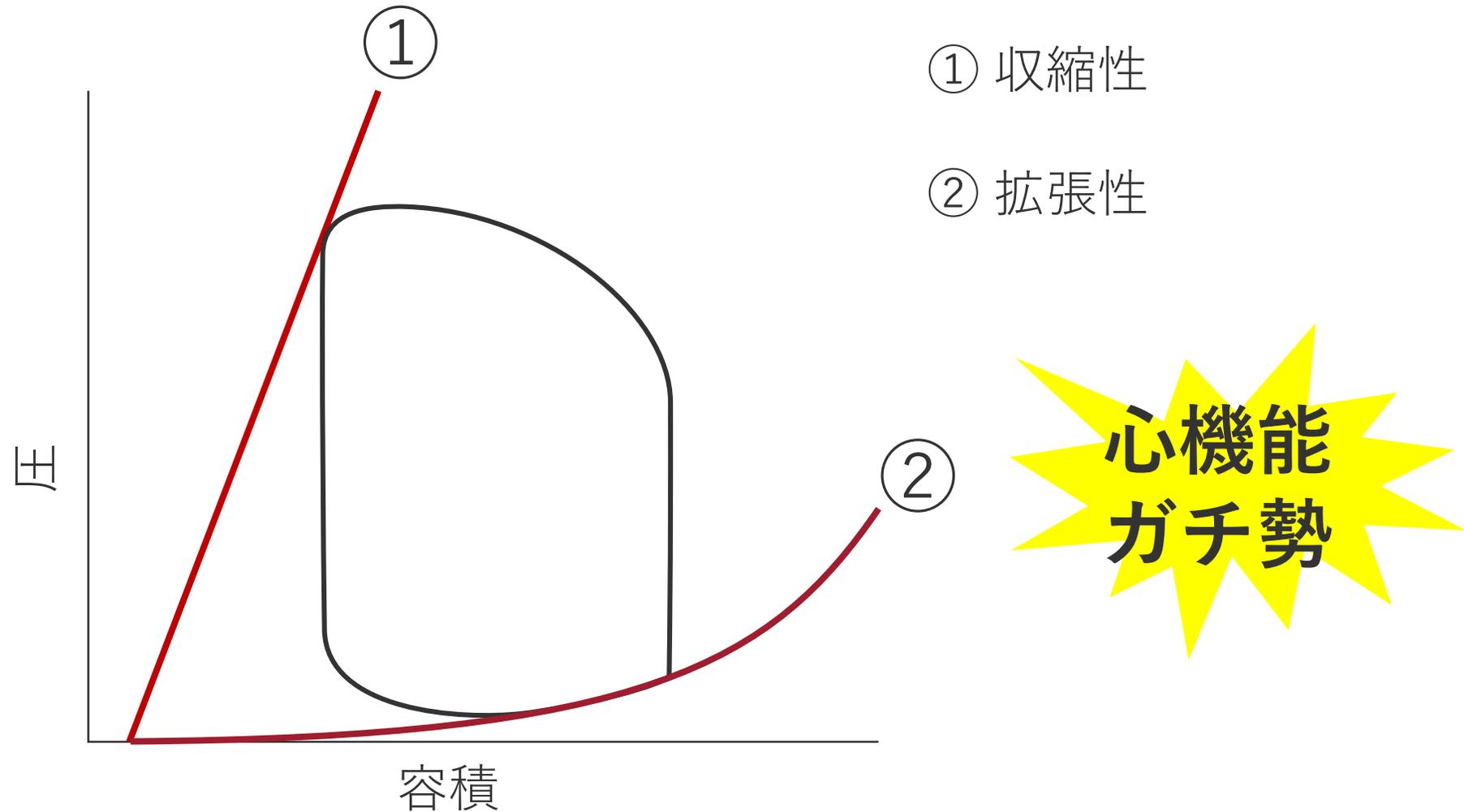
Y: EDP → カテ圧

(エコーのTMF/レントゲン)



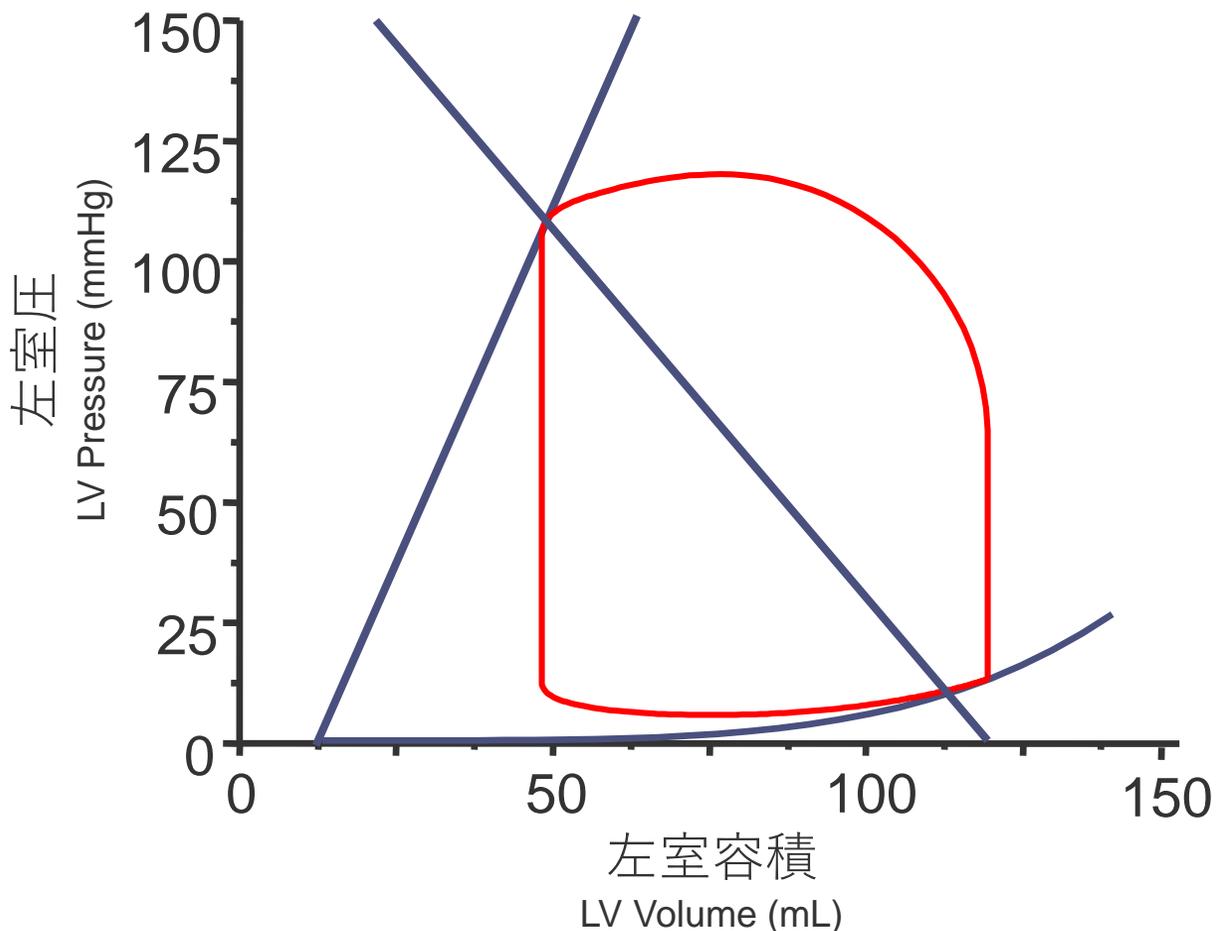
- ざっくりとPV loopを想像することは可能
- 前負荷と後負荷は把握可能

PV loopを描く：心機能ガチ勢は難しい！



百歩譲って、 E_{es} はある程度？

$$LVEF = E_{es} / (E_{es} + E_a)$$



① エコ-EF

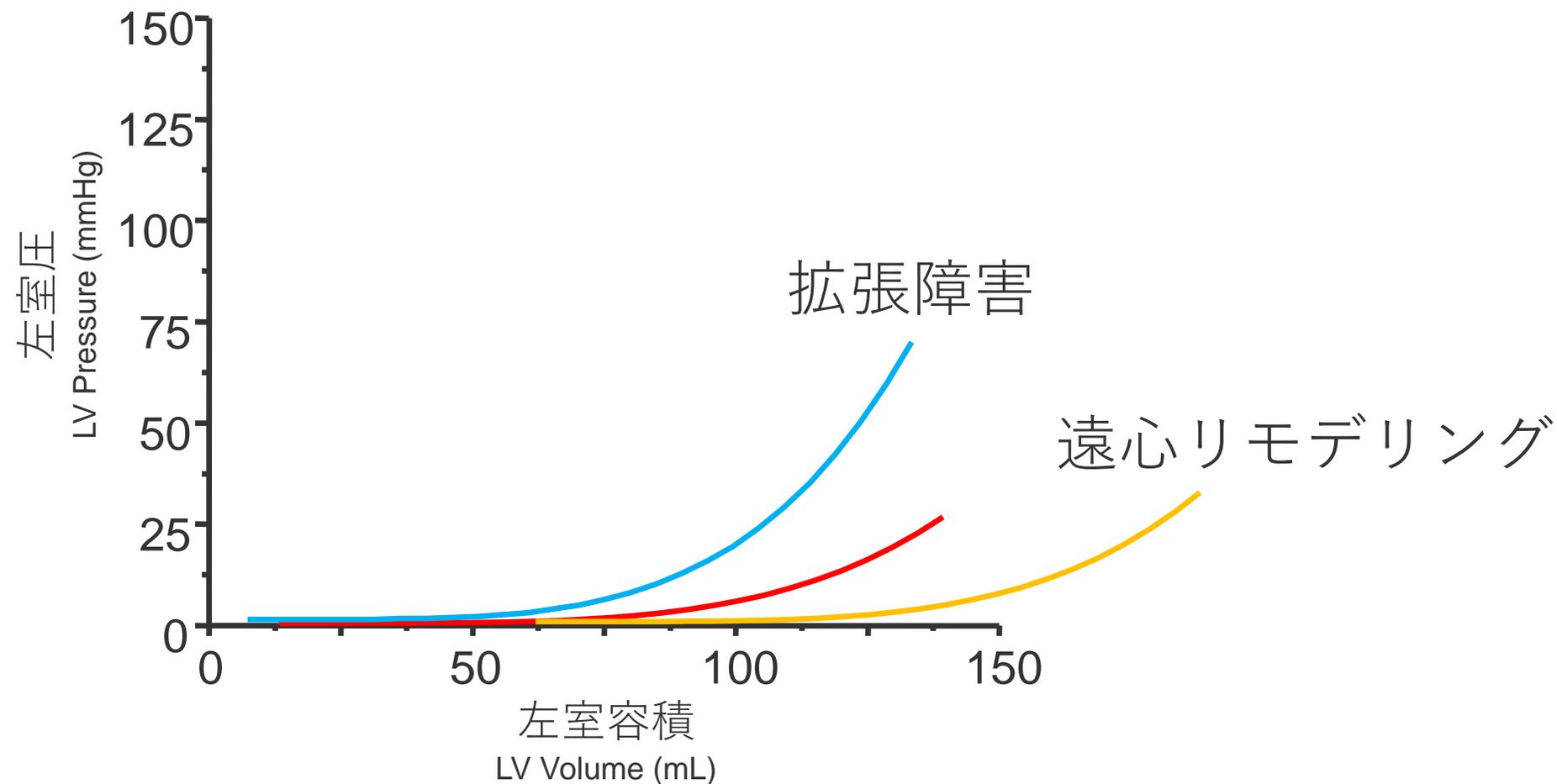
$$\begin{aligned} \text{Echo EF} &= \frac{SV}{EDV} \\ &= \frac{E_{es} \cdot (EDV - V_0)}{E_{es} + E_a} \div EDV \\ &= EF - \frac{V_0}{EDV} \cdot EF \\ &= \left(1 - \frac{V_0}{EDV}\right) \times EF \end{aligned}$$

② P_{es}/ESV (みなし E_{es})

