

2019.5.19

第12回 千葉IVR技術セミナー

# 心臓領域の診断

東京北医療センター  
つなぐ 命と人と

志田 拓哉

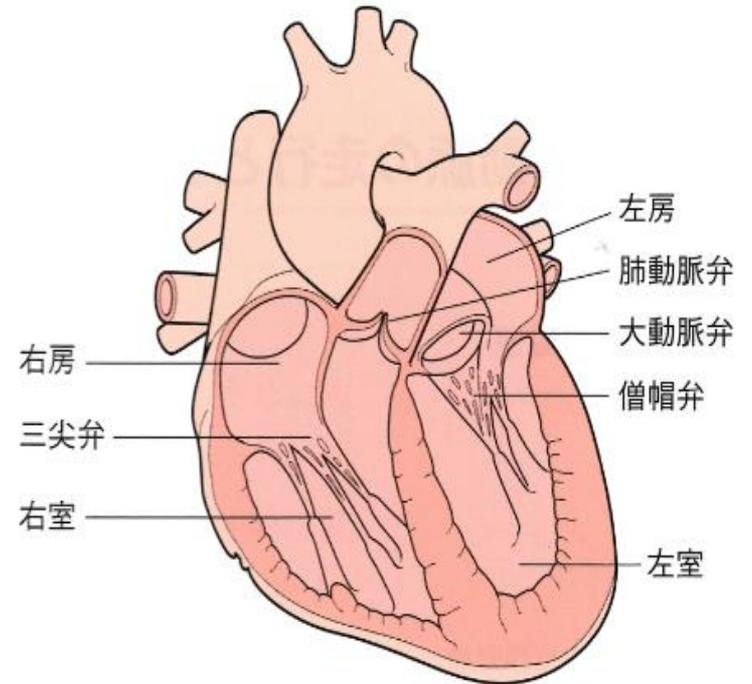
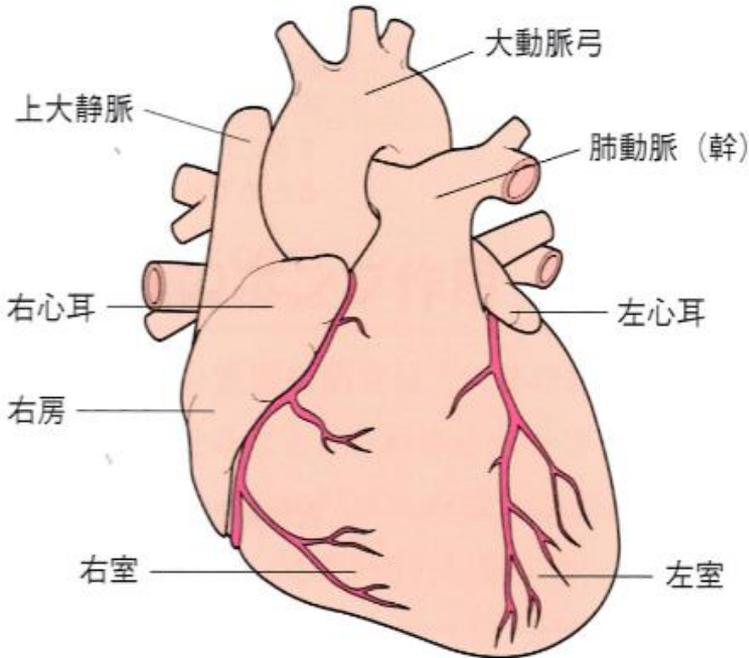


- **機能と解剖**
- **冠動脈の画像解剖と評価**
- **左心カテ**
- **右心カテ**
- **先天性心疾患**



# 解剖

## 心臓の構造



Tokyo-kita Medical Center

# 解剖・生理

---

## 役割

- 右心房

上大静脈と下大静脈がつながっており、**三尖弁**を介して静脈血を右心室へ送る。

- 右心室

右心房からの静脈血を受け入れ、心筋の収縮とともに**肺動脈弁**を介して肺動脈に送る。

- 左心房

開口している左右4本の肺静脈から、肺で二酸化炭素と酸素を交換し終えた動脈血が流れ込み、**僧帽弁**を介して左心室へ送る。

- 左心室

左心房からの動脈血を受け入れ、心筋の収縮とともに**大動脈弁**を介して上大動脈に送る。



# 解剖・生理

---

- 胸骨と第2～6肋骨の背面に存在する。
- 大きさは握り拳大、重量は成人でおよそ**250～300g**。
- 上端を**心底**、下端を**心尖**を呼ぶ。
- 心筋の**酸素摂取量は全体の約10%**で酸素摂取率が高い。
- 心拍数: 安静時 **約60～80回/分**
- 拍出量(心拍数×1回拍出量、心拍数↑⇒心拍出量↑): **70～80ml/1回 ,5ℓ/min**

**体循環**: 動脈血を**左心室**から全身の組織に送り出され、細胞から炭酸ガスや老廃物を受け取り静脈血となり大静脈を経て**右心房**に還元してくるまでの循環  
(左室⇒動脈系⇒各組織⇒静脈系⇒右房)

**肺循環**: 右心室から肺動脈を通り、毛細血管網および肺胞でガス交換を行ったのち、肺静脈に入り**左心房**へ帰る循環  
(右心房⇒右心室⇒肺動脈⇒肺⇒肺静脈⇒左心房)



# 解剖・生理

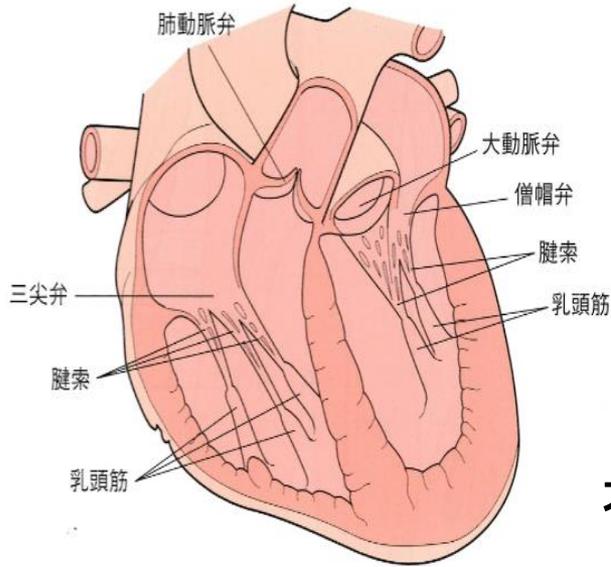
---

- 心臓は**横紋筋**かつ**不随意筋**。
- 固有心筋と特殊心筋に分類される。
- 心耳は心房が退化した部分、内部に**櫛状筋**が存在する。
- 心室内において乳頭筋は**腱索**によって**房室弁**と連絡している。  
(→**大動脈弁**と**肺動脈弁**は**腱索**と**乳頭筋**につながない)
- 腱索は房室弁が心房内に反転しないように支える役割がある。
- 左室壁厚は右室壁厚に比べ、**4倍**厚い。
- 僧帽弁は2つの弁尖から、それ以外はすべて3つの弁尖から成り立つ。

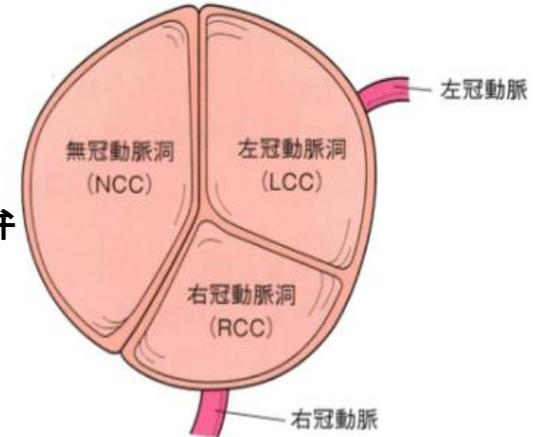
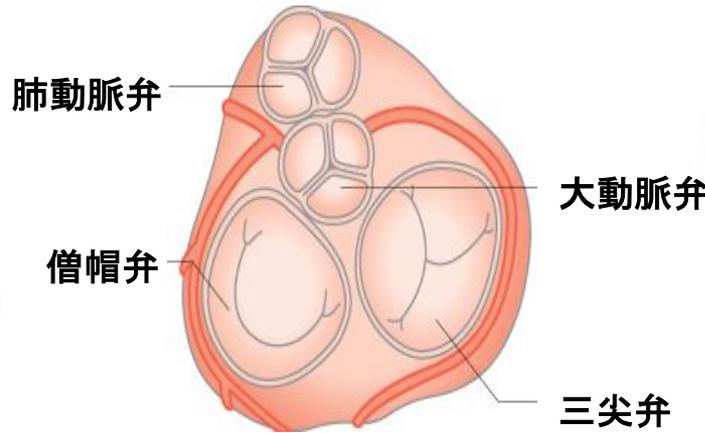


