

最近になって

## ASが多くなってきた理由

- ①加齢、変性に伴う動脈硬化  
→高齢化は明らかに進んでいるがそれは徐々
- ②二尖弁の石灰化  
→二尖弁の発生率はおそらく横ばい（のハズ）
- ③リウマチ性  
→リウマチ性は減少している

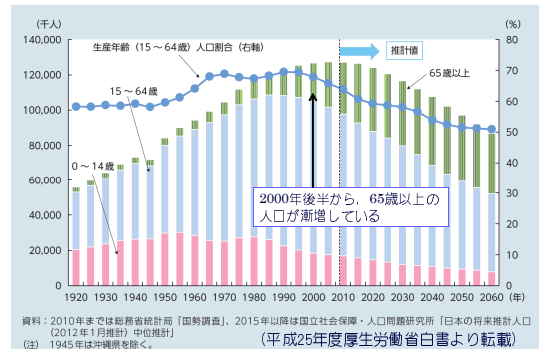
なのに！近年ASの症例が確実に急増している。

演者が思う答え

全国民が病院を受診（健診を含めて）する機会が増えたこと、それよりも『心エコーによる診断が正確になってきた』ことである。

Saiseikai Chuwa Hospital

## 日本の人口推移と将来推計人口



Saiseikai Chuwa Hospital

## 大動脈二尖弁

大動脈二尖弁は、0.5～2%の頻度で発生し、男女比は3：1と男性に多い常染色体優性遺伝を呈する最多の先天性心疾患である。剖検では1%程度に認められているが、心エコーでは検出率がその半分という報告がある。

### Echocardiographic Prevalence of Bicuspid Aortic Valve in the Population

Heart, Lung and Circulation 15(5): 297-299, 2006

Study	Method	Year	Subjects	Prevalence (%)
Stephensen et al.	Medical autopsy records and echocardiography	2004	44,013	0.1
Larson and Edwards	Autopsy	1984	21,417	1.4
Rose	Autopsy	1986	18,132	1.2
Gupta et al.	Signs, symptoms, echocardiography	1992	10,263	0.01
Datta et al.	Autopsy	1988	8,800	0.6
Walleret al.	Autopsy	1992	2,007	0.8
Pauperio et al.	Autopsy	1999	2,000	0.6
Roberts	Autopsy	1970	1,440	0.9
Anabwani and Bonhoeffer	Echocardiography	1996	1,115	0.1
Basso et al.	Echocardiography	2004	817	0.5
Steinberger et al.	Echocardiography	2000	357	0.6

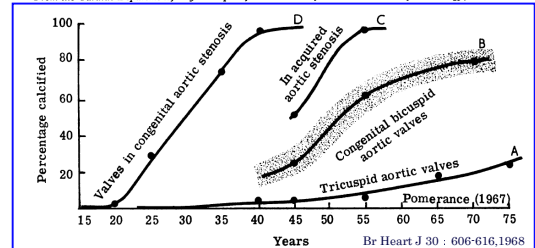
大動脈二尖弁は、3つの冠尖のうち2つが癒合しているタイプのもも多く、この場合、冠尖の接合部が3つ認められるので自動的に冠尖も3つあると思ひ込んでしまうからか？

Saiseikai Chuwa Hospital

## Calcific Aortic Stenosis and Congenital Bicuspid Aortic Valves

MAURICE CAMPBELL

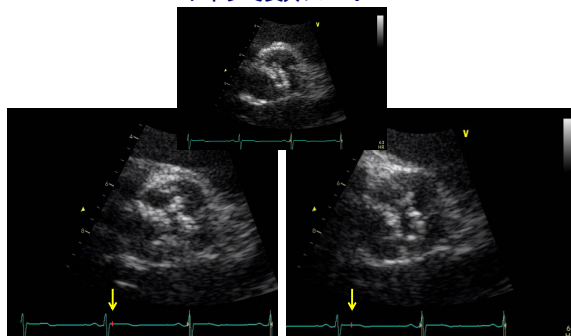
From the Cardiac Department, Guy's Hospital, London S.E.1, and The Institute of Cardiology, London W.1



加齢に伴う大動脈弁の石灰化を調査した1968年の文献。  
大動脈三尖弁 (A)に比べて、二尖弁 (B)では中年期から石灰化がはじまり、いったん狭窄が始まると進行が速い。