→ V_0 を無視すれば把握はできる

EDPVRは難しそう、、、

- 左室の拡張末期圧容量関係は非線形

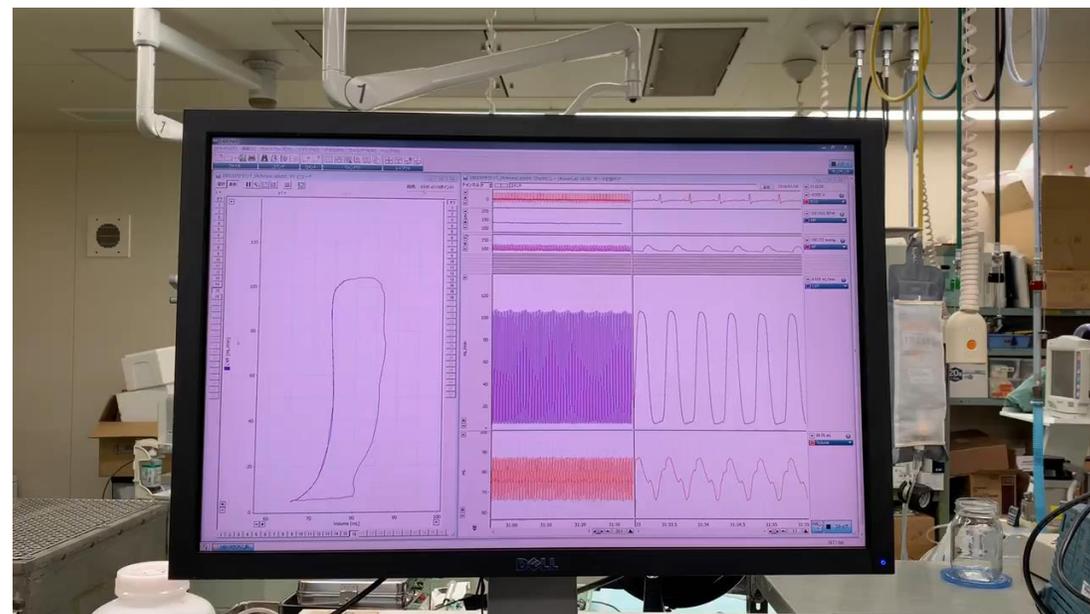
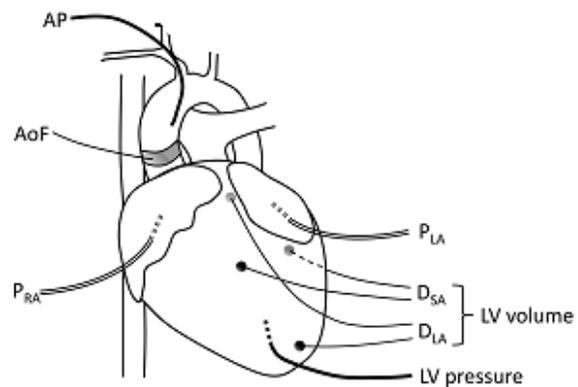
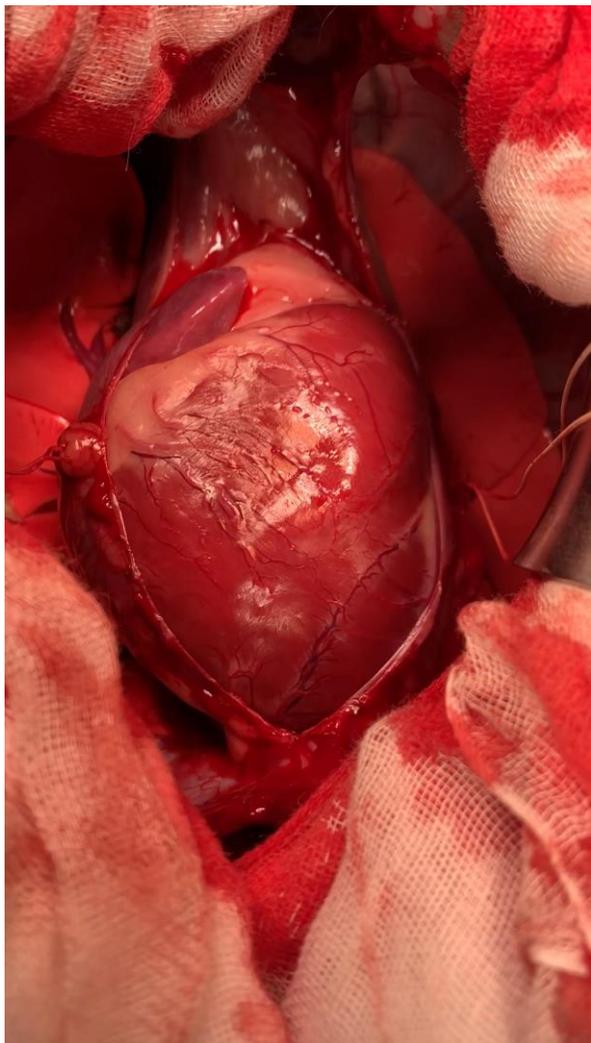


「揺さ振って」「見る」しかない！

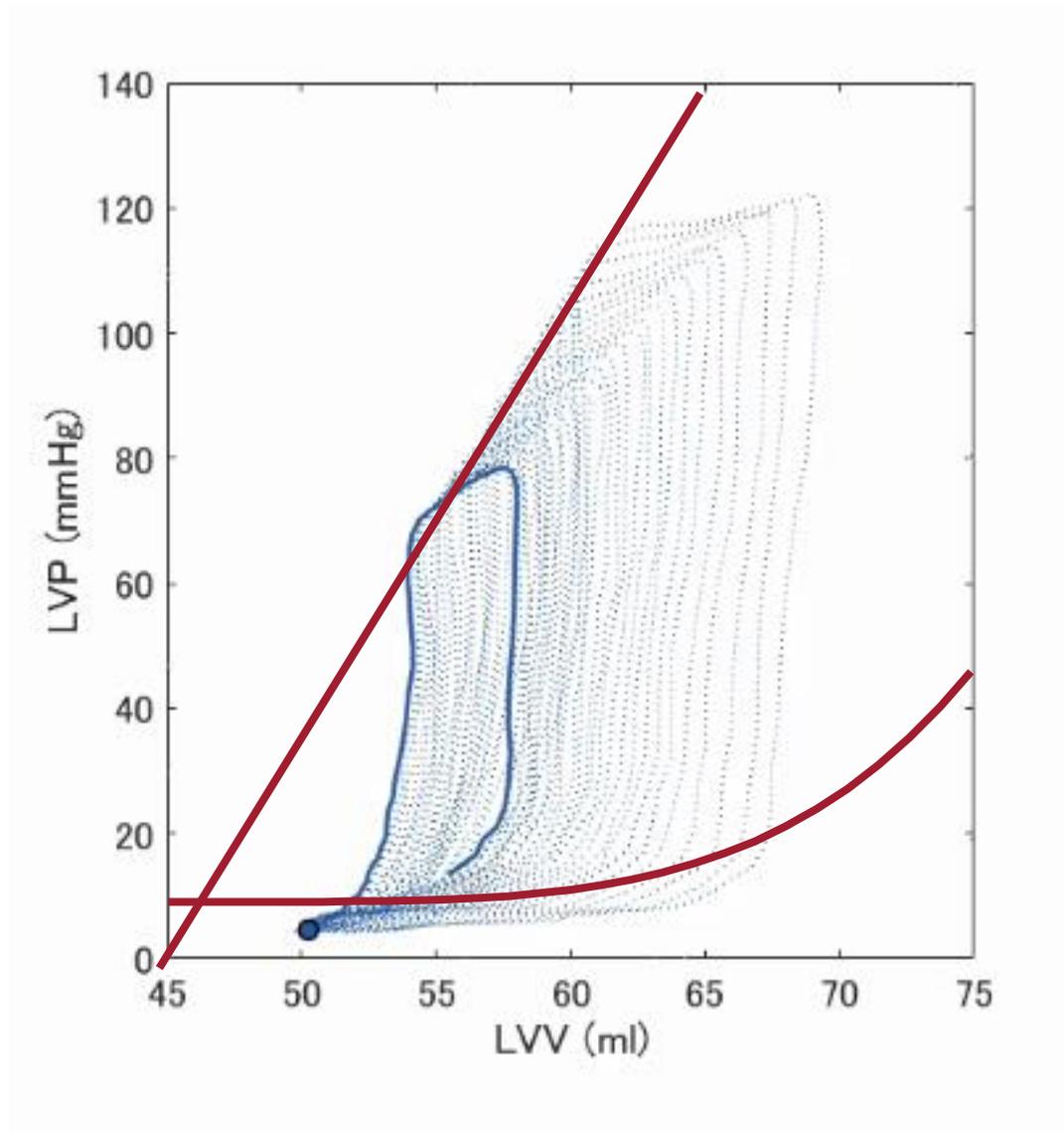
- ① 開胸する
- ② 心膜を剥がし、心臓を露出する
- ③ 超音波クリスタルを4つ心臓にうえる
- ④ 心室もしくは大動脈弁より高周波数カテーテルを挿入する
- ⑤ 心室圧と心室容量を同時に表示する
- ⑥ IVCに糸をかけて、少し引く



「揺さ振って」「見る」しかない！



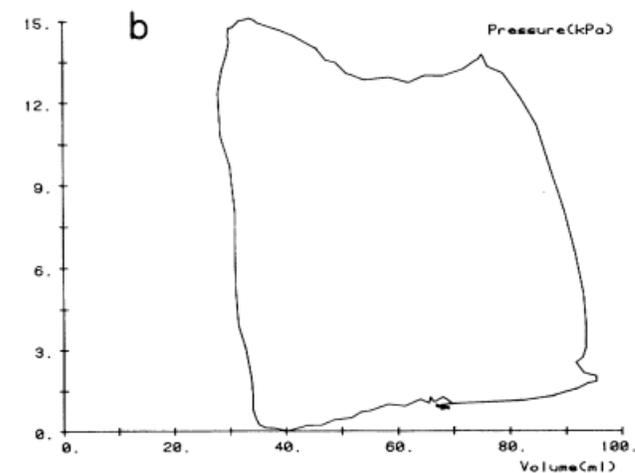
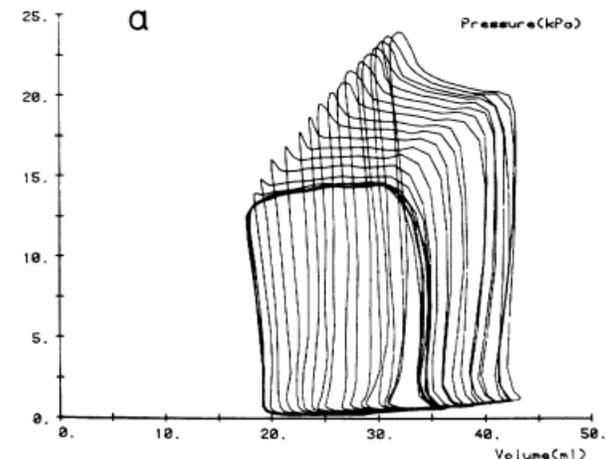
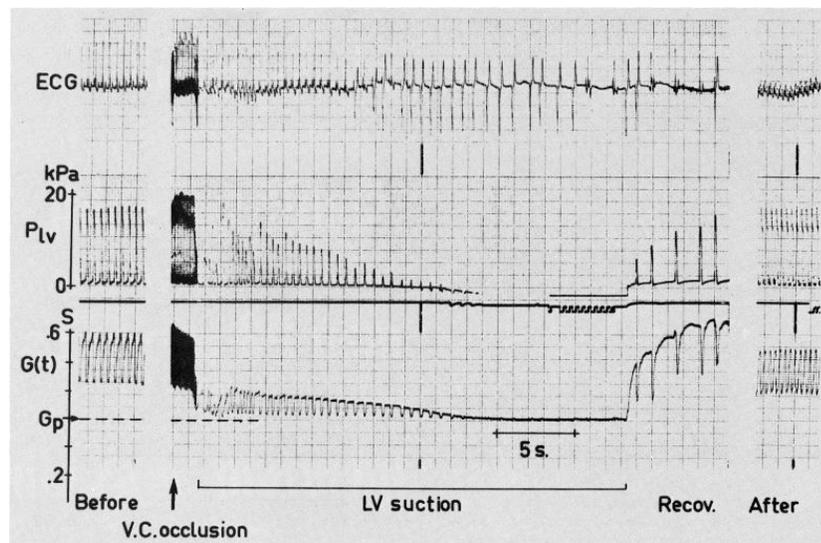
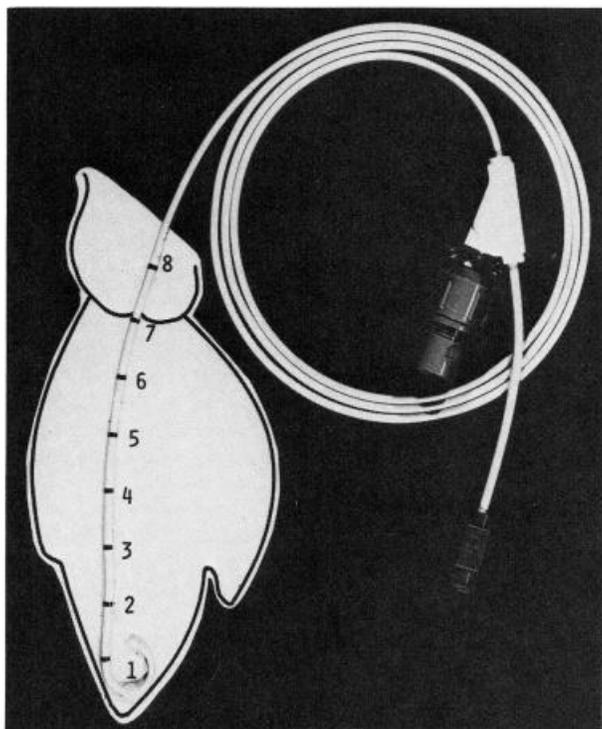
「揺さ振って」「見る」しかない！