# 解剖

## 心臓の弁



上から見た断面図



大動脈弁 左冠尖(左半月弁)  
右冠尖(右半月弁)  
無冠尖(後半月弁)  
弁口面積: 2.6~3.6cm<sup>2</sup>

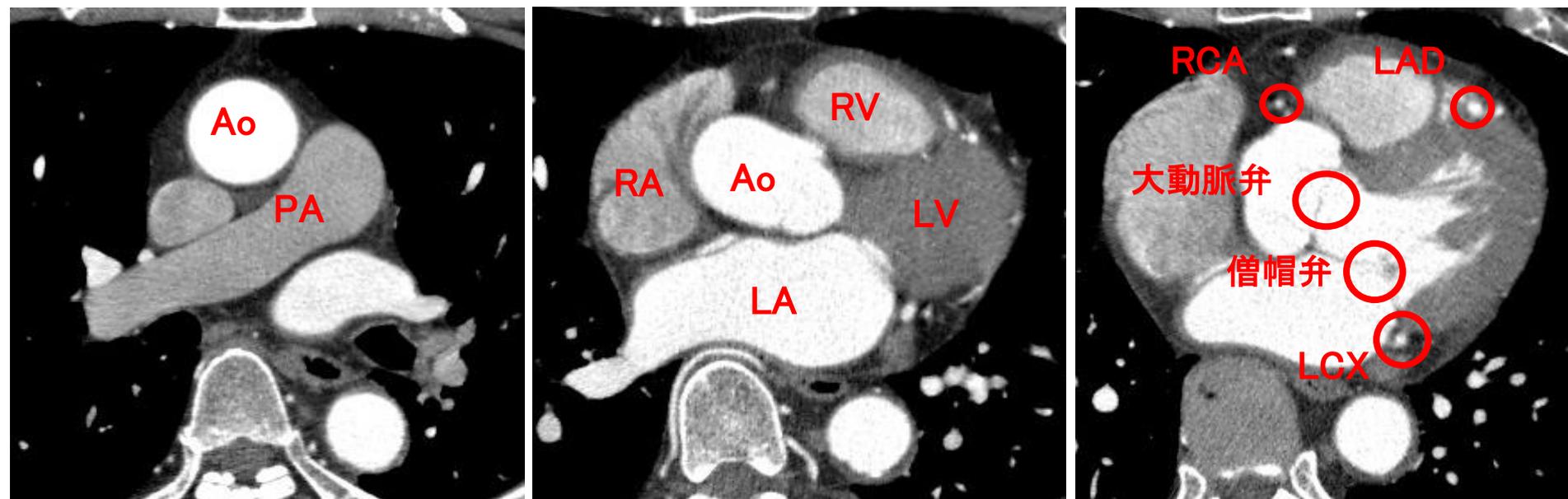
僧帽弁 前尖  
後尖  
弁口面積: 4.0~6.0cm<sup>2</sup>

肺動脈弁 左尖(左半月弁)  
右尖(右半月弁)  
前尖(前半月弁)

三尖弁 前尖  
後尖  
中隔尖

Tokyo-kita Medical Center

# 解剖(位置関係)

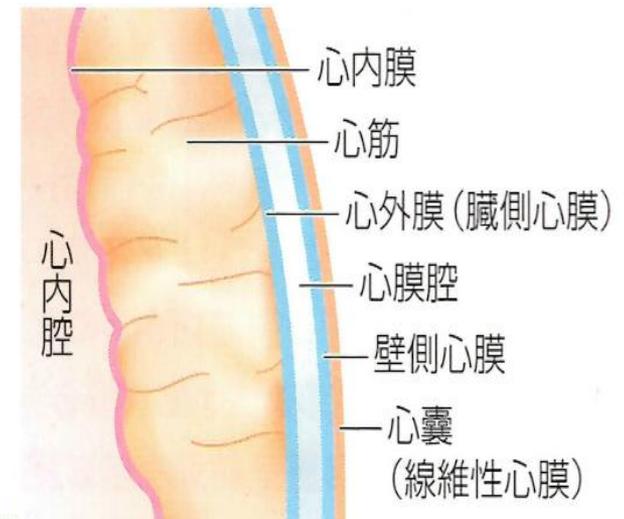


- 肺動脈弁は大動脈弁よりも高位、かつ前方に位置する。
- 心尖は左前下方を向いている。
- 左右の冠動脈は大動脈の膨大部(Valsalva洞)から分岐する。
- 右心系は左心系の前方に位置する。
- 心臓の静脈の多くは冠静脈洞(Coronary Sinus)に合流し、右房に流入する。



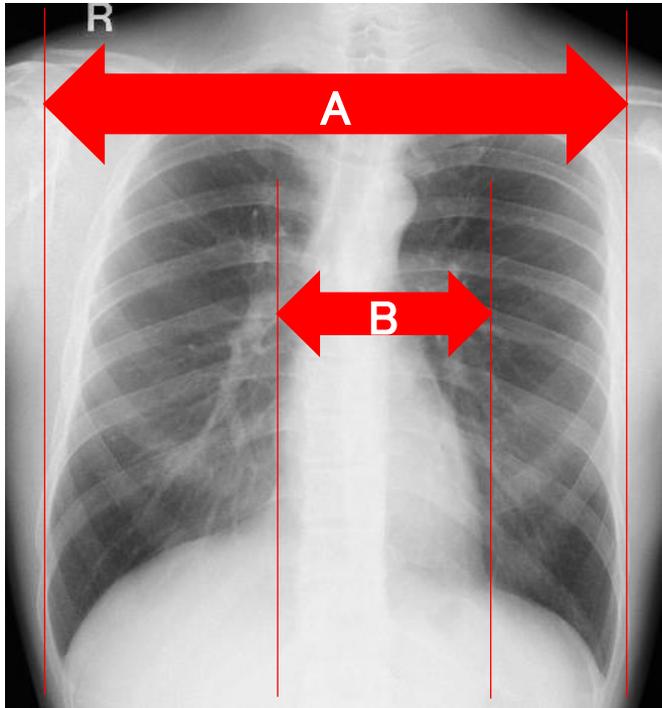
# 解剖・生理

- 心室の中隔以外の部分を**自由壁**という。
- 心房で**二層**、心室で**三層**である。
- 心臓の内側から  
**心内腔⇒心内膜⇒心筋⇒心外膜⇒心膜腔⇒壁側心膜⇒心嚢**
- 心膜の繊維組織は**大動脈・肺動脈の外膜**に融合して強く結合する。  
心膜の前方で**胸骨**に、後方で**脊柱**、下方で**横隔膜**に強く結合する。



# 胸部単純X線写真

## 心胸郭比(CTR)



## 心胸郭比

Cardio Thoracic Ratio: **CTR**

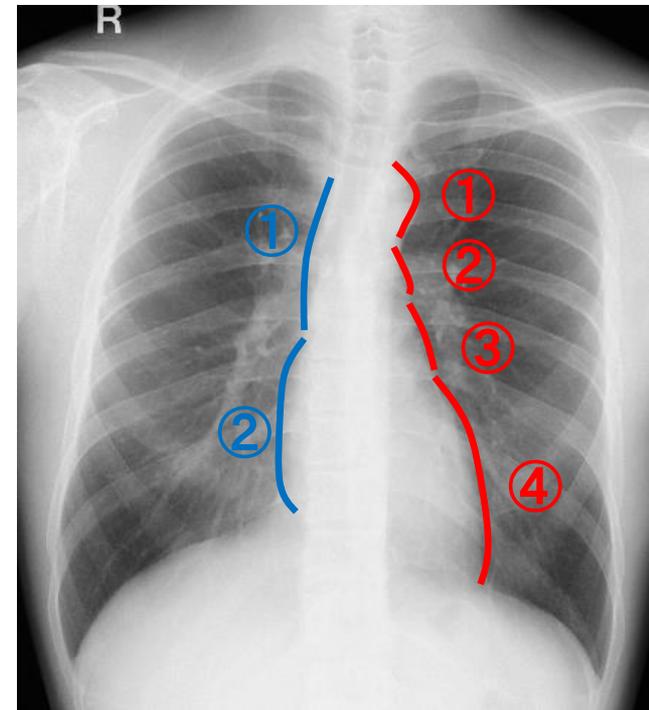
$$CTR = B/A \times 100[\%]$$

正常値 **50%未滿**

## 心陰影の弓

- ①左第一弓 大動脈弓
- ②左第二弓 肺動脈
- ③左第三弓 左心耳
- ④左第四弓 左心室
- ①右第一弓 上大静脈
- ②右第二弓 右心房

## 心陰影の弓



Tokyo-kita Medical Center



# 解剖・生理

- 動脈は内側から**内膜**、**中膜**、**外膜**から構成される(静脈も3構造)。
- 内膜と中膜の境界には**内弾性板**、中膜と外膜の境界には**外弾性板**が存在する。

## 内膜

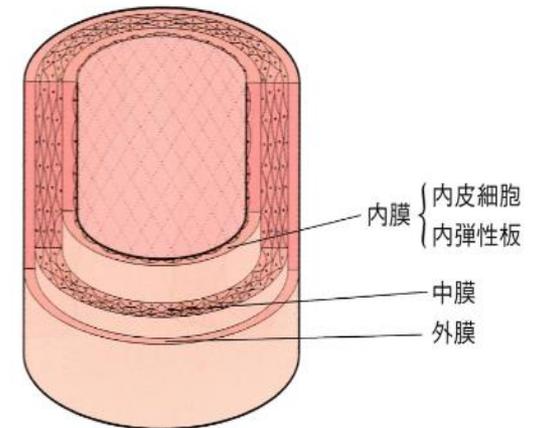
- 直接血液と接する内腔表面には内皮細胞が配列され、血液と常に接し血液のいろいろな成分や物質の取り込み、止血・血栓、血管の収縮・弛緩などに重要な調節的な役割を示す。