Saiseikai Chuwa Hospital

## 弁尖数は？



収縮早期の時相では、3枚？4枚？と不明であるが・・・、拡大して収縮中期の時相に注目すると、2枚（二尖弁）であることがわかる。

Saiseikai Chuwa Hospital

## 日本におけるASのガイドライン

循環器病の診断と治療に関するガイドライン（2011年度合同研究班報告）

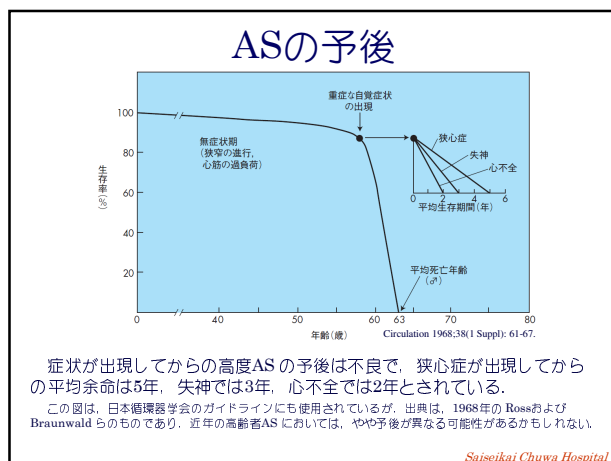
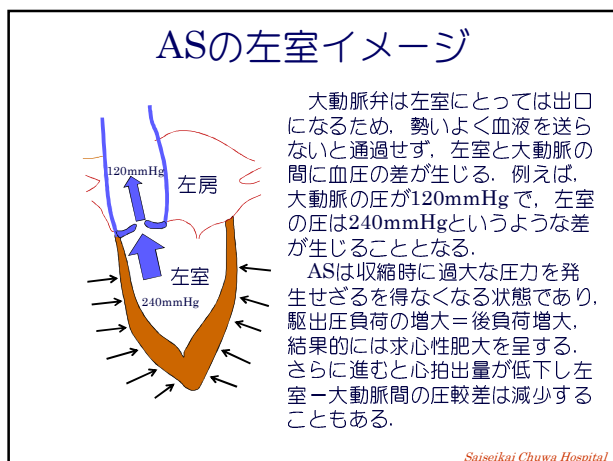
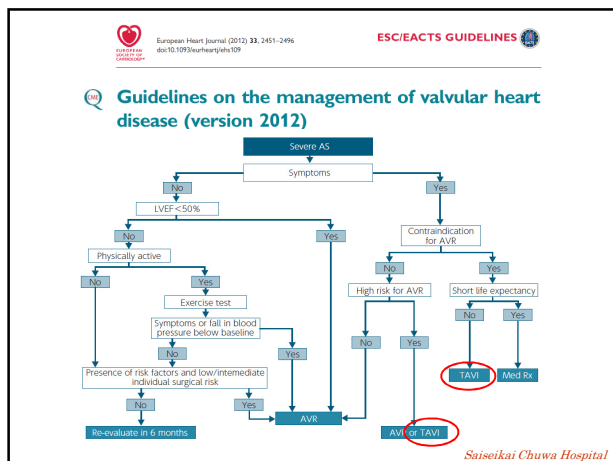
### 弁膜疾患の非薬物治療に関するガイドライン（2012年改訂版）

Guidelines for Surgical and Interventional Treatment of Valvular Heart Disease (JCS 2012)

	軽度	中等度	高度
連続波ドプラ法による最高血流速度 (m/s)	< 3.0	3.0～4.0	≥ 4.0
簡易ベルヌーイ式による収縮期平均圧較 (mmHg)	< 25	25～40	≥ 40
弁口面積 (cm <sup>2</sup> )	> 1.5	1.0～1.5	≤ 1.0
弁口面積係数 (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	—	—	< 0.6

<http://www.j-circ.or.jp/guideline/>

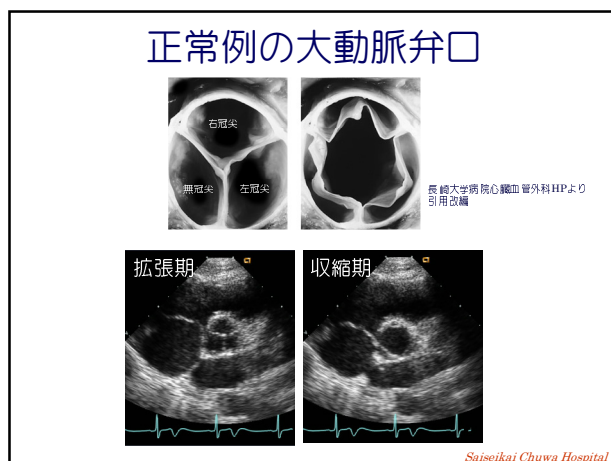
Saiseikai Chuwa Hospital



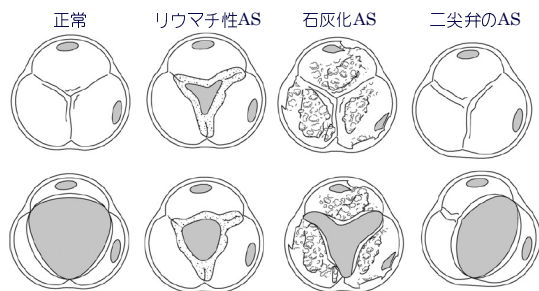
### 心エコー法によるASの評価法

- 弁の形態=病因の解明
- 弁狭窄の重症度評価
  - ① 最大血流速度
  - ② 圧較差
  - ③ 弁口面積
- 心負荷の程度
- その他
  - 自然歴の予想
  - 手術適応
  - 術式の決定