臨床使用が可能なPV loopカテ

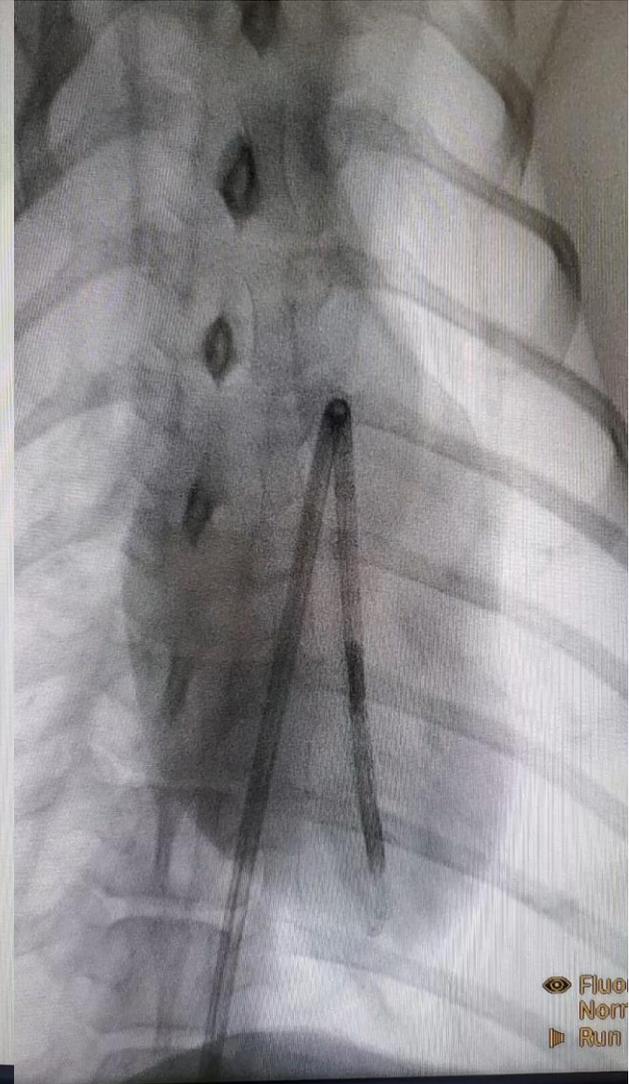
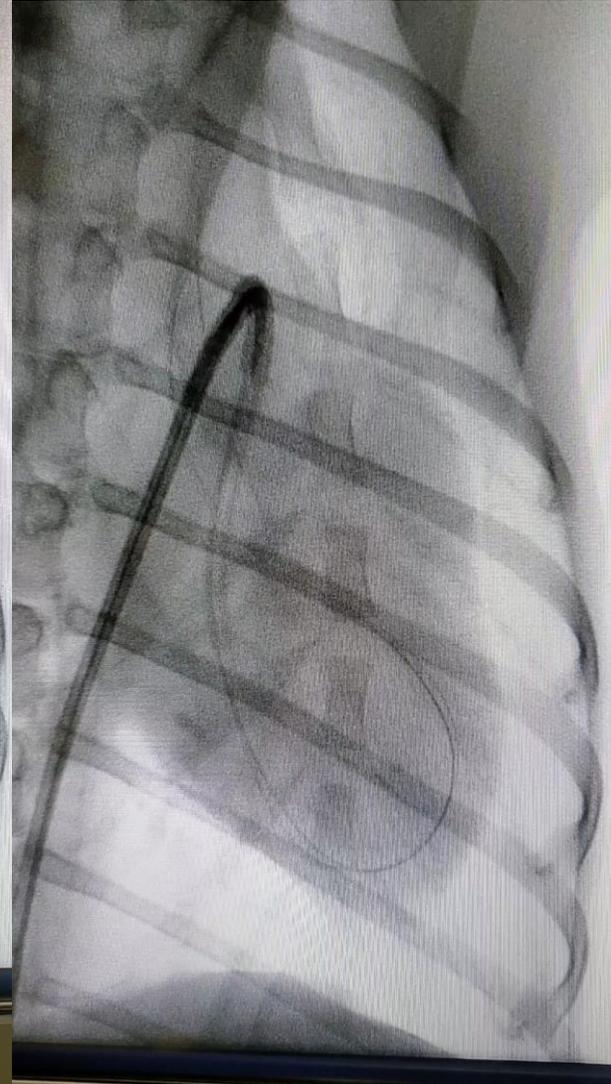
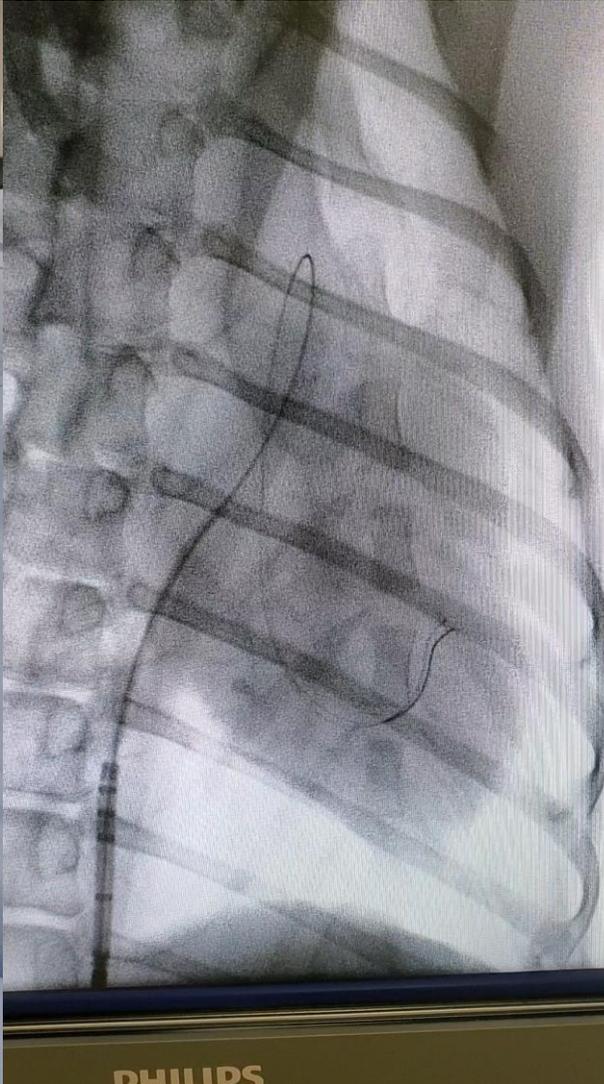
Continuous measurement of left ventricular volume in animals and humans by conductance catheter

JAN BAAN, PH.D., ENNO T. VAN DER VELDE, M.S., HEIN G. DE BRUIN, M.D., PH.D.,
GERRIE J. SMEENK, B.S., JAN KOOPS, ARJAN D. VAN DIJK, M.S.,
DIRK TEMMERMAN, M.D., JEFF SENDEN, M.D., AND BEERT BUIS, M.D.



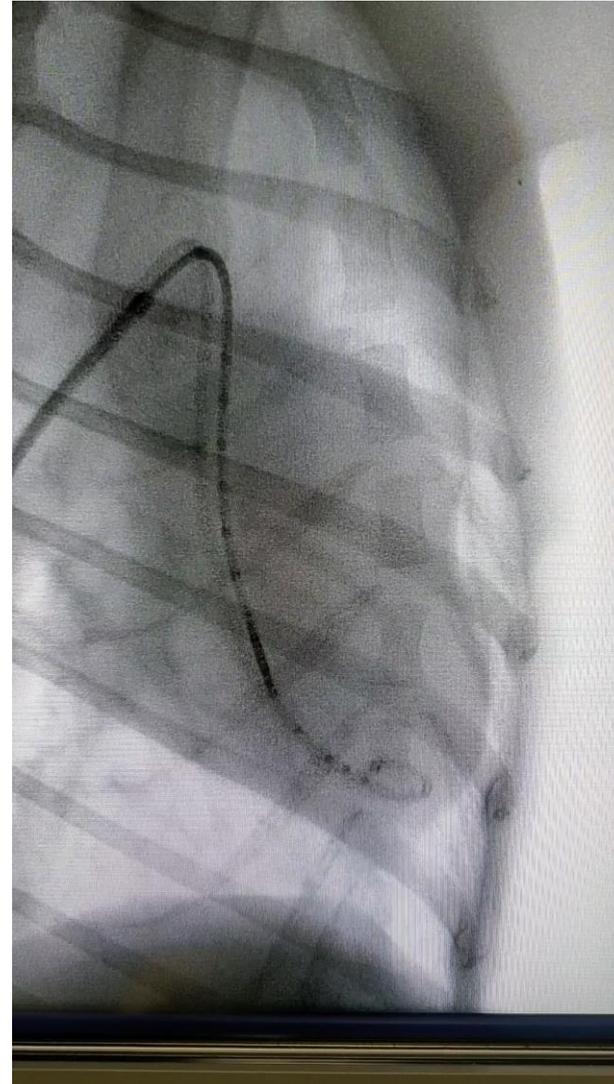
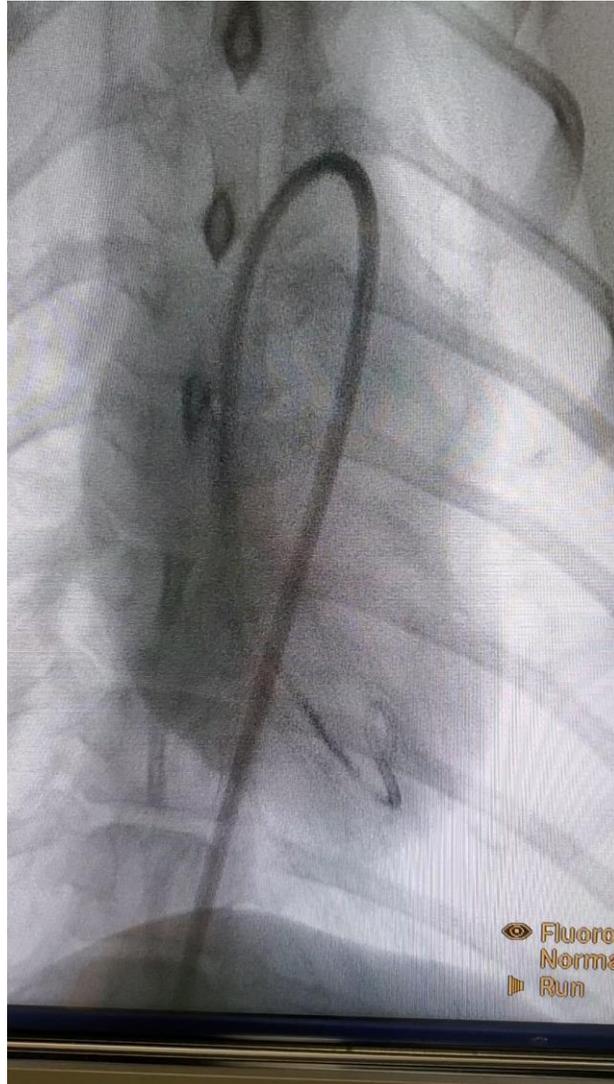
7Frシグマ5の挿入