## 中膜

- 血管の収縮・弛緩を調節する平滑筋細胞が主な構成

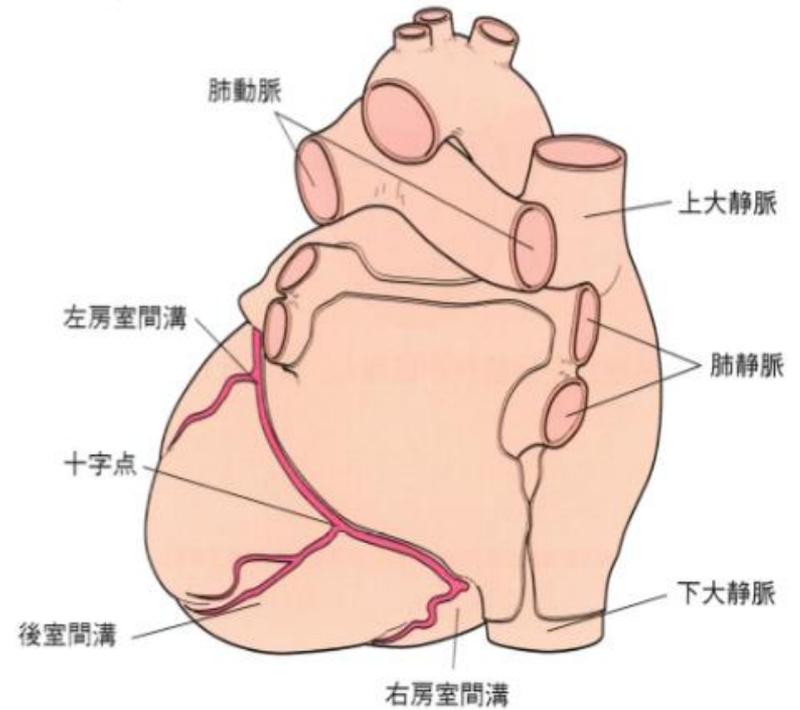
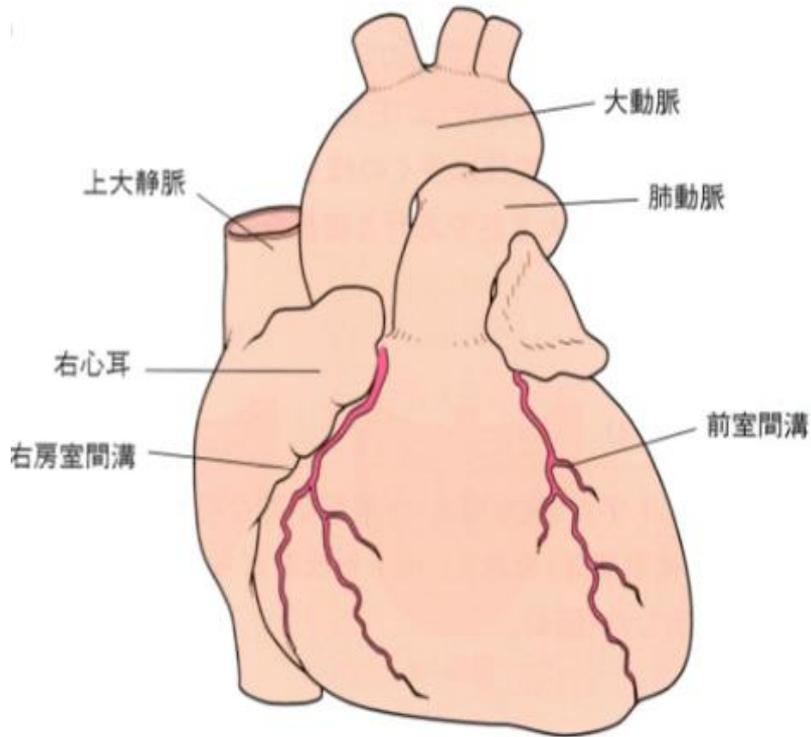
## 外膜

- 栄養血管や神経が入り込み、中膜の1/3を支配し、残り2/3は血管内腔を流れる血液から栄養される。



# 解剖

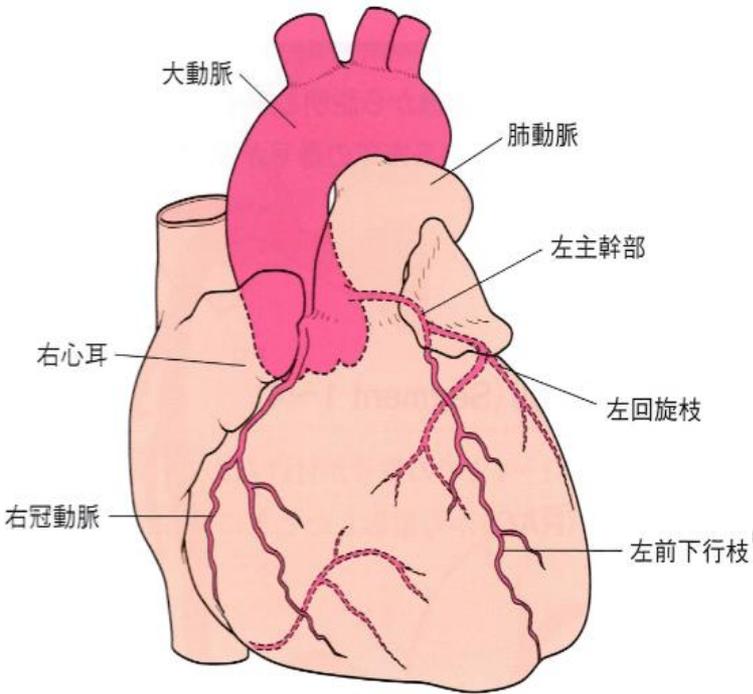
## 冠動脈の走行



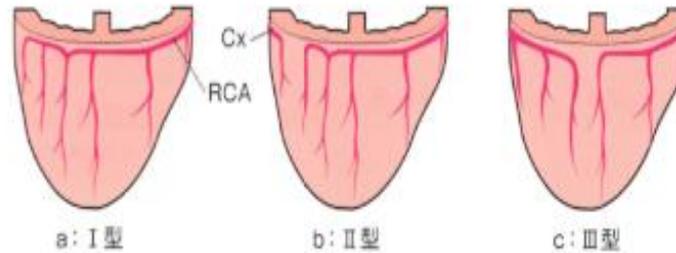
Tokyo-kita Medical Center

# 解剖

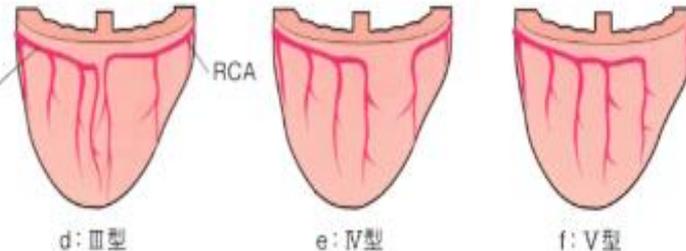
## 冠動脈の走行



Hambyによる右優位型 (Barnes分類のI・II型)



Hambyによる左優位型 (d, e) とバランス型 (f) (Barnes分類のIII~V型)



Barnesの分類

I型
右冠動脈が心臓の後面全体に及び、鈍縁に終わるもの(20%)
II型
右冠動脈が左室後下壁の半分までに及び、鈍縁は左冠動脈により灌流されるもの(54%)
III型
右冠動脈は下降枝で終わり、左室後下行枝は左冠動脈により灌流されるもの(14%)
IV型
右冠動脈は右室後壁に終わり、後下降枝まで左冠動脈が及ぶもの(4%)
V型
左冠動脈が全後壁に及び、鈍縁に終わるもの(8%)

Tokyo-kita Medical Cen

RCA : right coronary artery (右冠動脈)

CX : circumflex artery (回旋動脈)

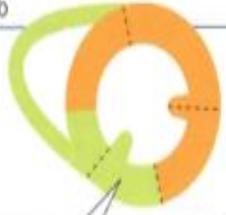
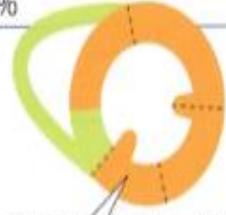
(語言正清: 冠動脈造影法, Sonos法の実際と造影像の読み方 改訂版, 医学書院, 1992, p33より改訂引用)

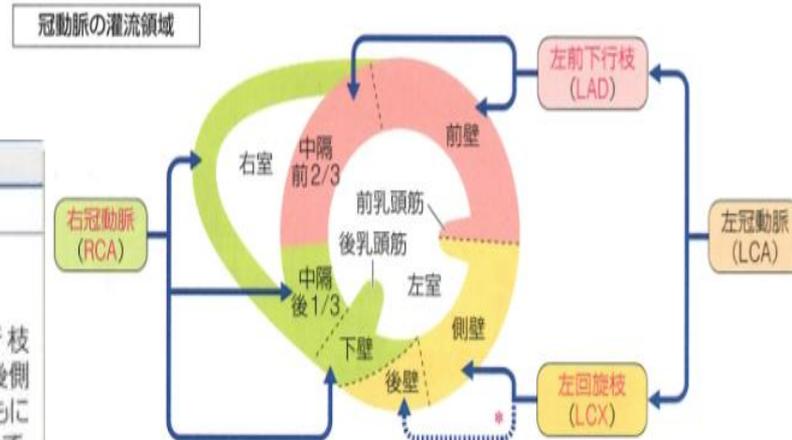
# 解剖

## 冠動脈の灌流領域

- 心室壁では、  
**LADが左室前壁と心室中隔前部を**  
**LCXが左室側壁と後壁を、**  
**RCAが左室下壁と心室中隔後部と右室を灌流している。**
- 洞房結節を灌流する洞結節枝(SN)は、60%の人はRCAから分岐するが、40%ではLCXから分岐する。  
 房室結節を栄養する房室結節枝(AVN)はほとんどがRCAから分岐する。

## 後下壁の灌流支配

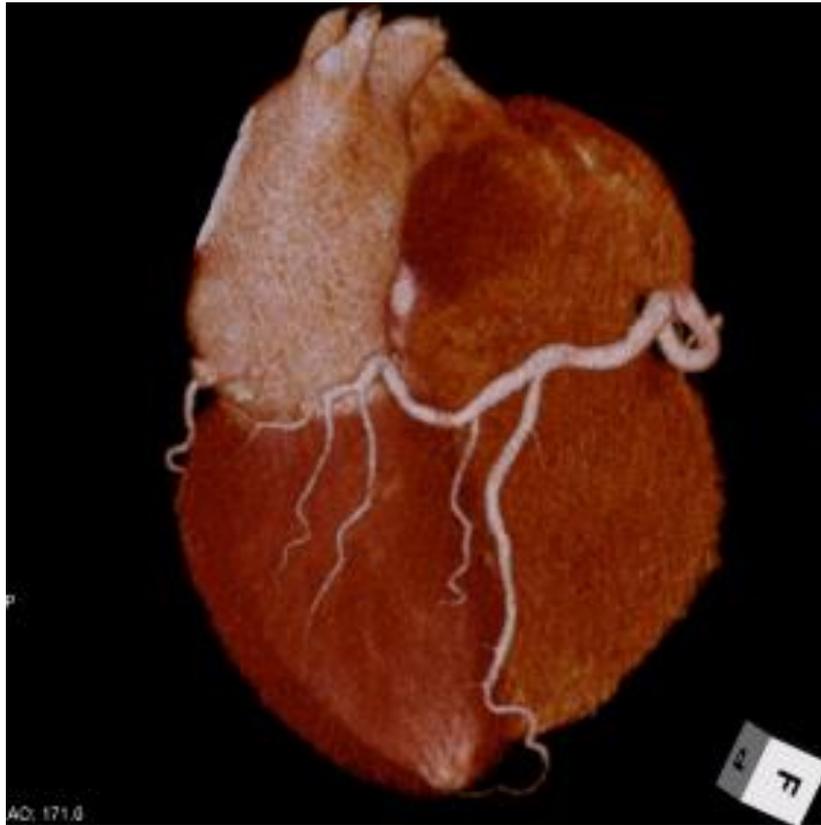
灌流支配の型	右冠動脈優位型	左冠動脈優位型	左右均衡型
割合	60%	30%	10%
特徴	 <p>●右冠動脈(RCA)からの後下行枝(PD)が後下壁を十分に灌流しているタイプ。</p>	 <p>●左回旋枝(LCX)からの分枝が発達していて、後下壁を灌流しているタイプ。</p>	<p>●RCAの後下行枝(PD)とLCXの後側壁枝(PL)がともにバランスを保って、後下壁を灌流しているタイプ。</p>