Saiseikai Chuwa Hospital



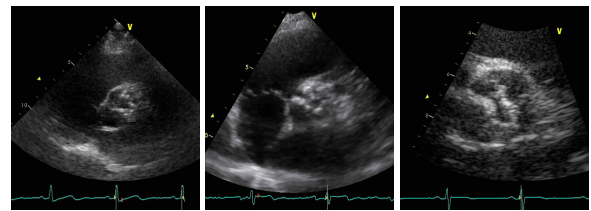
## 大動脈弁口の形態



J Am Soc Echocardiogr 22 : 1-23, 2009

Saiseikai Chuwa Hospital

## ASにおける弁口の形態



加齢などによる  
石灰化病変

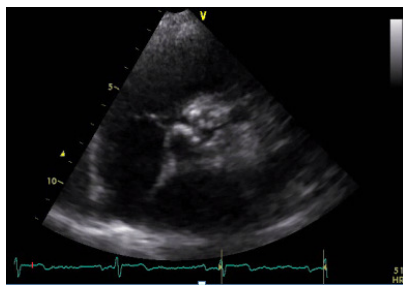
リウマチ性病変

二尖弁

加齢による石灰化病変では、弁全体の可動性が低下するが、交連部の癒着は少なく、本来の弁口形態（メルセデス状）が保たれている。一方リウマチ変性では交連部の癒着のために円形に近い形態となる。高齢者ASには、二尖弁もあるので拡大して弁形態を観察することも重要である。

Saiseikai Chuwa Hospital

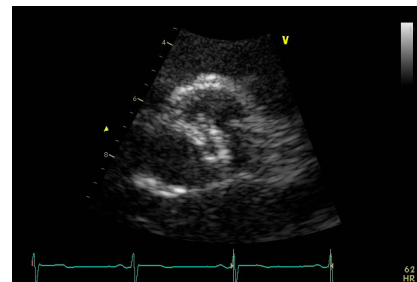
## 加齢などによる石灰化病変



加齢による石灰化病変では、弁全体の可動性が低下するが、交連部の癒着は少なく、本来の弁口形態（メルセデス状）が保たれている。

Saiseikai Chuwa Hospital

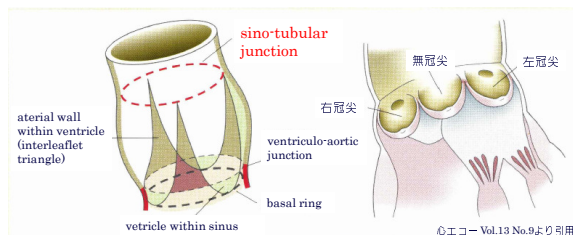
## 二尖弁のAS



Saiseikai Chuwa Hospital

## 大動脈弁複合体

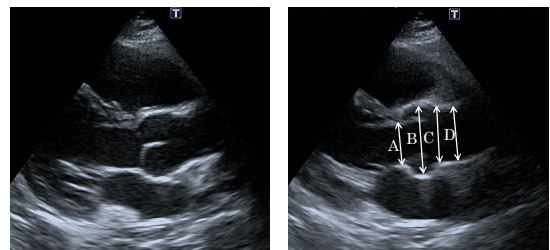
大動脈弁疾患の病因と病態を考える上で、弁尖からValsalva洞、上行大動脈の管状構造部分までを大動脈弁複合体としてとらえることが大切である。ASで問題となる後述の圧力回復現象では、上行大動脈の大きさと、特にsino-tubular junctionの計測が重要な因子となる。



心エコー Vol.13 No.9より引用

Saiseikai Chuwa Hospital

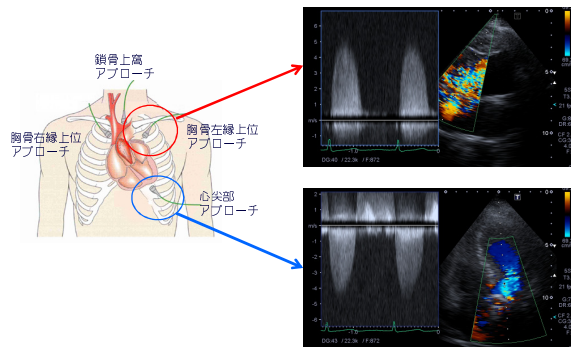
## 大動脈弁複合体として計測



- A: 左室流出路（外科的弁輪径）
- B: バルサルバ洞径
- C: sino-tubular junction径
- D: 上行大動脈起始部径

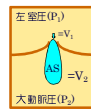
Saiseikai Chuwa Hospital

## 最大通過血流速を得る



Saiseikai Chuwa Hospital

## 簡易ベルヌーイ式 “簡易” の意味



### ■簡易ベルヌーイ式

$$\Delta P \text{ (mmHg)} = P_1 - P_2 = 4 \times (V_2)^2$$

### ■簡易ではないベルヌーイ式

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho \times ((V_2)^2 - (V_1)^2) + \text{加速度項} + \text{圧力損失項}$$