※相手がビーグル犬なので、明らかにサイズオーバー



4Frシグマ5の挿入

※相手がビーグル犬なので、明らかにサイズオーバー



Dr. 大西



三重大学附属病院
→臨床PV loopの伝統校

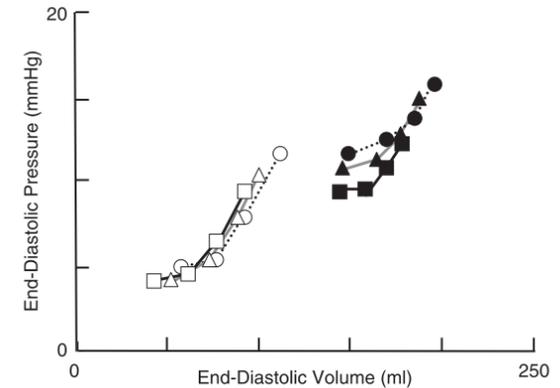
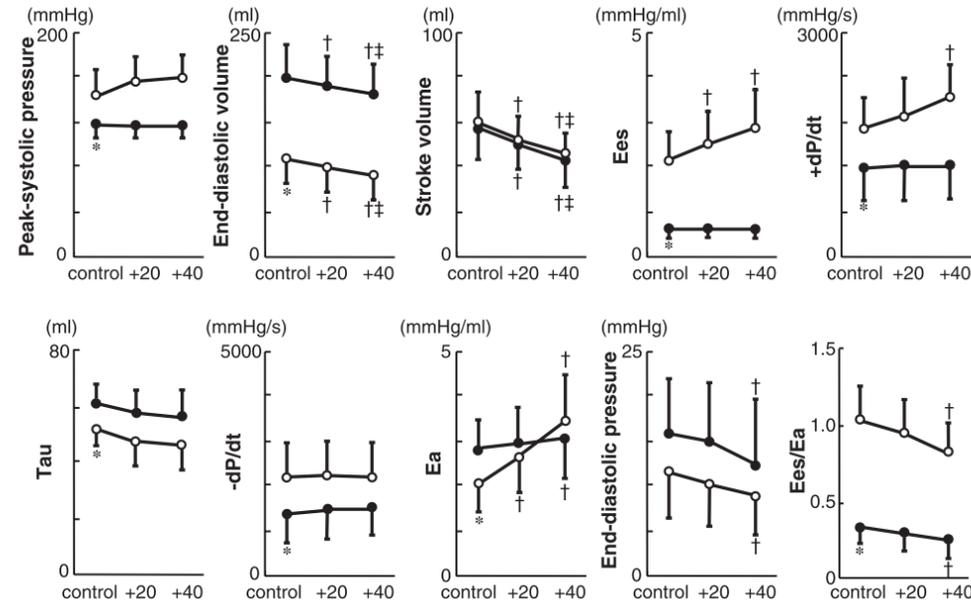
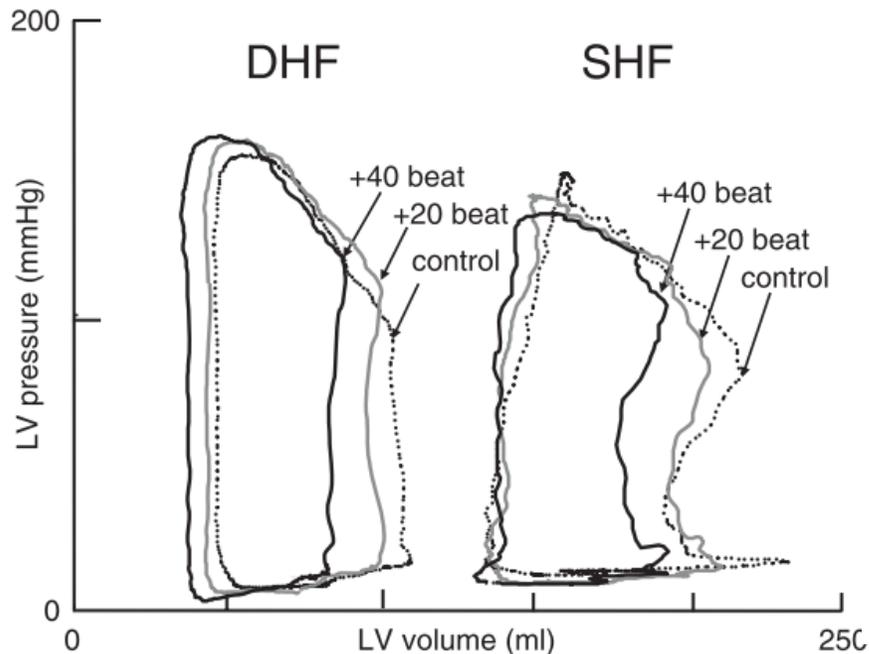
Wake Forest大学
→William Campbell Little先生の弟子

心不全・心機能アカデミー
→循環動態アカデミーとほぼ兄弟

コラン時代に最重要な論文

Force- and relaxation-frequency relations in patients with diastolic heart failure

Takashi Yamanaka, MD,^a Katsuya Onishi, MD, FACC,^b Masaki Tanabe, MD,^a Kaoru Dohi, MD,^a Kaoru Funabiki-Yamanaka, MD,^a Naoki Fujimoto, MD,^a Tairo Kurita, MD,^a Takashi Tanigawa, MD,^a Tetsuya Kitamura, MD,^a Masaaki Ito, MD,^a Tsutomu Nobori, MD,^b and Takeshi Nakano, MD^a *Tsu, Japan*



大西論文レビュー

1. [Altemans decay of postextrasystolic potentiation in human left ventricle.](#)

Tanabe M, Onishi K, Dohi K, Ito M, Nakano T, Suga H.
Jpn J Physiol. 2004 Feb;54(1):87-91. doi: 10.2170/jjphysiol.54.87.
PMID: 15040853

2. [Change in filling pattern with preload reduction reflects left ventricular relaxation.](#)

Tanabe M, Onishi K, Dohi K, Funabiki K, Koji T, Kitamura T, Ito M, Nobori T, Nakano T.
Int J Cardiol. 2005 Jan;98(1):67-72. doi: 10.1016/j.ijcard.2003.11.005.
PMID: 15676169

3. [Hemodynamic characteristics of patients with diastolic heart failure and hypertension.](#)

Fujimoto N, Onishi K, Dohi K, Tanabe M, Kurita T, Takamura T, Yamada N, Nobori T, Ito M.
Hypertens Res. 2008 Sep;31(9):1727-35. doi: 10.1291/hyres.31.1727.
PMID: 18971551 Clinical Trial.

4. [Effects of therapeutic doses of human atrial natriuretic peptide on load and myocardial performance in patients with congestive heart failure.](#)

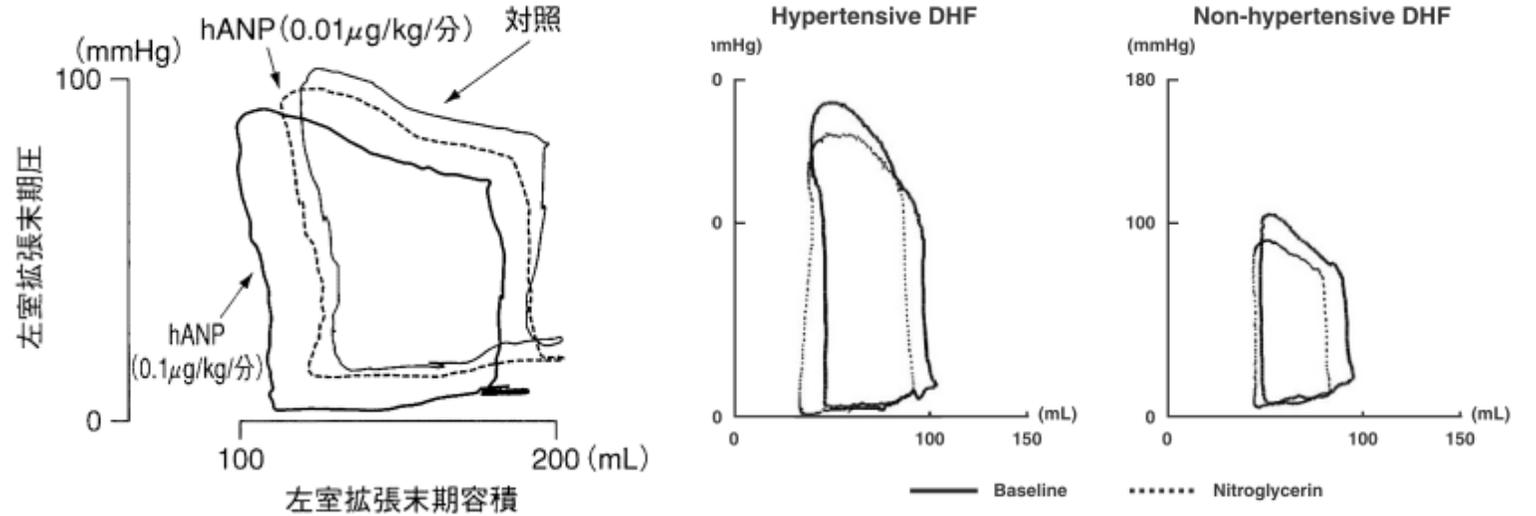
Mizuno O, Onishi K, Dohi K, Motoyasu M, Okinaka T, Ito M, Isaka N, Nakano T.
Am J Cardiol. 2001 Oct 15;88(8):863-6. doi: 10.1016/s0002-9149(01)01893-8.
PMID: 11676948

5. [Effects of human atrial natriuretic peptide on cardiac function and hemodynamics in patients with high plasma BNP levels.](#)

Nakajima K, Onishi K, Dohi K, Tanabe M, Kurita T, Yamanaka T, Ito M, Isaka N, Nobori T, Nakano T.
Int J Cardiol. 2005 Oct 10;104(3):332-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2004.12.020.
PMID: 16186065 Clinical Trial.

6. [Force- and relaxation-frequency relations in patients with diastolic heart failure.](#)

Yamanaka T, Onishi K, Tanabe M, Dohi K, Funabiki-Yamanaka K, Fujimoto N, Kurita T, Tanigawa T, Kitamura T, Ito M, Nobori T, Nakano T.
Am Heart J. 2006 Nov;152(5):966.e1-7. doi: 10.1016/j.ahj.2006.06.023.
PMID: 17070168



- PV loopをとっていながら、多くの論文は前負荷を変えていない (8Frフォガティでcaval occlusionしているもの論文もある)。
- Diastolic functionには着目しているが、EDPVRについては触れていない。