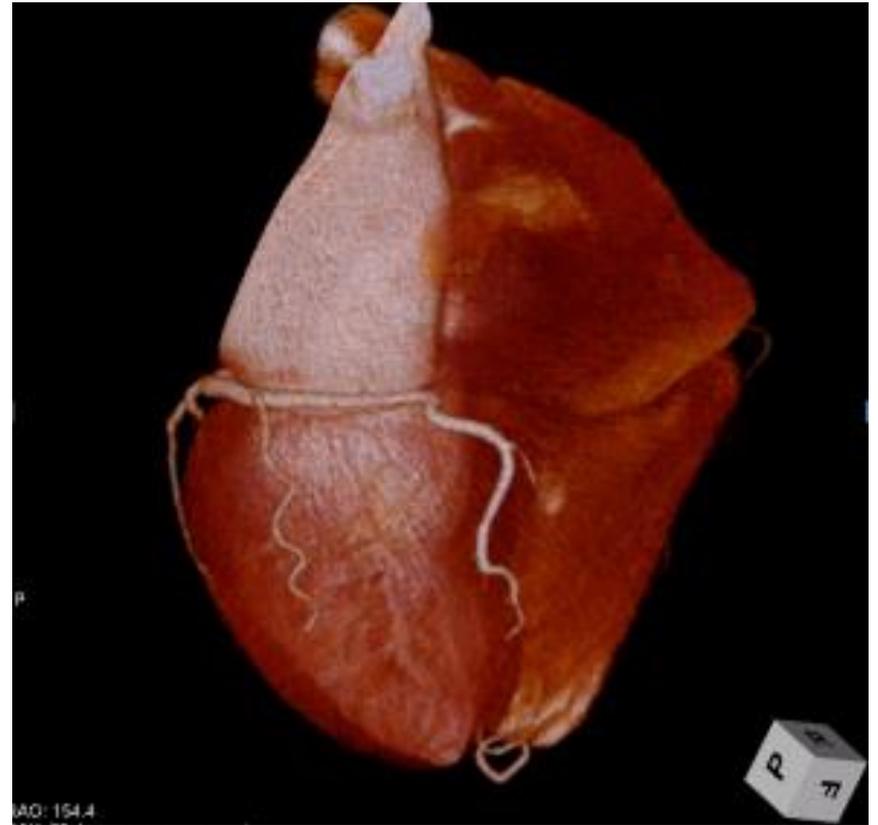
# 解剖

---

右優位型



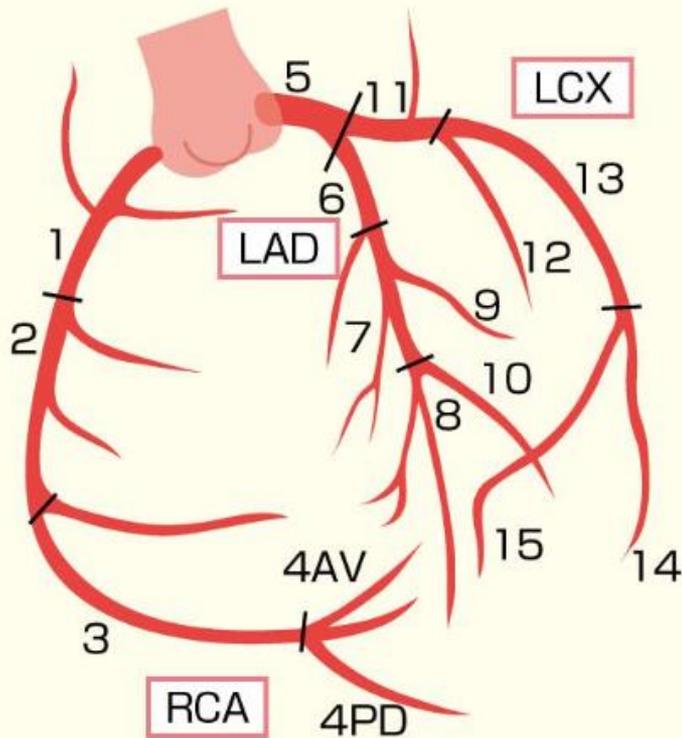
左優位型



# AHA分類

## AHA(American Heart Association)

AHA分類とは冠動脈の場所を番号で命名しているもの



右冠動脈 RCA  
1 2 3 4AV 4PD

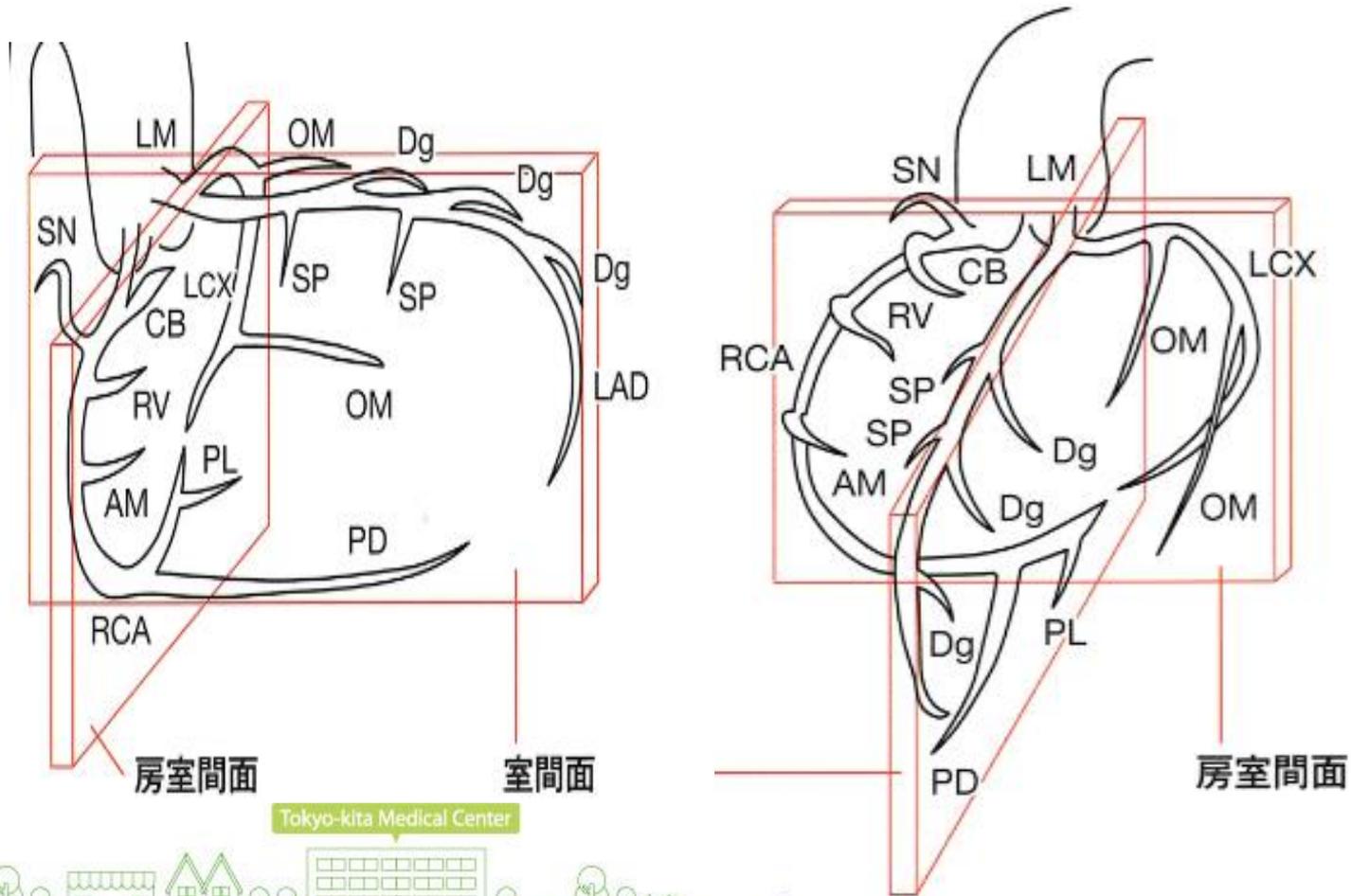
左冠動脈 LCA  
LMT(左主幹部) 5  
LAD(左前下行枝) 6 7 8 9 10  
LCX(左回旋枝) 11 12 13 14 15

冠動脈AHA分類 医学メモより引用

Tokyo-Kita Medical Center



# 室間面、房室間面での冠動脈の解剖



# 冠動脈の解剖(右冠動脈)

- Segment 1(#1 Proximal)