もともとは、定常流に関するエネルギー保存の法則、ベルヌーイの定理から成り立っている。

$$\rho P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho gh = \text{一定}$$

P: 圧力,  $\rho$ : 流体の密度, V: 流体の速度, g: 重力の加速度, h: 任意の水平面の高さ  
 $\rho = 1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $1 \text{ mmHg} = 132.9 \text{ [Pa: パスカル]}$

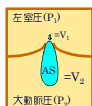
$V_2 \gg V_1$  の場合  $V_1$  を省略, 加速度項  $\approx 0$ , 圧力損失項  $\approx 0$ ,  $h \approx 0$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times 1.03 \times 10^3 \times V_2^2 \times \frac{1}{132.9} \approx 3.78 \times V_2^2 \approx 4 \times V_2^2$$

簡易化の過程で無視した項目が無視出来ない場合もある

Saiseikai Chuwa Hospital

## $V_2 \gg V_1$ が崩れる状況



$V_2$ : 4.5m/sec,  $V_1$ : 1.3m/sec

$$V_2^2 - V_1^2 = 20.3 - 1.7 = 18.6 \text{ (正確率91.6\%)} \\ \text{許容できる}$$

$V_2$ : 4.5m/sec,  $V_1$ : 2.2m/sec

$$V_2^2 - V_1^2 = 20.3 - 4.8 = 15.5 \text{ (正確率76.4\%)} \\ \text{許容できない}$$

$V_2$ : 3.0m/sec,  $V_1$ : 1.3m/sec

$$V_2^2 - V_1^2 = 9.0 - 1.7 = 7.3 \text{ (正確率81.1\%)} \\ \text{許容できない}$$

つまり,

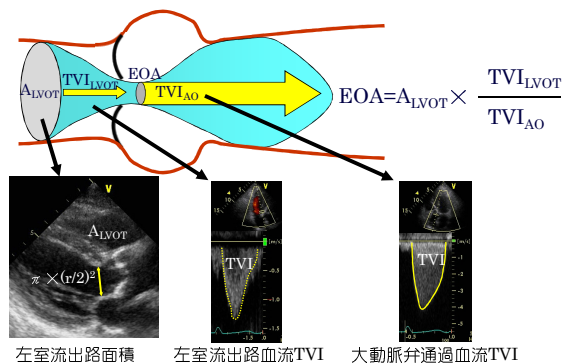
許容可能:  $V_2$  が十分速い,  $V_1$  は 1.0m/sec 前後

許容不可:  $V_1$  が 2.0m/sec 以上の場合

許容不可:  $V_2$  が 3.0m/sec 以下の場合

Saiseikai Chuwa Hospital

## 連続の式によるEOAの算出



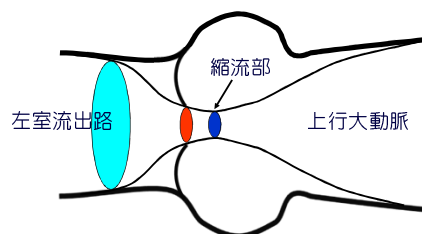
左室流出路面積

左室流出路血流TVI

大動脈弁通過血流TVI

Saiseikai Chuwa Hospital

## 2つの大動脈弁口面積



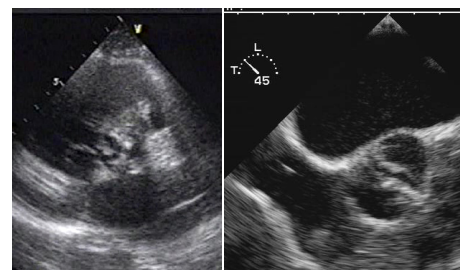
解剖学的弁口面積 geometric orifice area (GOA)  
 心断面法にて弁口部をトレース (Planimetry法) で求める

有効弁口面積 effective orifice area (EOA)  
 連続の式 (心エコー), Gorlinの式 (カテーテル) で求める

Saiseikai Chuwa Hospital

## 解剖学的弁口面積

経胸壁心エコー法で正確な計測ができない場合には  
 経食道心エコー法による計測も考慮する



Saiseikai Chuwa Hospital

## 風が吹けば桶屋がもうかる

風が吹けば砂が舞い上がり、砂が目に入り、目が悪くなる人が増え、そのため三味線弾きで生計を立てる人が増え、三味線が売れる。三味線には猫の皮が必要だから猫が捕られ、それによってネズミが増え、桶がかじられる・・・したがって、風が吹けば桶屋がもうかる。