大西先生に聞きたいこと、、、



- 大西先生が考える臨床PV loopの意義
- 臨床PV loopの手技や難しさ
- PV loop測定のスウィートスポットとは？

朔先生との討論会で話した内容で重要なところを言葉にします！

大西内科ハートクリニック
大西 勝也

Katsuya Onishi, MD, FACC, FESC FJCS

「PV loopを臨床で取る必要があるか」 朔先生

「とる必要がある症例がある」 私

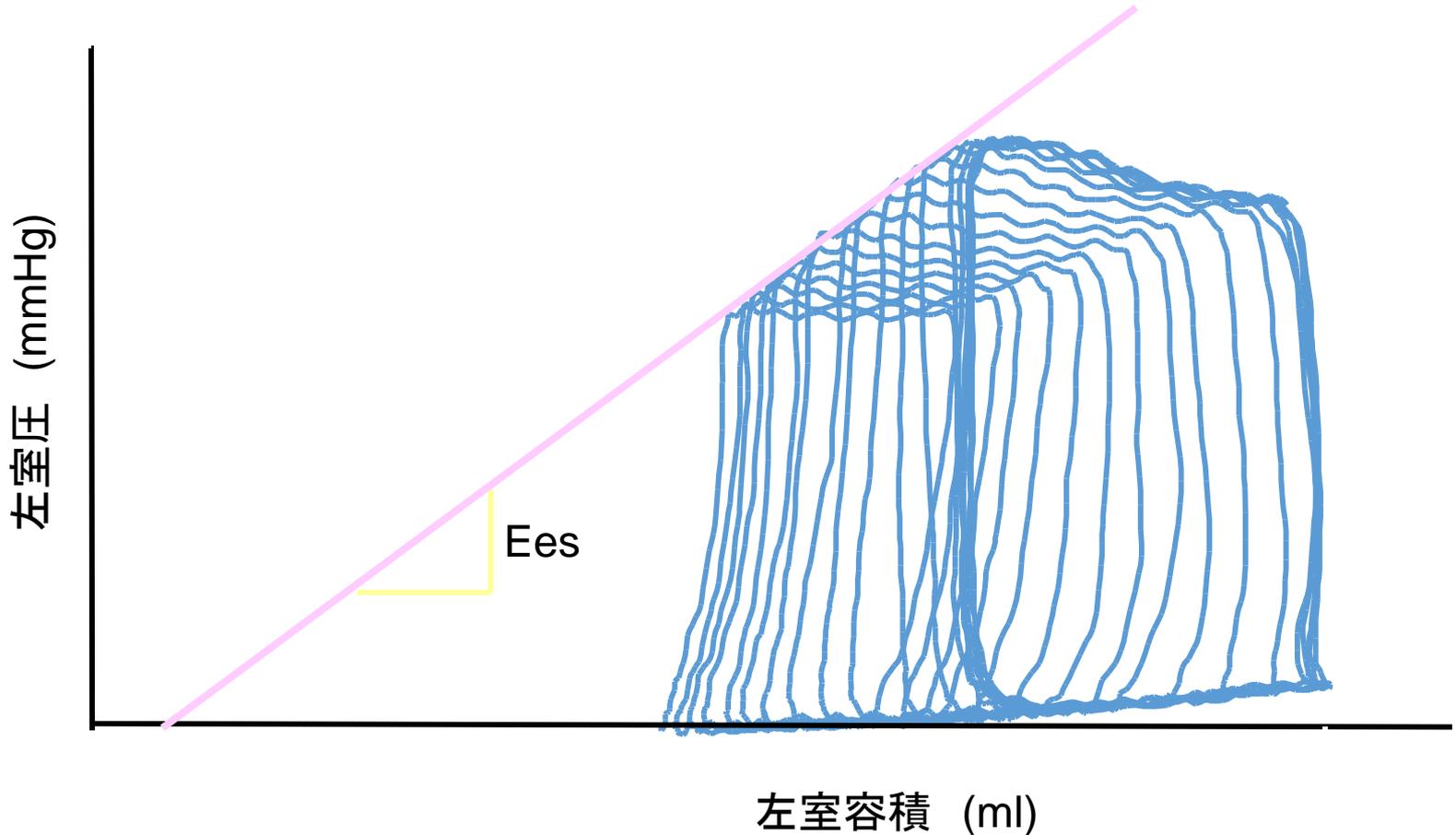


この流れから、VOの話に移行し、深海に話がどんどん向かっていきました

なぜ、そうなったか？

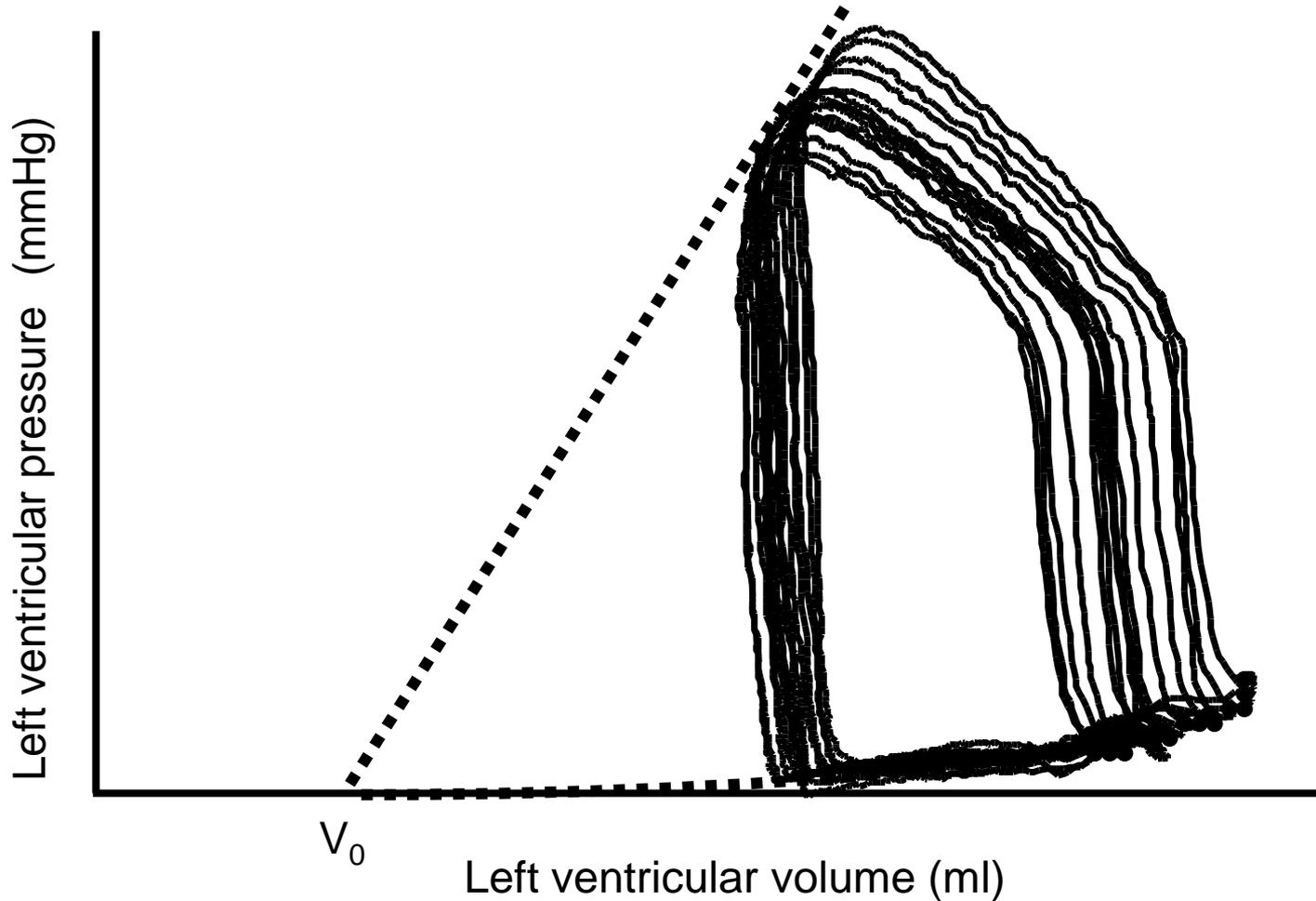
PV loopを臨床研究するときの統計学上の問題

下大静脈を閉塞して左室前負荷を減らした時のPV loopの変化
実際のコンダクタンスカテーテルを用いた人のデータ(心筋梗塞のない狭心症)
これだけ、綺麗に取れます。・・・ただし、健常者に近い方なら。

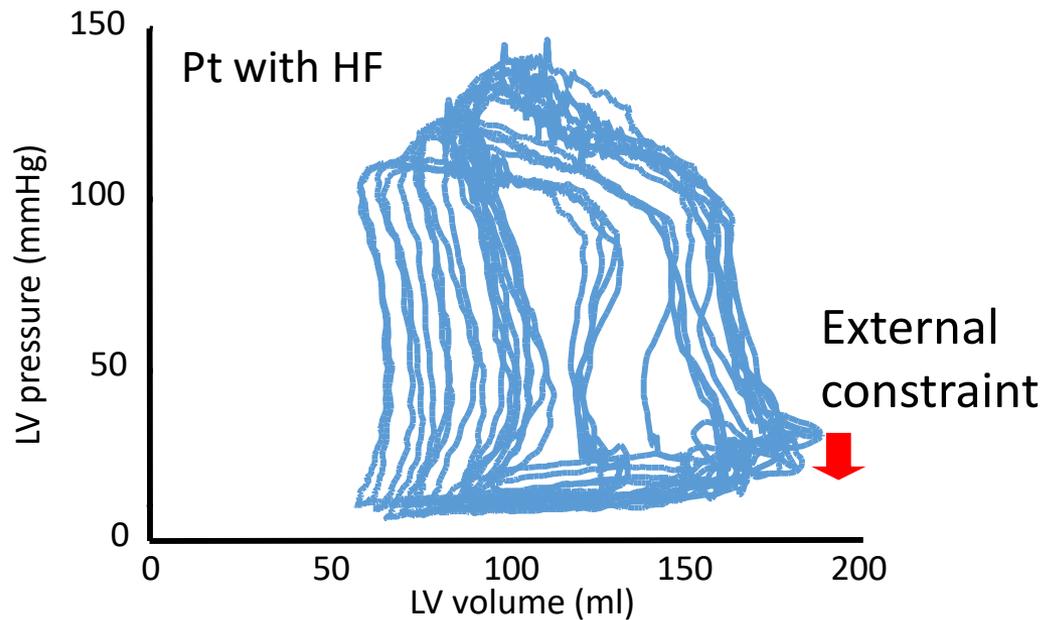


Ees: end-systolic elastance (左室収縮末期エラスタンス)

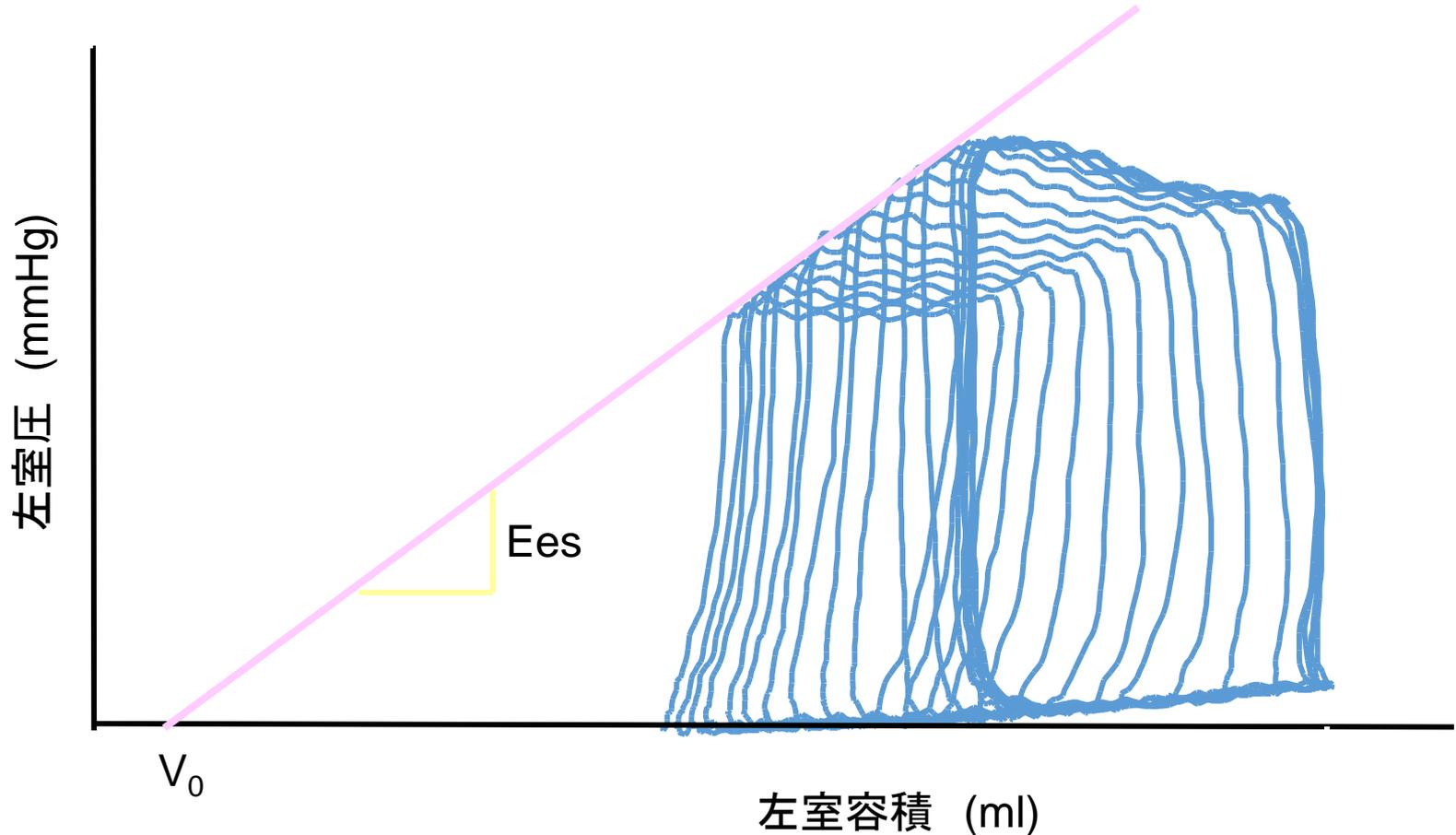
下大静脈を閉塞して左室前負荷を減らした時のPV loopの変化
実際のコンダクタンスカテーテルを用いた人のデータ(心筋梗塞後EF40%)
これだけ、綺麗に取れます。・・・チャンピオンデータ



下大静脈を閉塞して左室前負荷を減らした時のPV loopの変化
実際のコンダクタンスカテーテルを用いた人のデータ(DCMEF40%)
実際多いのはこんな感じです



Eesを求めるために各loopのend-systolic pressure-volume pointを結んで直線回帰し、それをintervention加えた他の直線と比較するとき、ごまかしている論文も散見しますが、 V_0 接点と傾きを比較する場合は、ANCOVAとANOVAを使って評価をしないといけないので、有意さがヒトのデータではNを増やさないとわめて困難となります。



Ees: end-systolic elastance (左室収縮末期エラスタンス)