右冠動脈の入口から鋭縁部までを1/2にした上半分を

Segment 1 RCA Proximalという。

## 円錐枝(CB)

右冠動脈から派生する場合と大動脈から直接出ることがある。左前下行枝が閉塞の場合、側副血行路として養う場合がある。

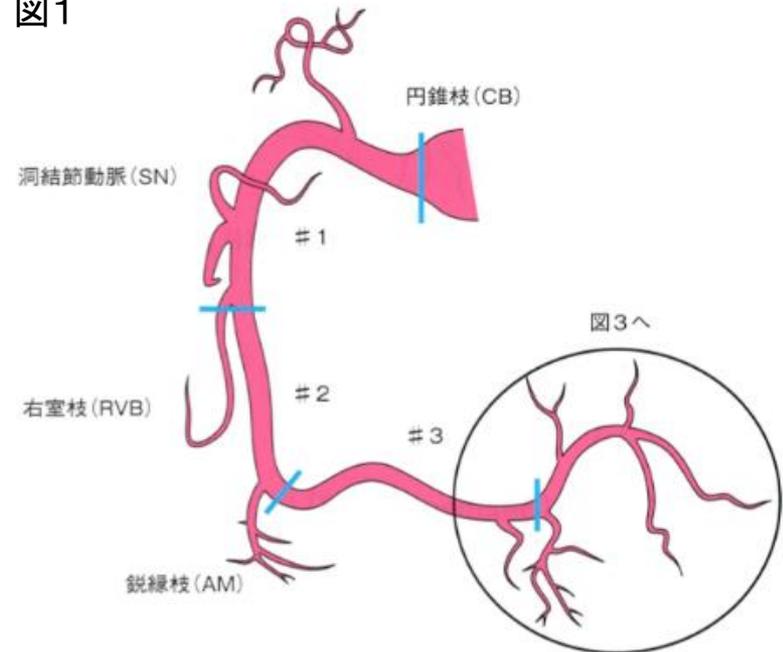
## 右室枝(RVB)

通常その1/2にした部位に派生することが多く、右室に前壁を養う。

## 洞結節動脈(SN)

刺激伝導系の洞結節を養う血管である。左回旋枝が養う場合もある。

図1



# 冠動脈の解剖(右冠動脈)

- Segment 2(#2:Middle)

右冠動脈の入口から鋭縁部までを1/2にした下半分を Segment 2 RCA middleという。

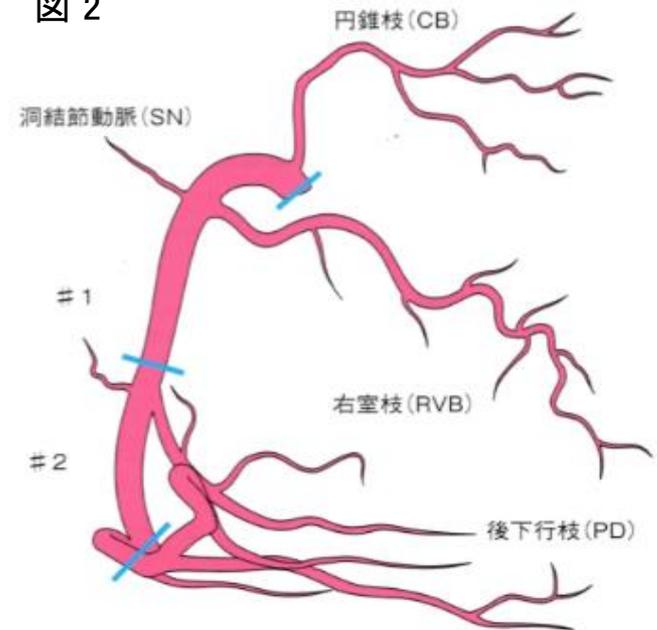
## 鋭縁枝(AM)

右室の鋭縁部より派生することが多く、右室の側壁を養い、左室の下壁を養う場合もある。

- Segment 3(#3:distal)

鋭縁部から後下行枝(PD)を分岐するまでをSegment 3 RCA distalという。

図 2



# 冠動脈の解剖(右冠動脈)

- Segment 4(#4AV・#4PD・#4PL)

後下行枝(PD)の分岐以降をSegment 4といい、  
#4AV・#4PD・#4PLの3つに分けられる。

## #4AV

刺激伝導系の房室結節を養う血管、房室結節動脈  
(AV node artery)を分岐するものをいう。

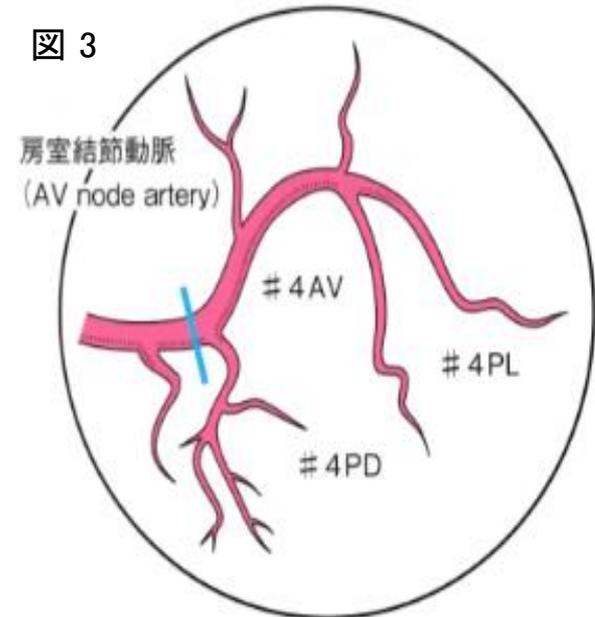
## #4PD

後下行枝(PD)は後室間溝に沿って走行するため、  
多くの中隔枝(SB)を分岐する。

## #4PL

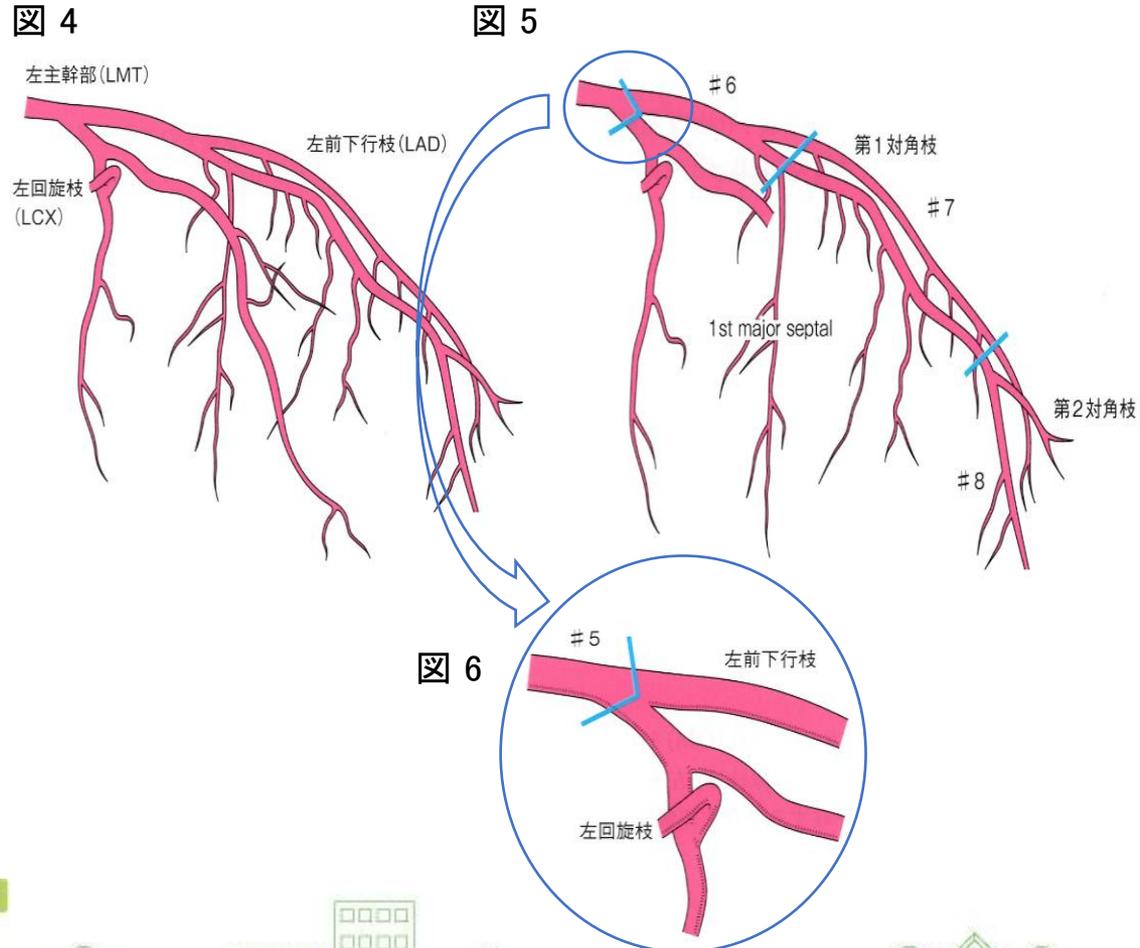
後側壁枝(PL)は後室間溝を越えた後に左室の後壁  
を養う枝で後下行枝(PD)との識別は、中隔枝(SB)  
を分岐するかしないかで決まる。

図 3



# 冠動脈の解剖(左冠動脈)

- **Segment 5 (#5:LMT)**  
左回旋枝(LCX)を分岐するまで。
- **Segment 6 (#6:Proximal)**  
一番大きな中隔枝(1<sup>st</sup> major septal branch)まで。
- **Segment 7 (#7:Middle)**  
#6から第2対角枝  
(2<sup>nd</sup> diagonal branch)が出るまで。
- **Segment 8 (#8:Distal)**  
#7から末梢まで
- **Segment 9(1<sup>st</sup> diagonal branch)**  
第一対角枝
- **Segment 10(2<sup>nd</sup> diagonal branch)**  
第二対角枝