この文章の特徴は、風が吹けばという始まりから、桶屋がもうかるという結論まで、**多くの段階を経て理解がつながること**である。が、しかし実際には・・・

## 大動脈弁が硬くなれば 弁口面積は小さくなる

大動脈弁が硬くなると、弁が開きに小さくなり、十分な血液量を駆出するために左室内圧が上昇し、大動脈弁通過血流速度が増大し、圧較差が増大する。したがって、連続の式で求めた弁口面積は小さくなる。

一見、正しいように思え、実際に多くの症例では正しい。ところが、この三段論法にはビットボールがある。

Saiseikai Chuwa Hospital

## ASの重症度評価で明らかに 矛盾する場合の解決方法

J Am Soc Echocardiogr 22 : 1-23, 2009

AS velocity >4 m/s and AHA >1.0 cm<sup>2</sup>

1. Check LVOT diameter measurement and compare with previous studies\*
2. Check LVOT velocity signal for flow acceleration
3. Calculate indexed AHA when
  - a. Height is <135 cm (5'5")
  - b. BSA <1.5 m<sup>2</sup>
  - c. BMI <22 (equivalent to 55 kg or 120 lb at this height).
4. Evaluate AR severity
5. Evaluate for high cardiac output
  - a. LVOT stroke volume
  - b. 2D LV EF and stroke volume

Likely causes: high output state, moderate-severe AR, large body size

AS velocity ≤4 m/s and AHA ≤1.0 cm<sup>2</sup>

1. Check LVOT diameter measurement and compare with previous studies\*
2. Check LVOT velocity signal for distance from valve
3. Calculate indexed AHA when
  - a. Height is <135 cm (5'5")
  - b. BSA <1.5 m<sup>2</sup>
  - c. BMI <22 (equivalent to 55 kg or 120 lb at this height)
4. Evaluate for low transaortic flow volume
  - a. LVOT stroke volume
  - b. 2D LV EF and stroke volume
  - c. MR severity
  - d. Mitral stenosis
5. When EF <55%
  - a. Assess degree of valve calcification
  - b. Consider dobutamine stress echocardiography

Likely causes: low cardiac output, small body size, severe MR

■ ASの血流速度 >4m/s で大動脈弁口面積 >1.0cm<sup>2</sup>

1. 左室流出路径をシェック (過去の計測結果と比べる)
2. 左室流出路血流速度の加速血流をシェック  
→左室流出路狭窄に注意
3. 下記の場合、大動脈弁口面積係数を算出する  
身長<135cm、BSA<1.5m<sup>2</sup>、BMI<22
4. 大動脈弁逆流の評価
5. 高心拍出量について評価する
  - a) 左室流出路での一回心拍出量
  - b) 2DEによる左室駆出率と一回心拍出量

●推定される原因:  
高心拍出状態、中重度～高度の大動脈弁逆流、体格が大きい

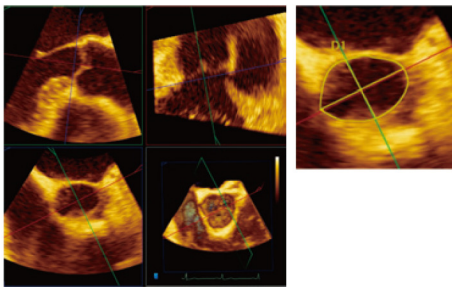
■ ASの血流速度 ≤4m/s で大動脈弁口面積 ≤1.0cm<sup>2</sup>

1. 左室流出路径をシェック (過去の計測結果と比べる)
2. 左室流出路血流速度の種からの距離をシェック
3. 下記の場合、大動脈弁口面積係数を算出する  
身長<135cm、BSA<1.5m<sup>2</sup>、BMI<22
4. 低心拍出量について評価する
  - a) 左室流出路での一回心拍出量
  - b) 2DEによる左室駆出率と一回心拍出量
5. 僧帽弁逆流の重症度評価
6. 僧帽弁狭窄症について
  - a) EFP <55%の場合
  - b) 大動脈弁石灰化の程度を評価する

●推定される原因:  
低心拍出量、体格が小さい、高度僧帽弁逆流

Saiseikai Chuwa Hospital

## 左室流出路の形態

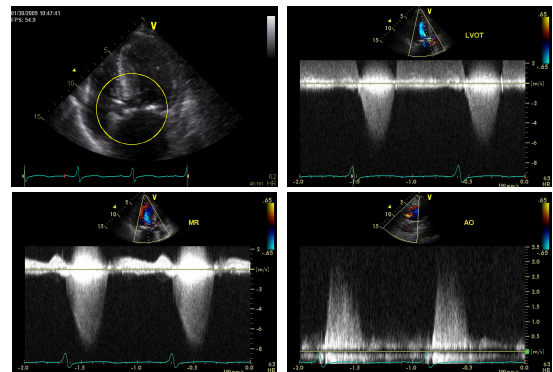


三次元データより大動脈弁輪部を切出すと、その大きさを評価できる。大動脈弁輪は円形ではなく、楕円形を呈している場合もある。

Jpn J Med Ultrasonics Vol. 40 No. 6 (2013)