ヒトでEesを求めるのが難しい理由

1. 右房に巨大バルーンをいれて引っ張り下大静脈の血流を止めるのだが、左室圧の低下が始まるのに個体差が大きい

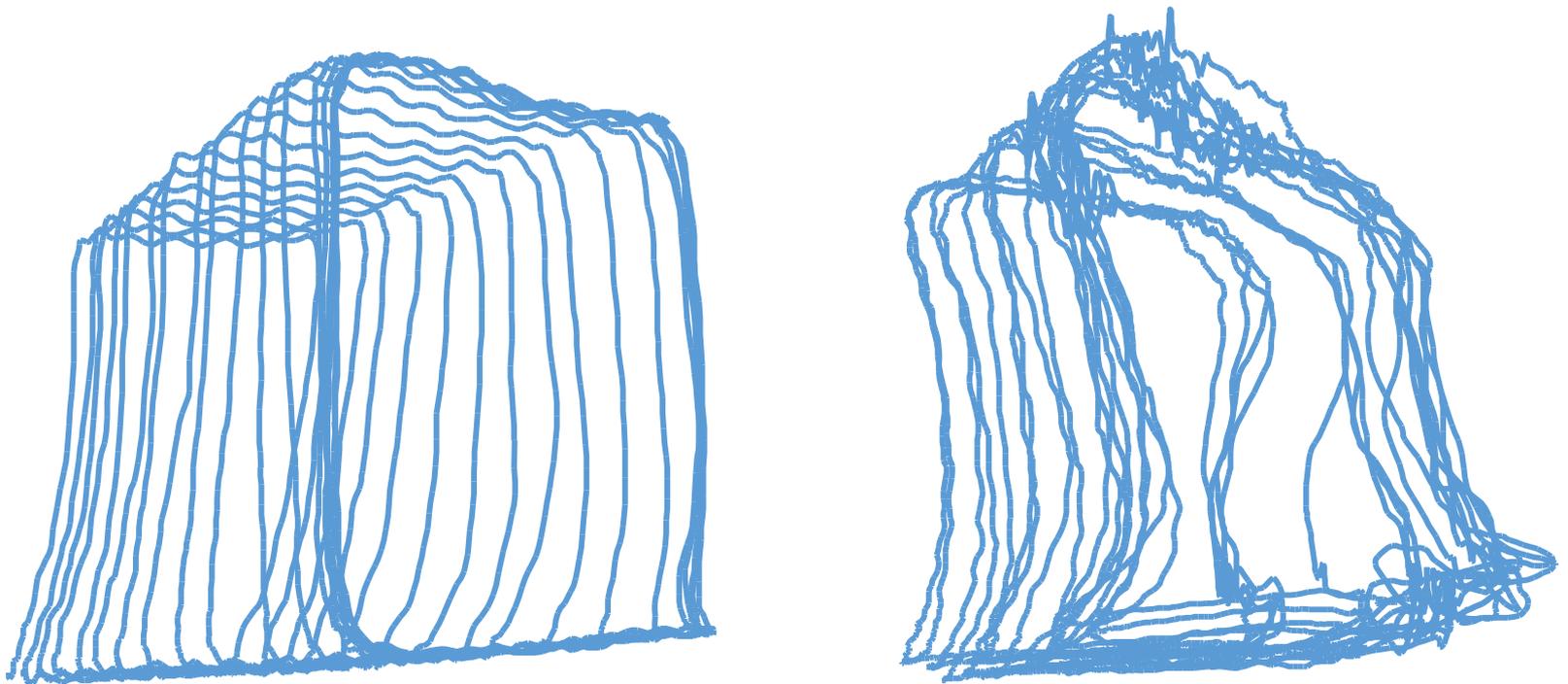
15秒以上あるいは収縮期血圧が30mmHg以上下がると、血行動態の変化を起こすと、交感神経が賦活化し心拍数が上昇し、末梢血管抵抗が上がる。

動物実感ではautonomic blockadeが使われているため問題はなく、綺麗に取れる。



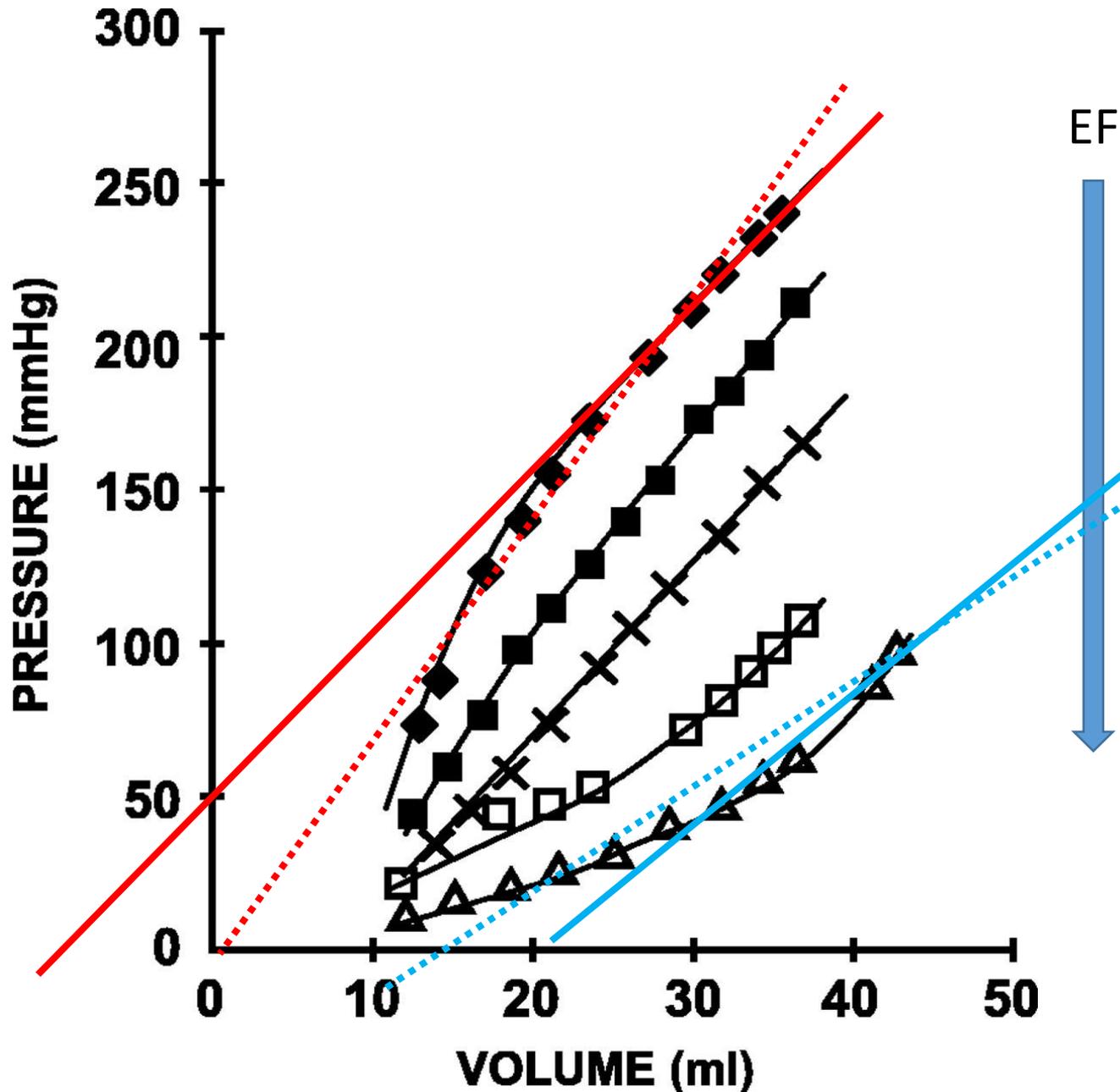
やっている人しか知らないノウハウ

1. End-systolic pressure-volume relationが
健常者では上に凸
心機能低下例では下に凸



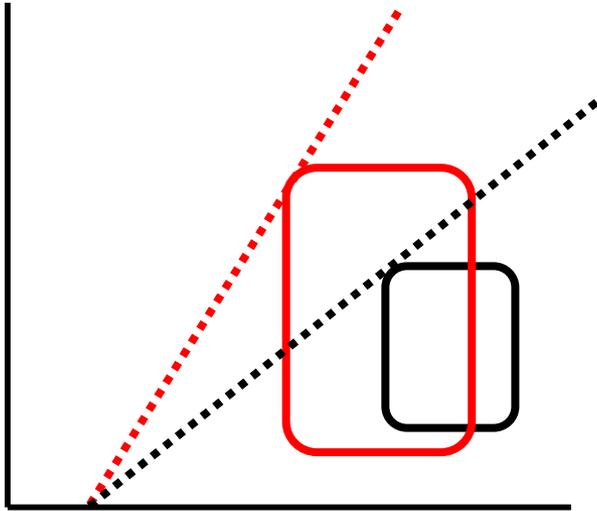
この症例でも左健常者は何となく上に凸
心機能低下例ではなんとなく下に凸
Pressureを20mmHgしか下げていないが、さらに下げると著明