# 冠動脈の解剖(左冠動脈)

- **Segment 11(#11:Proximal)**

鈍縁枝(OM:obtuse marginal branch)まで。

- **Segment 12(#12:OM)**

鈍縁枝。

#12鈍縁枝は、左室の側壁から心尖部までを養う枝で、近位部(高位)より分岐する場合を高側壁枝(HL)という。

- **Segment 13(#13:Distal)**

左主幹部より分岐後から#12を分岐するまでで、それ以降を#13 Distalと分類する。

- **Segment 14(#14:PL)**

左室の後側壁を養う。

- **Segment 15(#15:PD)**

左回旋枝から派生した場合の後下行枝で下壁を養う。

図 7

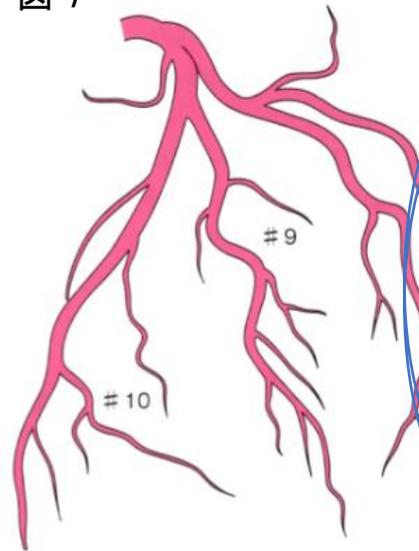


図 8

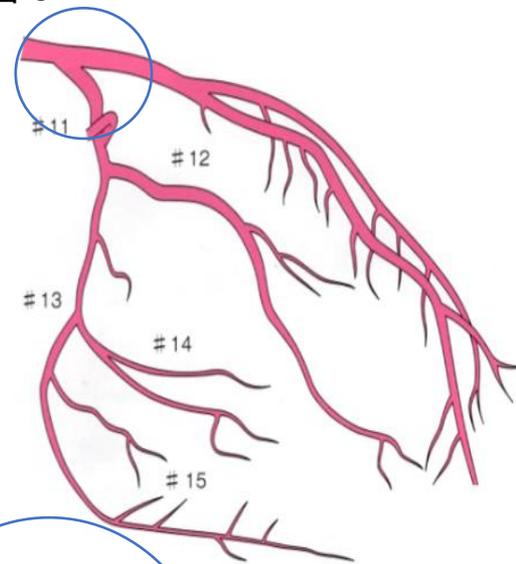
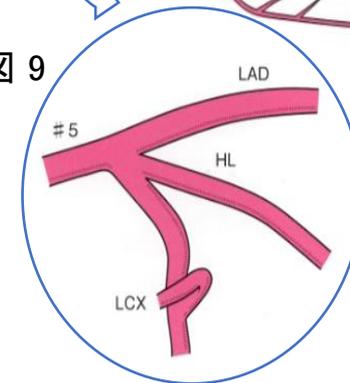
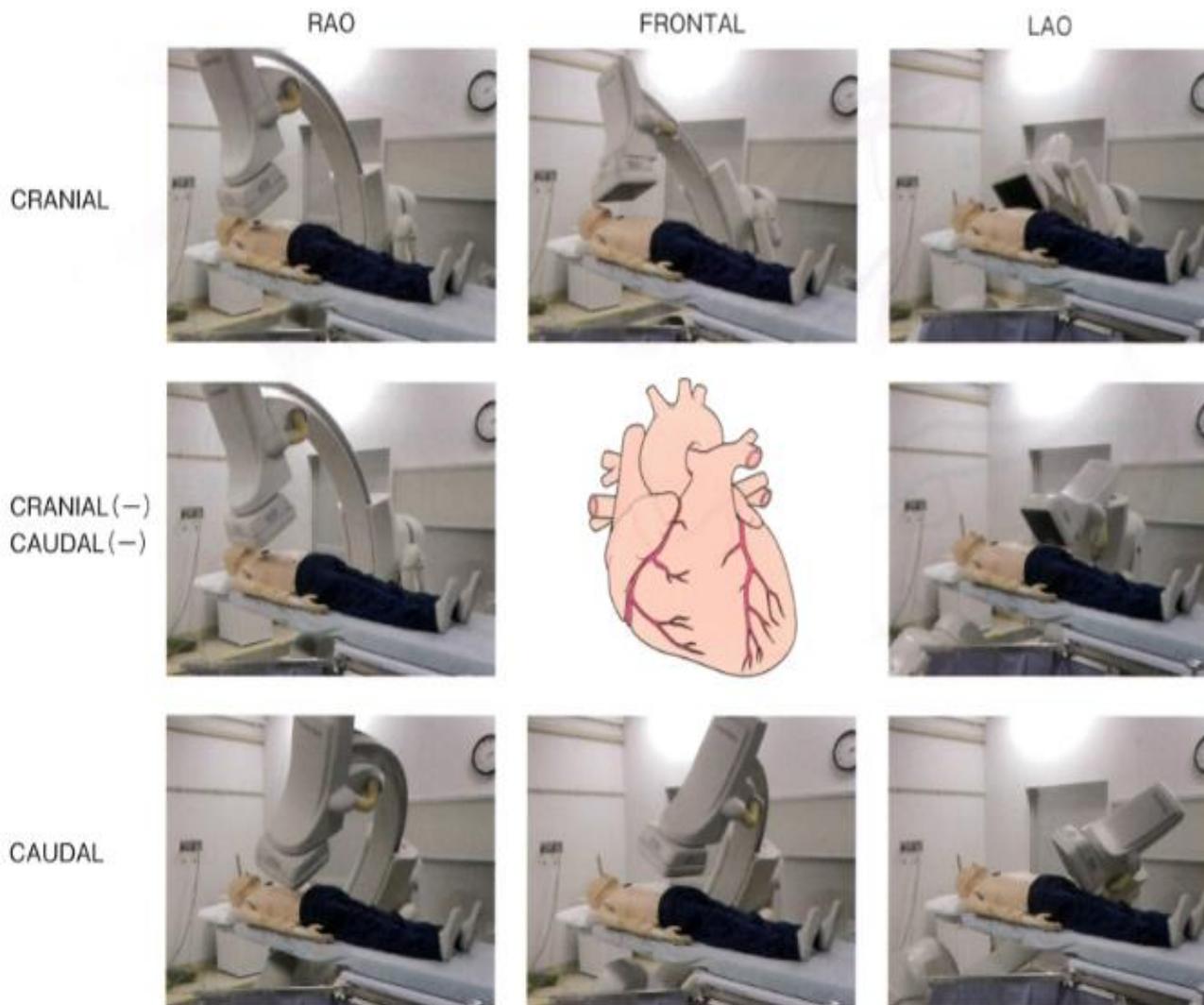


図 9



Tokyo-kita Medical Center

# 冠動脈の撮影方向



# 冠動脈の撮影方向(右冠動脈)

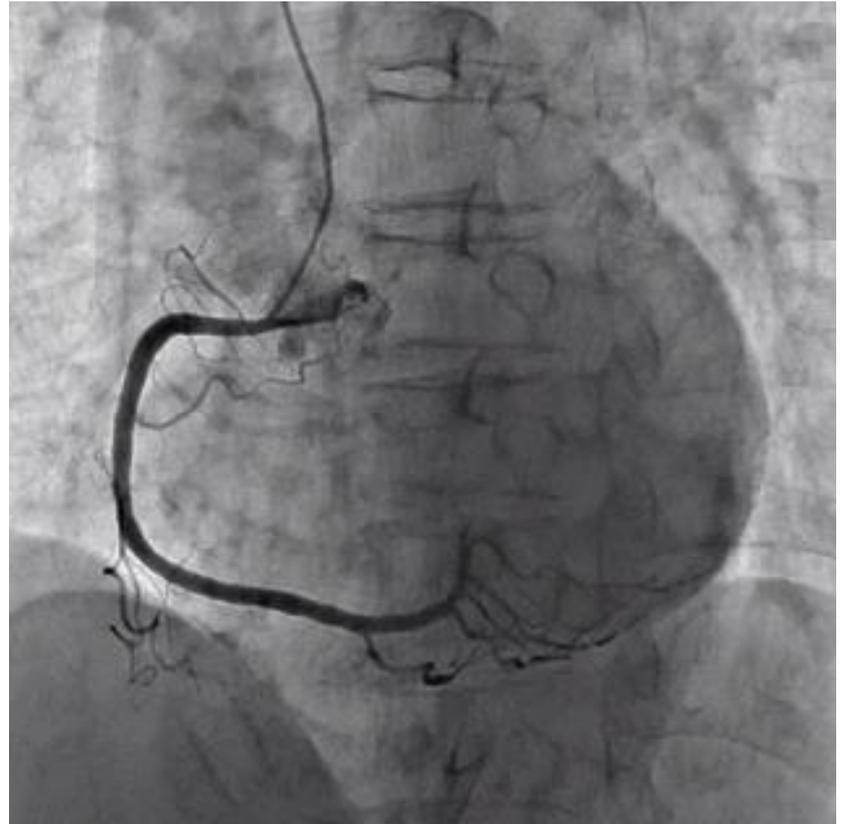
## RAO(右前斜位)



- **#1、2の観察に適している。そして右室枝、PD、円錐枝またはLADの側副血行路を観察しやすい。**
- **#3、4AVは見にくい。また心臓の拍動により左右に振られるため、PCI施行時、長時間の観察は不適。**