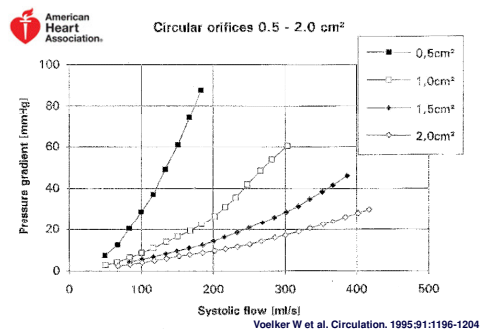
Saiseikai Chuwa Hospital

## 流出路の狭窄病変



Saiseikai Chuwa Hospital

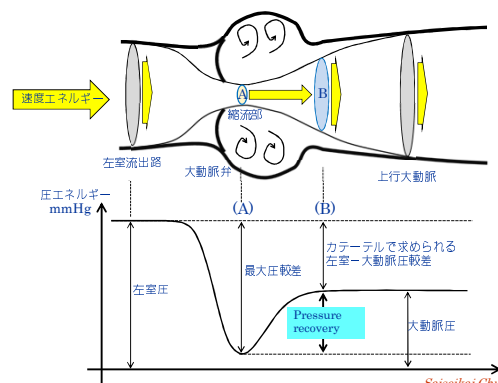
## 圧較差，弁口面積と血流量の関係



圧較差は、弁口面積と血流量で決まる。  
一つの弁口面積に固有の圧較差があるわけではない。

Saiseikai Chuwa Hospital

## 圧力回復現象

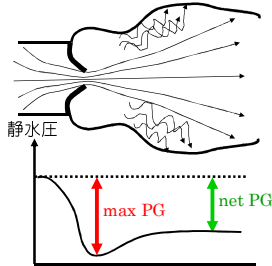


Saiseikai Chuwa Hospital



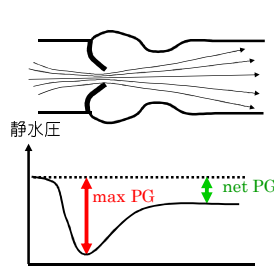
## 圧力回復現象

<上行大動脈径が大きい場合>



エネルギー損失「大」  
→ 圧力回復「小」  
→  $\max PG \approx \text{net PG}$   
→  $\text{AVA}_{\text{Doppler}} \approx \text{AVA}_{\text{cath}}$

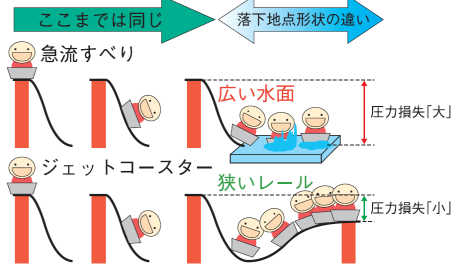
<上行大動脈径が小さい場合>



エネルギー損失「小」  
→ 圧力回復「大」  
→  $\max PG > \text{net PG}$   
→  $\text{AVA}_{\text{Doppler}} < \text{AVA}_{\text{cath}}$

Saiseikai Chuwa Hospital

## 圧力損失



Saiseikai Chuwa Hospital

## 低心機能重症AS

Low-Flow, Low Gradient Severe Aortic Stenosis

左室駆出分画が著明に低下した左室収縮不全例では一回拍出量も低下している。大動脈弁を通過する血流速度は弁通過血流量により決定されるため、大動脈弁通過血流量が低下した状態では通過血流速度も低下する。

### ■ true severe AS

ASは重症であるが、左室収縮性の低下により大動脈弁を通過する血流量が低下しているため、通過血流速度も低下し圧較差としては中等度と算出される。

### ■ pseudo severe AS

ASは中等度であるが、低心拍出であるために弁を開放する力が十分ではなく、弁口面積 (GOA) が小さく算出される。

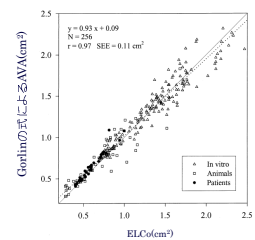
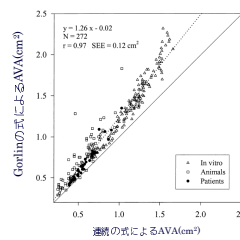
Saiseikai Chuwa Hospital

## ELCoとELI

連続の式により得られたAVAを上行大動脈の断面積を用いて補正し、圧力回復を考慮した弁口面積を計算することができる。これが、ELCoであり、これを体表面積で除した値が、ELIで、以下の簡単な計算式で求めることができる。