理論上のような直線回帰しないので、点の選び方、血圧の下げ方により大きな差が出て、実線同士のように収縮力が変わらないと勘違いしてしまう。

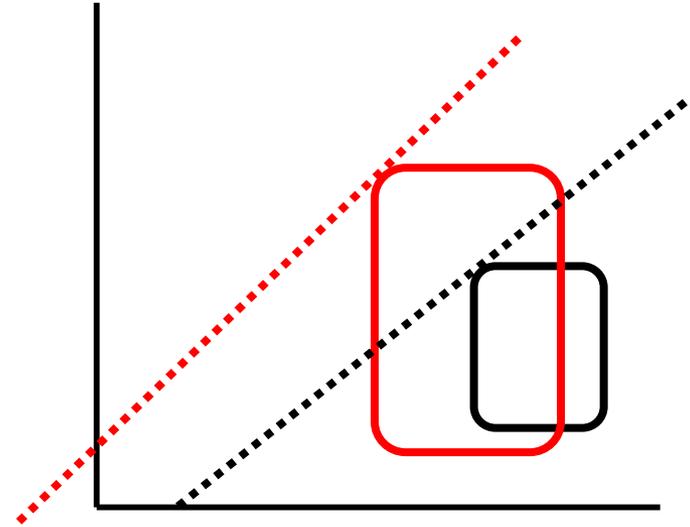


同一個体においては V_0 は同じ 心不全(黒)に強心薬(赤)をいれるとする
ループは同じで黒のESPVRは一定で赤の線を変えました

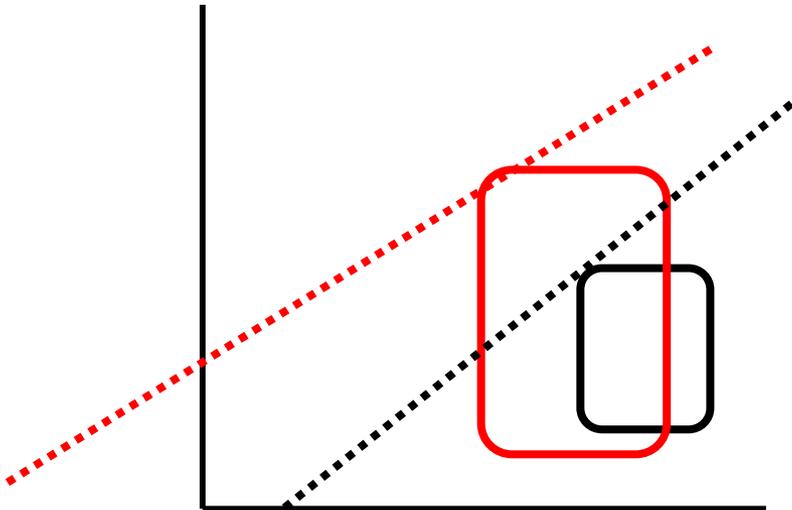
正しい



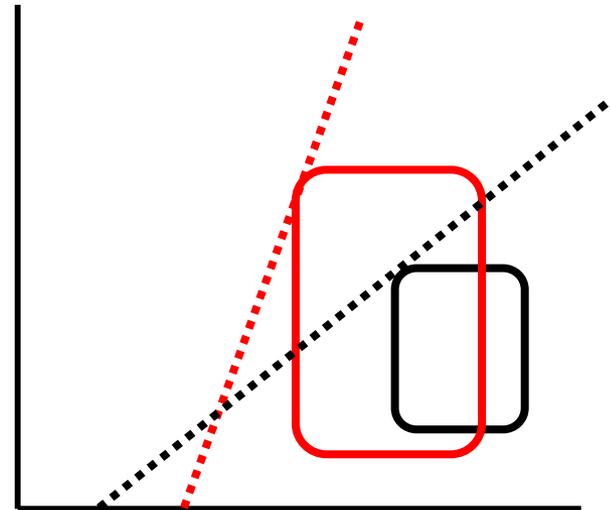
赤の V_0 は左にシフトEesは少し改善



赤の V_0 は左に大きくシフトEesは低下



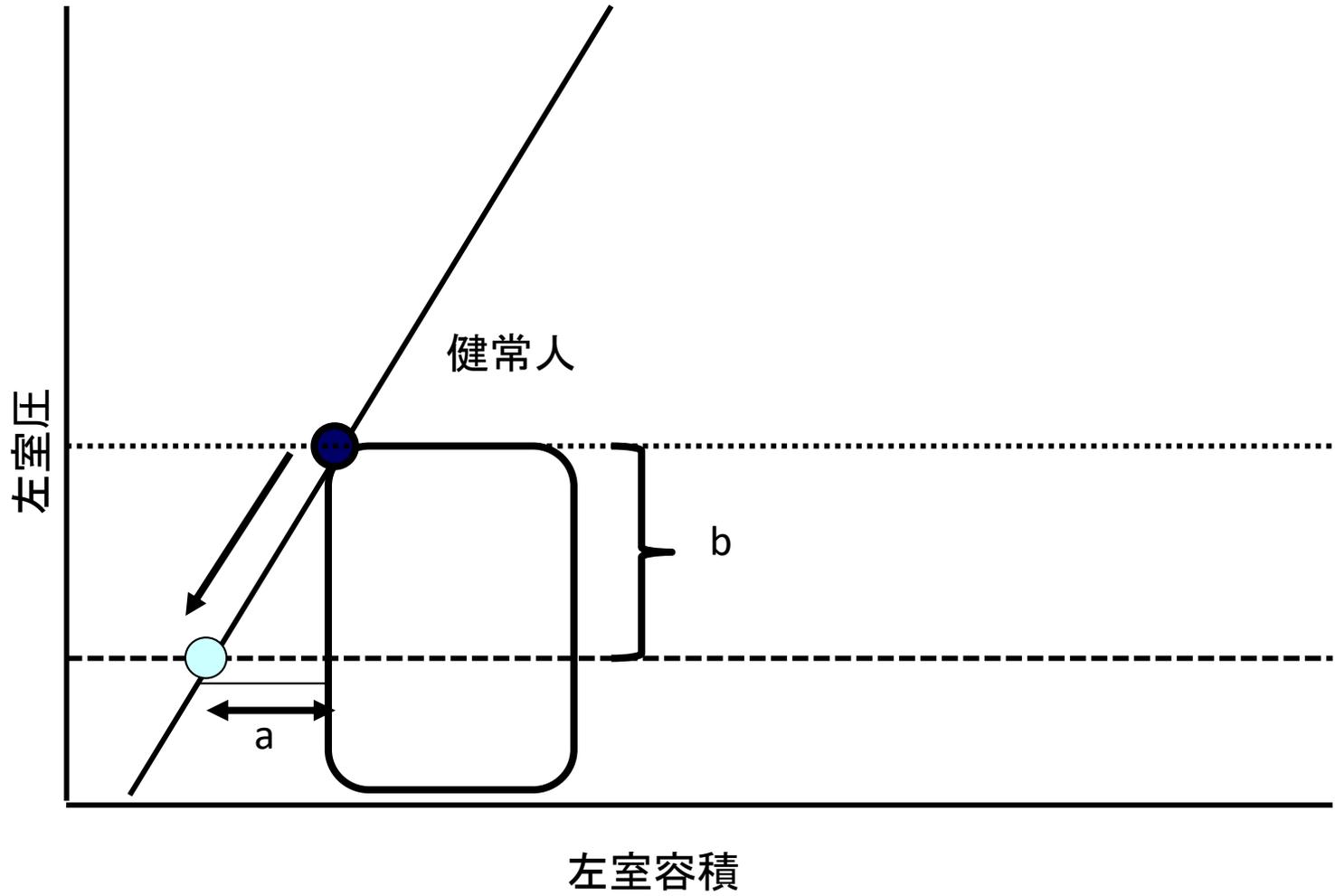
赤の V_0 は右にシフトEesは改善し過ぎ



このように、当たり前と同じ点だと思っているVOを意識せずに、機械に任せるとEesに誤差が生まれる。

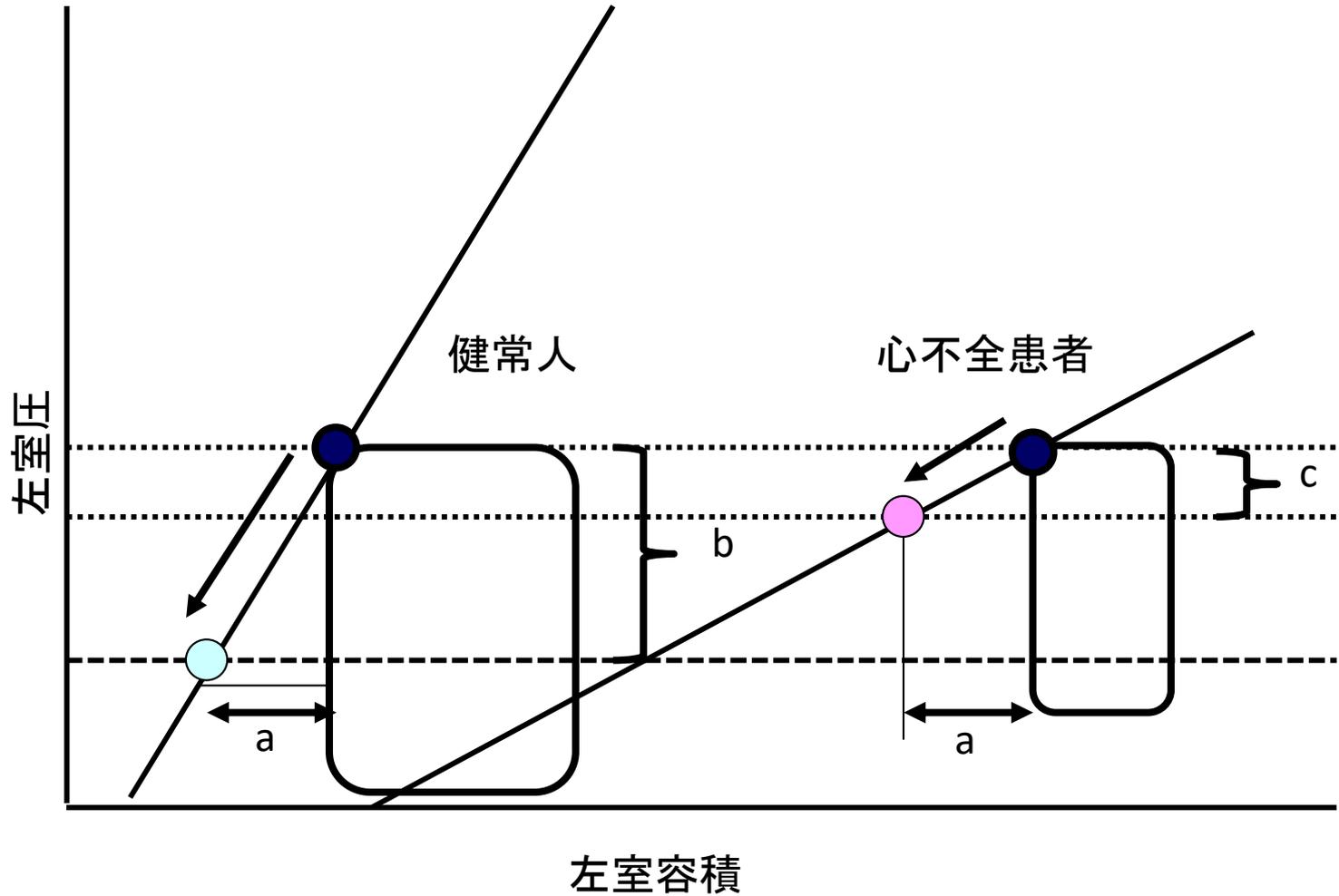
臨床研究の難しさであり面白さ！

左室収縮末期エラスタンس(E_{es})



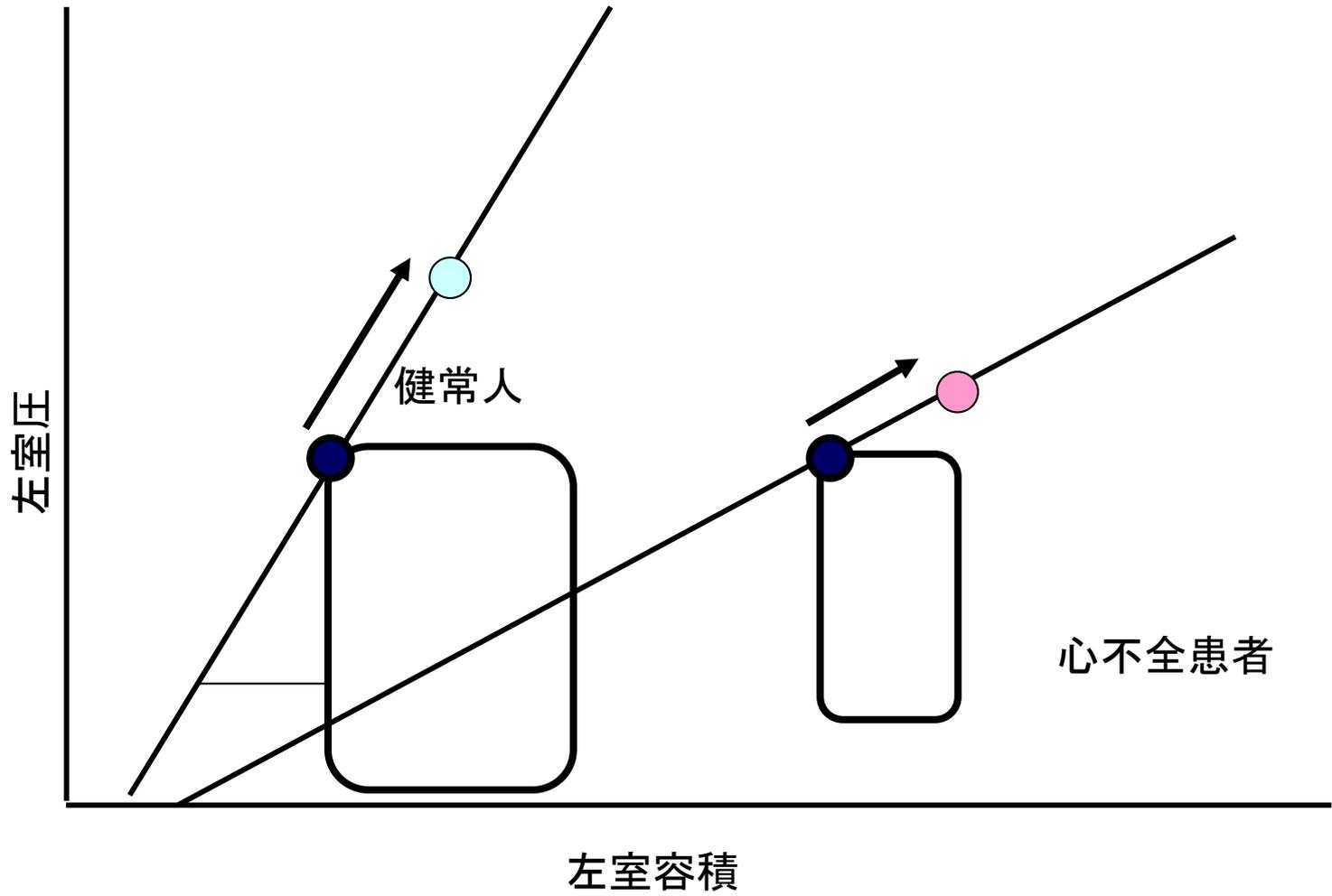
健常人は収縮末期容積がa下がると収縮末期圧はbと大きく下がる

左室収縮末期エラストランス(Ees)