# 冠動脈の撮影方向(右冠動脈)

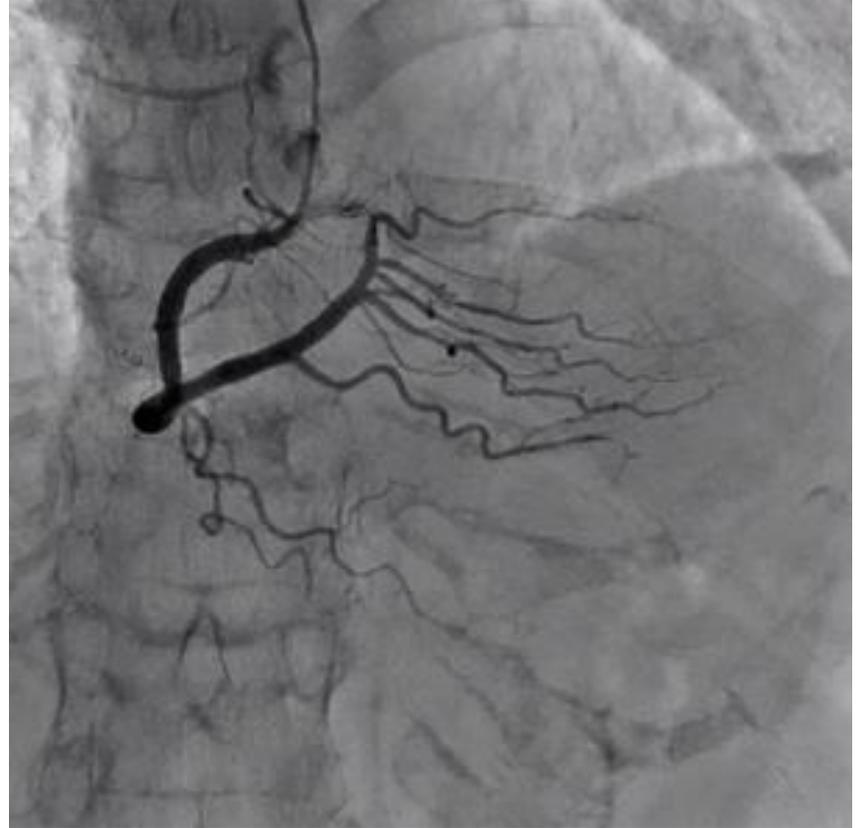
## LAO(左前斜位)



- 右冠動脈主幹部全景と#4PL、房室結節枝、洞結節枝など、**右冠動脈の大部分を観察**することができる。
- #4PDは右冠動脈の近位部の一部、#4PDは垂直方向に向かかって走行するため見にくい。

# 冠動脈の撮影方向(右冠動脈)

A→P Cranial



- 右冠動脈の遠位部本幹およびPD・PLの分岐の観察に適している。
- PCI施行時、右冠動脈のワイヤーのセレクトに用いられる。

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

## RAO(右前斜位)



- **左冠動脈の全体、中隔枝の観察に適している。**
- **対角枝の分岐、HLの観察はLADの本幹と重なることが多く、適さない。**

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

A→P Cranial



- **LADの近位部～遠位部、特に対角枝とLADの分岐部  
および対角枝の観察に適している。**
- **LCXの観察には適さない。**

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

A→P Caudal



- **LADの近位部およびLCX全体の観察に適する。**
- **対角枝の評価には適さない。**

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

## LAO Cranial



- **LAD全体、特にLADと対角枝の分岐部および対角枝の観察に適している。**

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

## RAO Cranial



- **LADの中位部から遠位部の観察**に適している。
- LCXの観察には不適當、LADの近位部でLCXと重なる場合は、**対角枝の観察ができない場合もある。**

# 冠動脈の撮影方向(左冠動脈)

## LAO Caudal



- **LMT、LAD、LCXの近位部の観察、およびLCX全体の観察に適している。**
- **対角枝の観察には適さない。**
- **この斜位を別名Spider Viewといい、心尖部より見た冠動脈造影像である。**

# 左心カテーテル

## 左心カテーテル

### 検査と評価

左心系の循環動態、左心室、大動脈、肺動脈、冠動脈などの形態・機能、血管造影

### 穿刺部位

橈骨動脈、上腕動脈、大腿動脈

### 使用カテーテル

ジャドキンス、ピッグテール、アンブラッツ



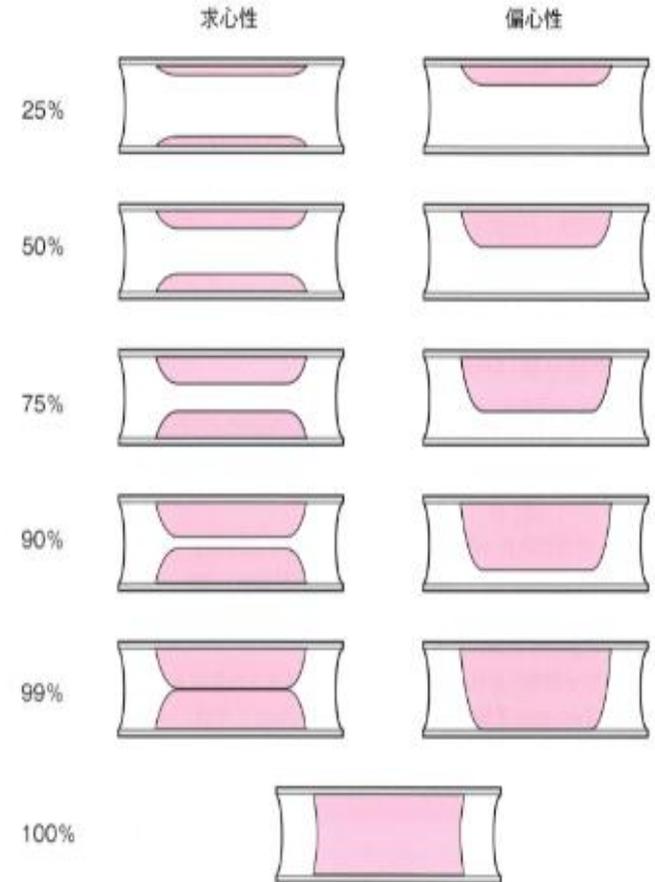
# 狭窄度分類

## 狭窄度

AHA分類では、狭窄度を視覚的に概算するための方法として、狭窄度や病変形態により分類される。  
**最も狭窄が強く見える造影像を7段階で評価する。**

0 %	狭窄がない
25 %	25%以下の狭窄
50 %	26～50%の狭窄
75 %	51～75%の狭窄
90 %	76～90%の狭窄
99 %	91～99%の狭窄
100 %	完全閉塞

有意狭窄



Tokyo-kita Medical Center

# 定量的冠動脈造影法(QCA)

## 定量的冠動脈造影法(QCA)

直接測定法(Caliper法)と濃度解析法(Densitometry法)、自動辺縁認識法(Edge detection)がある。

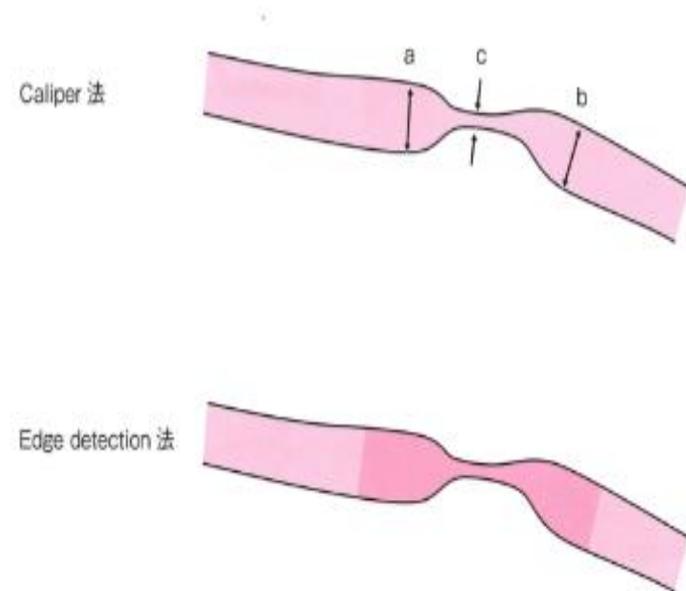
### 直接測定法(Caliper法)

造影上、正常と思われる狭窄の前を対象血管径としてその割合を計算して表す。

$$(1 - 2c/a+b) \times 100[\%]$$

### 自動辺縁認識法(Edge detection法)

血管の辺縁部の濃度曲線より描出し判定する方法。



# TIMI分類

---

## TIMI: Thrombolysis In Myocardial Infarction

- 冠動脈の灌流状態を評価する分類

Grade0: **完全閉塞**で順行性血流を認めない。

Grade1: **明らかな造影遅延**があり、末梢まで造影されない。

Grade2: **造影遅延を認める**が、末梢まで造影される。

Grade3: 末梢まで**正常に造影**される。



# Rentrop分類(側副血行路の評価)

---

**Rentrop分類** 側副血行路の冠動脈造影による評価法。

- Grade0: 閉塞血管の閉塞部位より先がまったく造影されない。
- Grade1: 閉塞血管の閉塞部位より先は造影されないが、側副血行路は造影される。
- Grade2: 閉塞血管の閉塞部位より先が一部造影されるが、完全に末梢まで造影されない。
- Grade3: 閉塞血管の閉塞部位より先が完全に造影される。

側副血行路  
(collateral flow)

冠動脈に高度狭窄または閉塞が起こると、虚血部位に新たな循環を生じることにより虚血を改善しようとする機構が働く。この新たに出現する循環を側副血行と呼ぶ。各冠動脈間(inter-coronary)あるいは同一冠動脈内(intra-coronary)に潜在的に存在(ブリッジコラテラル)する。