$\text{ELCo} = (\text{AVA} \times \text{STJa}) \div (\text{STJa} - \text{AVA})$   $\text{ELI} = \text{ELCo} \div \text{BSA}$   
AVA: 連続の式による大動脈弁口面積, STJa: 上行大動脈断面積 (STJの部分で計測)

連続の式は弁口面積を過小評価するが、ELCoはGorlinの式とよく一致する。



J Am Coll Cardiol 41: 435-442, 2003

Saiseikai Chuwa Hospital

## ELCoの使い方

1. 日本人のSTJ径 (the JAMP study, Circ J 72: 1859-1866, 2008)

男性:  $2.6 \pm 0.3 \text{ cm}$ , 女性:  $2.4 \pm 0.3 \text{ cm}$

2. STJが最も小さい場合 (男性2.3cm, 女性2.1cm) を想定して、

ELCoが1.0になるAVAを算出すると

男性:  $1 = (\text{AVA} \times (1.15^2 \times \pi)) \div ((1.15^2 \times \pi) - \text{AVA})$

AVA → 0.81

女性:  $1 = (\text{AVA} \times (1.05^2 \times \pi)) \div ((1.05^2 \times \pi) - \text{AVA})$

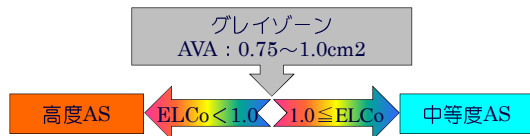
AVA → 0.78

3. AVAが1.0以上の場合

$\text{ELCo} = (1 \times \text{STJa}) \div (\text{STJa} - 1)$

→  $\text{ELCo} \geq 1.0$

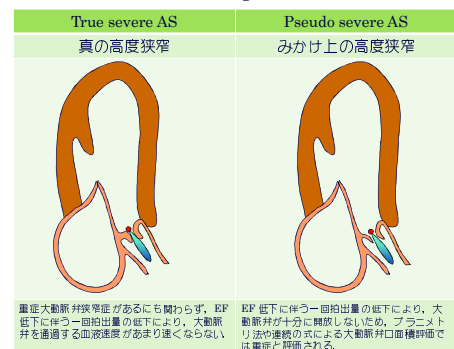
AVAが男性0.81, 女性0.78より「小」ならELCoを確認するまでもなく「高度AS」  
AVAが1.0以上では、ELCoは必ず1.0以上になるため、ELCoを計算せずとも「高度ASではない」



Saiseikai Chuwa Hospital

## LF-LG AS

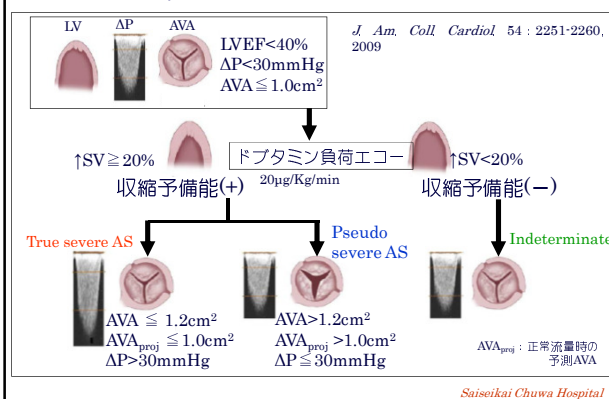
low flow-low gradient AS



重症大動脈弁狭窄症があるにもかかわらず、EF低下に伴う一回拍出量の低下により、大動脈弁が十分に開放しないため、プラニメトリ法や連続の式による大動脈弁口面積評価では重症と評価される。