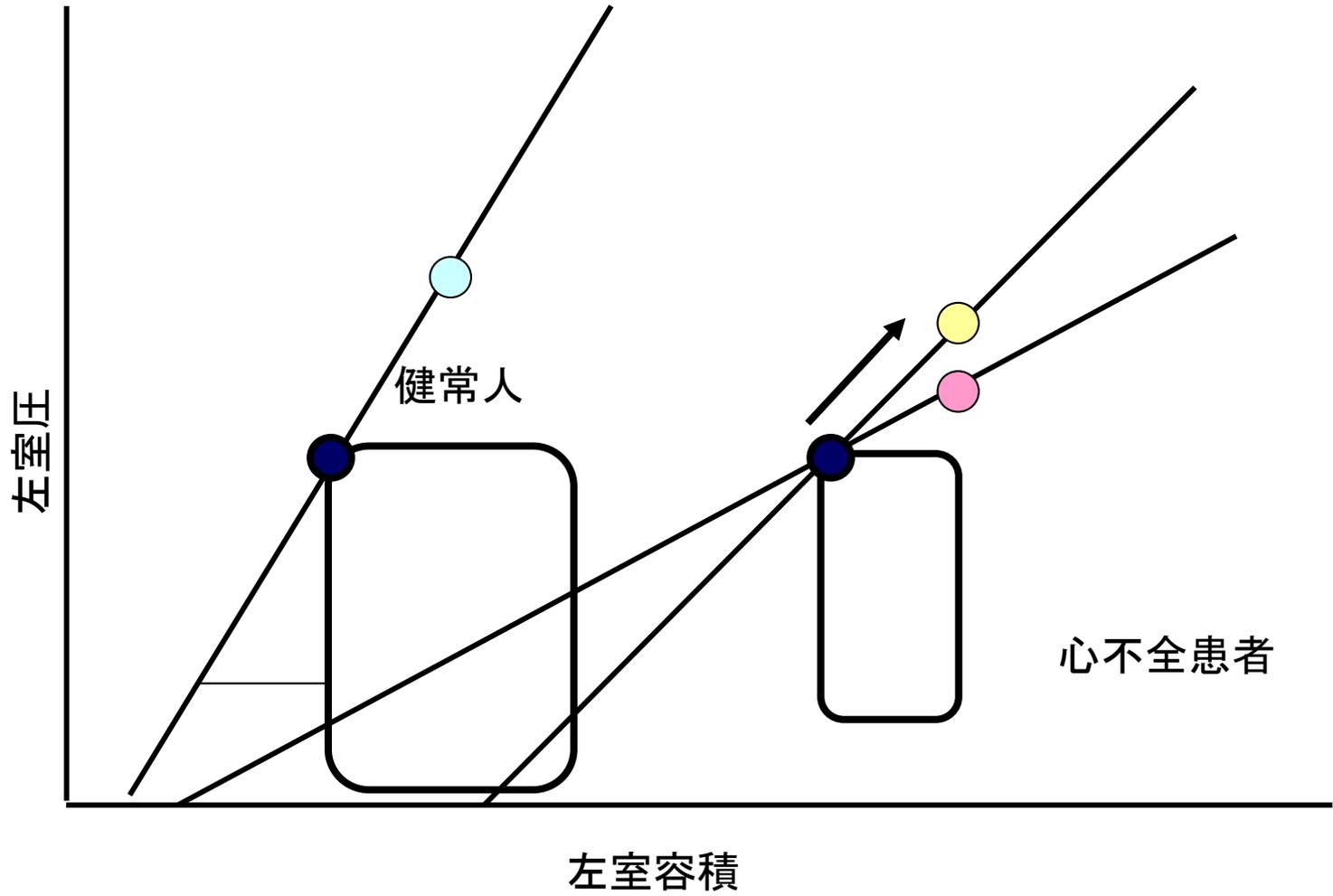


HFrEF患者は収縮末期容積がa下がっても、収縮末期圧はcしか下がらない

前負荷が増えれば反対のことが言える。HFrEFでは血圧が上がりにくい



HFrEFのVoが本当は右にシフトしている人がいれば、
前負荷上昇で血圧がびっくりするくらい上がるHFrEFの
末梢血管抵抗上昇以外の理由になるのでは？



YouTube チャンネル 「心不全・心機能アカデミー」



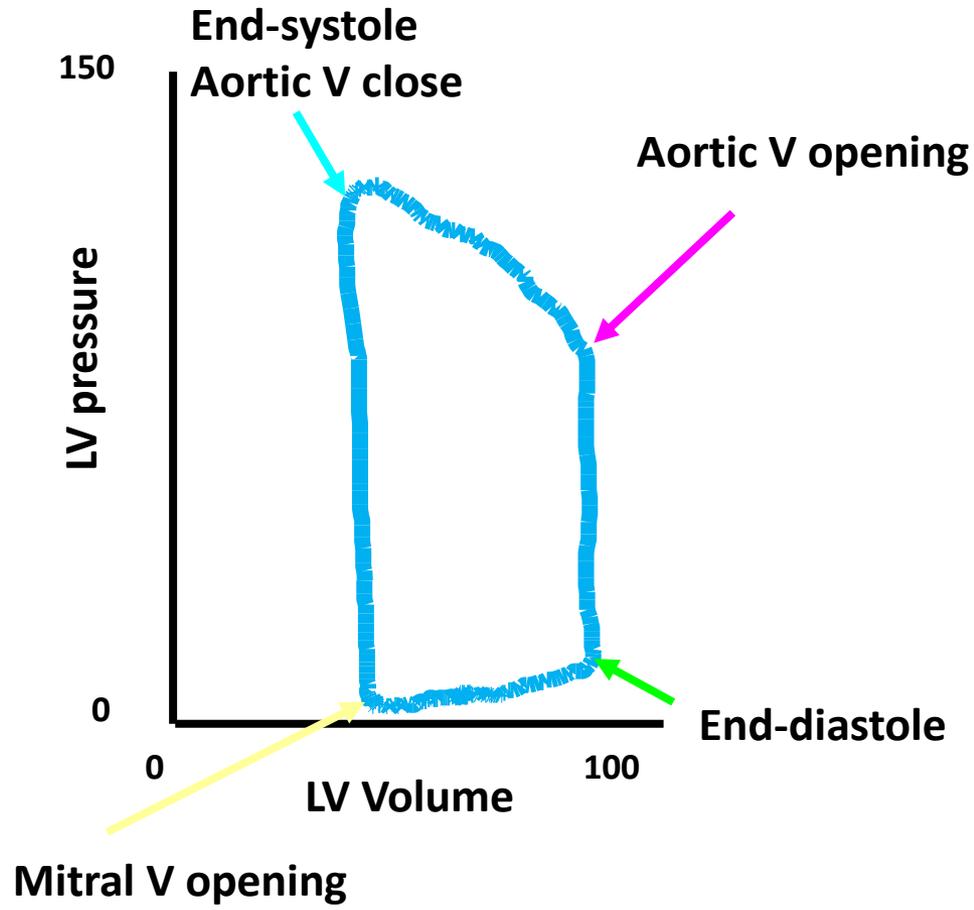
心機能編の圧容積関係の後半で少し解説しています

患者でPV loopをとる意義は？

左室圧と容量が同時にみれる

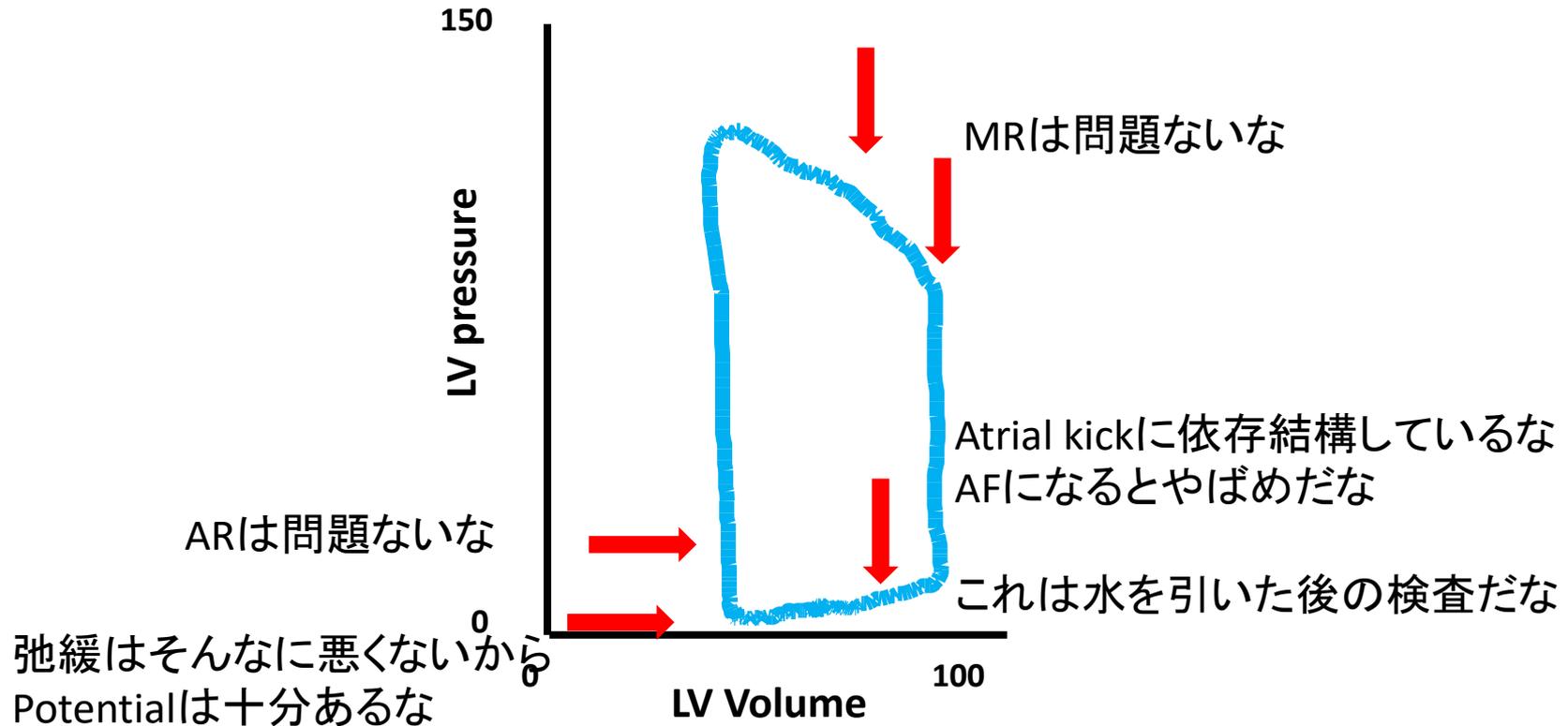
形をみると心機能がわかる

この人を見たときどう考えるか？



私なら...

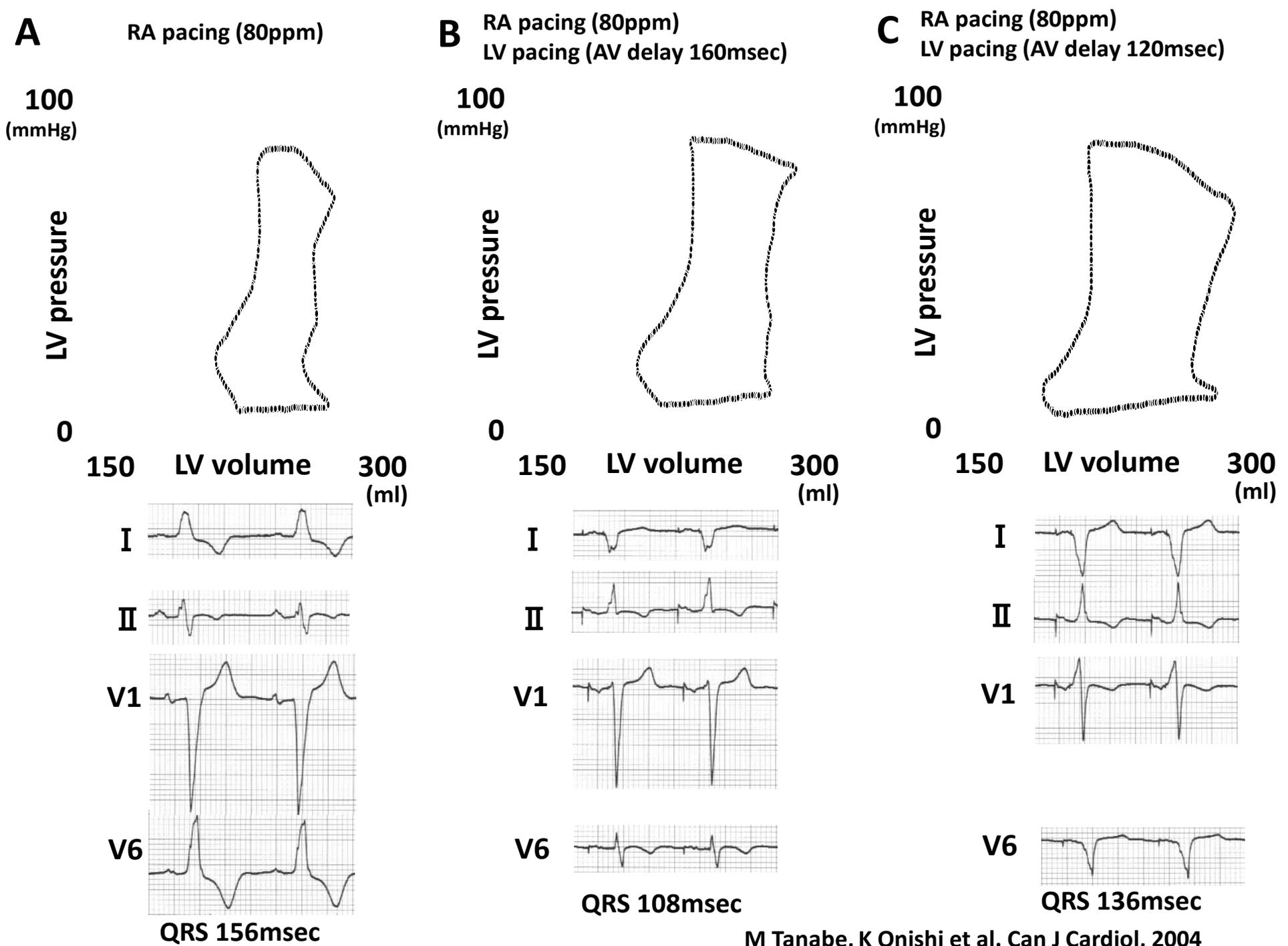
コンプライアンスが低そうだな(傾きが急峻)
特性インピーダンスは保たれてそうだな(上に凸)



同一個体であれば、変化が目で見れるのと形が変わるため、
実際何が起こったかすぐわかる。

治療難渋例に、前負荷を落としたい、後負荷を落としたい、
強心薬を使いたい、心拍数を上げたい、dyssynchronyを治したい
など急性期の変化はよくわかる。

次のスライドは、Bi-Vの概念が出始めでdeviceがなかった頃の
症例で、迷ったけど治療に行きづまったので、
開胸してスクリー型のリードを自由壁に胸部外科の先生に
入れてもらって、設定を一生懸命考えていれて救命できた
思い入れの深い症例です。



患者でPV loopをとる意義は？

リアルタイムにPVの変化が見れること。

ループの変化を見ているとV0はここらなんだなってよくわかります。