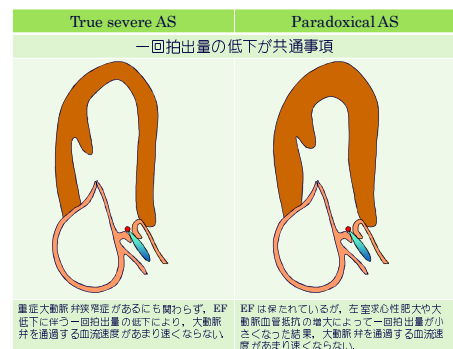
Saiseikai Chuwa Hospital

## ドブタミン負荷心エコー法



Saiseikai Chuwa Hospital

## LF-LG AS Paradoxical AS



Saiseikai Chuwa Hospital

## FlowとGradient

<b>Group 1</b> <b>'Normal flow, high gradient'</b> SVi>35mL/m <sup>2</sup> Gradient>40mmHg N=152(39%) Indexed AVA=0.4±0.1cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> LVEDD=48±5mm LVEDVI=59±13mL/m <sup>2</sup> Zva=4.2±0.8mmHg/mL/m <sup>2</sup> <b>AVR performed 80%</b>	<b>Group 2</b> <b>'Normal flow, low gradient'</b> SVi>35mL/m <sup>2</sup> Gradient≤40mmHg N=193(38%) Indexed AVA=0.5±0.1cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> LVEDD=48±5mm LVEDVI=58±13mL/m <sup>2</sup> Zva=4.2±0.6mmHg/mL/m <sup>2</sup> AVR performed 53%
<b>Group 3</b> <b>'Low flow, high gradient'</b> SVi≤35mL/m <sup>2</sup> Gradient>40mmHg N=44(8%) Indexed AVA=0.3±0.1cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> LVEDD=48±5mm LVEDVI=48±12mL/m <sup>2</sup> Zva=6.0±1.2mmHg/mL/m <sup>2</sup> <b>AVR performed 68%</b>	<b>Group 4</b> <b>'Low flow, low gradient'</b> SVi≤35mL/m <sup>2</sup> Gradient≤40mmHg N=123(24%) Indexed AVA=0.5±0.1cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> LVEDD=46±5mm LVEDVI=53±13mL/m <sup>2</sup> Zva=4.2±0.8mmHg/mL/m <sup>2</sup> <b>AVR performed 36%</b>

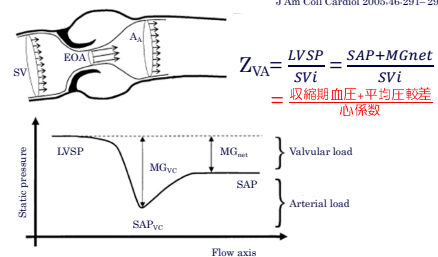
Dumesnil JG, et al. Eur Heart J 2010;31 (3) : 281-289.

Saiseikai Chuwa Hospital

## 大動脈血管抵抗

valvulo-arterial impedance (Z<sub>VA</sub>)

J Am Coll Cardiol 2005;46:291-298



AA : aortic cross-sectional area, EOA : effective orifice area, LVSP : left ventricular systolic pressure, MGnet : transvalvular pressure gradient after pressure recovery, MGve : transvalvular pressure gradient at the vena contracta, SAP : systolic aortic pressure, SAPvc : systolic aortic pressure at the vena contracta, SV : stroke volume, SVi : stroke volume index, Z<sub>VA</sub> : valvulo-arterial impedance.

Saiseikai Chuwa Hospital

## 大動脈血管抵抗 valvulo-arterial impedance (Z<sub>VA</sub>)

(J Am Coll Cardiol 2005;46:291-298)

	Group 1 ELI >0.55 SVi/PP >0.60 N=77	Group 2 ELI >0.55 SVi/PP >0.60 N=50	Group 3 ELI ≤0.55 SVi/PP ≤0.60 N=45	Group 4 ELI ≤0.55 SVi/PP ≤0.60 N=36	P value
LVEF <50%	5(6%)	6(12%)	7(16%)	11(31%)*	<0.007
CI <2.5 (L/min/m <sup>2</sup> )	20(26%)	15(30%)	16(36%)	20(56%)*	<0.001
LV stroke volume (mL)	84±18	74±14*	72±16*	64±14***	<0.001
LV diastolic dysfunction	46(60%)	43(86%)*	37(82%)*	34(94%)*	<0.001
SVi/PP (mL/m <sup>2</sup> /mmHg)	0.87±0.21	0.50±0.08*	0.83±0.21***	0.49±0.09***	<0.001
Z <sub>VA</sub> (mmHg/mL/m <sup>2</sup> )	3.3±0.5	4.4±0.9*	4.2±0.7*	5.4±1.1***	<0.001

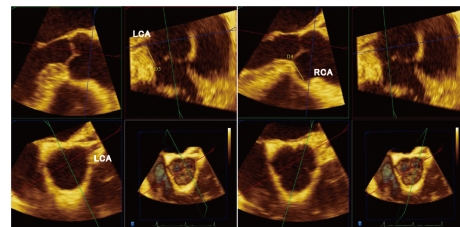
\*Significant difference vs group 1, \*\*vs group 2, \*\*\*vs group 3.

駆出率が保たれているにもかかわらず圧較差が小さい重症ASでは、大動脈血管抵抗valvulo-arterial impedance (Z<sub>VA</sub>) が他群よりも高い。

Saiseikai Chuwa Hospital

## TAVIに向けて

3次元経食道心エコーによる弁輪・冠動脈口までの距離の測定方法



左冠動脈口までの距離は、左上の図のような大動脈長軸像を切り出し、これに直交する短軸面（青の線）をずらししていくことで、左下のように左冠動脈の短軸断面を描出する。この断面上で冠動脈入口部に赤い線で示されるもう一つの大動脈長軸像を設定すれば、右上の図のようにこの断面上は大動脈弁輪、左冠動脈口が描出されその間の距離を測ることが可能となる。

Jpn J Med Ultrasonics Vol. 41 No. 2 (2014)

Saiseikai Chuwa Hospital