tokyo-kita medical center



# Myocardial Blush Grade

---

## Myocardial Blush Grade

- 造影剤によるすりガラス様の**心筋染影(blush)**による心筋灌流を評価法。

Grade0: 冠動脈造影後に**心筋濃染がない**。

もしくは心筋濃染が持続して造影剤が血管外に漏れる場合。

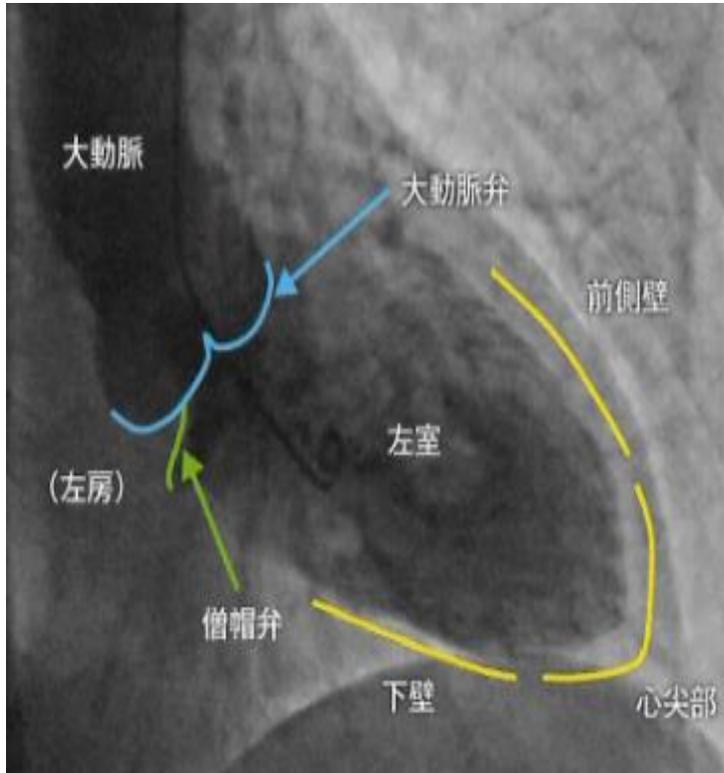
Grade1: 造影後に**心筋濃染がわずかにみられる**。

Grade2: 造影後**中等度の心筋濃染がある**が、対側か同等の非責任梗塞血管と比べて造影後の心筋濃染が薄い。

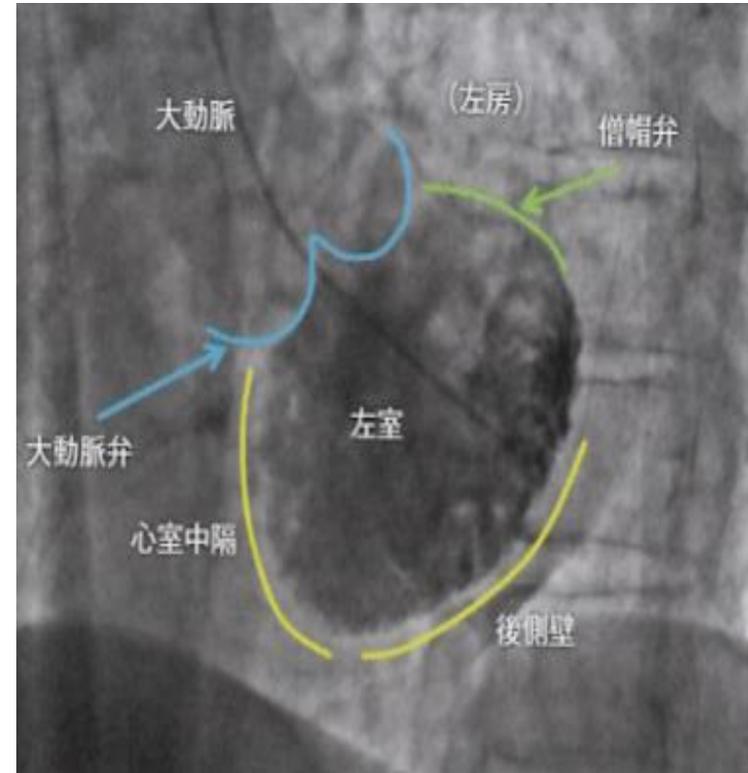
Grade3: **正常な心筋濃染**を示す。



# 左室造影(LVG)



RAO 30° view

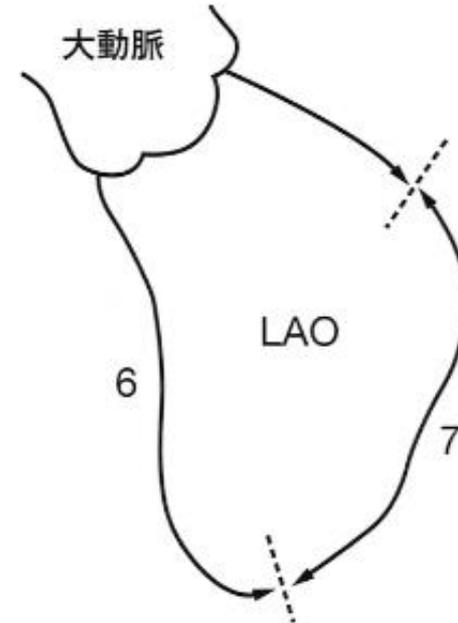
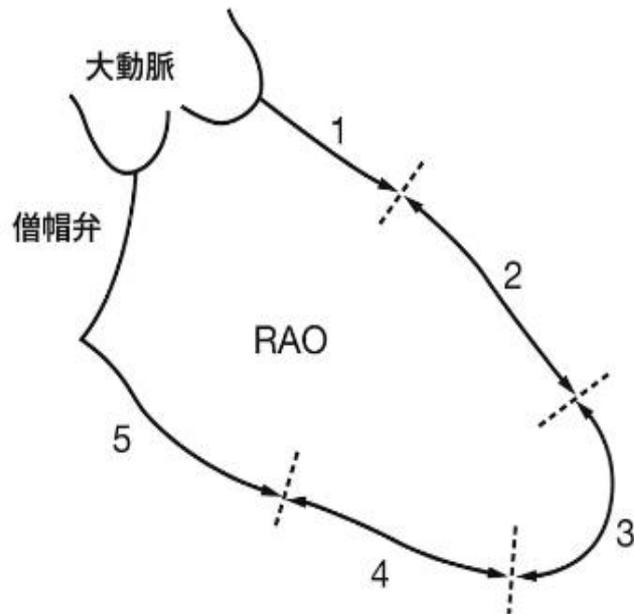


LAO 60° view

Tokyo-kita Medical Center

左室造影: 左室容積の計測、左室壁運動の評価のほか、  
僧帽弁閉鎖不全症の重症度判定など行う。

# AHA分類による左心室壁区分



**Segment 1 前壁基部**

**Segment 2 前壁側**

**Segment 3 心尖部**

**Segment 4 横隔膜面**

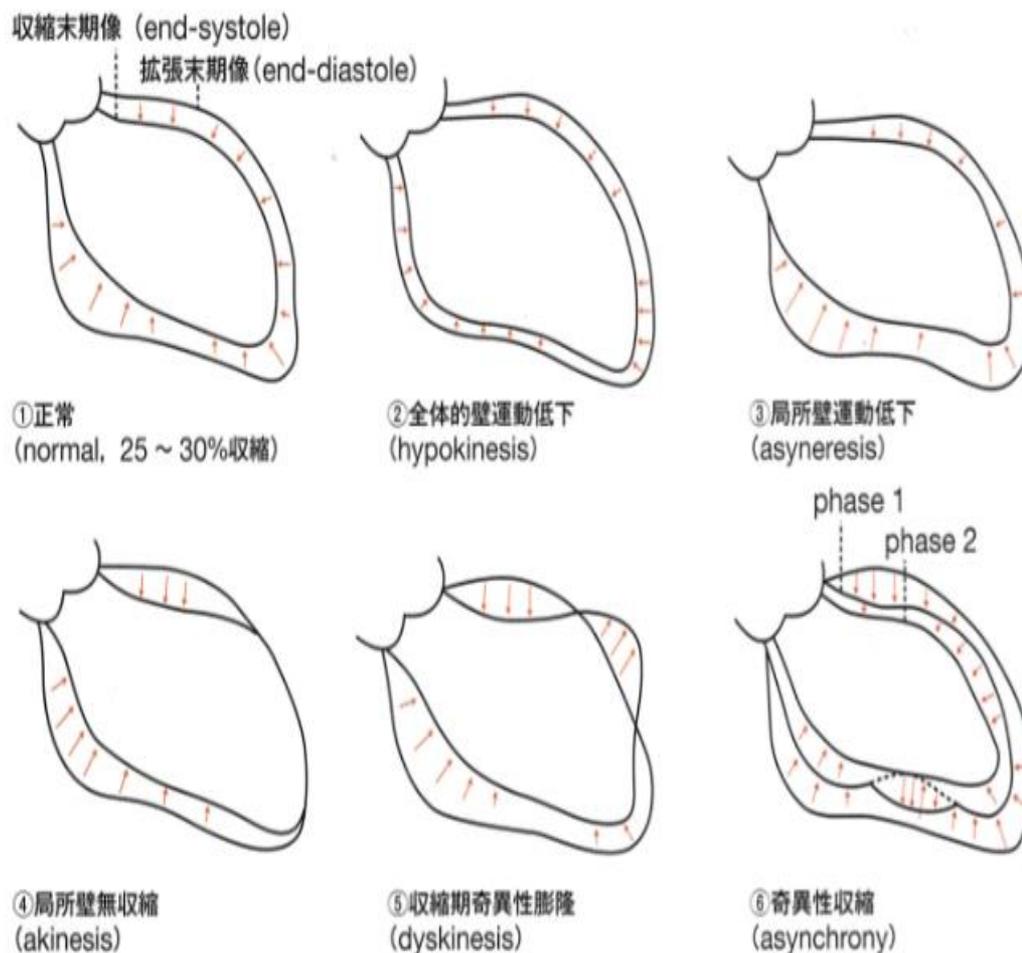
**Segment 5 後壁基部**

**Segment 6 心室中隔**

**Segment 7 後壁側**

Tokyo-kita Medical Center

# Herman分類(壁運動の評価)



Hermanの分類による壁運動の評価

# 左室容積の計測法

## 左室造影から求められる計測値

①左室拡張末期容積(left ventricular end-diastolic volume:LVEDV)  
左室拡張末期容積係数(left ventricular end-diastolic volume index:LVEDVI)

②左室収縮末期容積(left ventricular end-systolic volume:LVESV)  
左室収縮末期容積係数(left ventricular end-systolic volume index:LVESVI)

LVEDVI=LVEDV/体表面積(body surface area:BSA):正常値50~95mL/m<sup>2</sup>

LVESVI=LVESV/体表面積(BSA):正常値20~35mL/m<sup>2</sup>

③一回拍出量(Stroke Volume:SV)

SV=LVEDV-LVESV:正常値60~130mL

④左室駆出率(Left Ventricular Ejection Fraction:LVEF)

LVEF=(LVEDV-LVESV)/LVEDV × 100(%):正常値60~70%

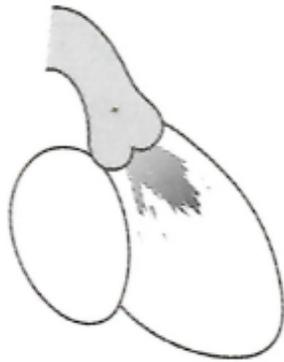


Tokyo-kita Medical Center

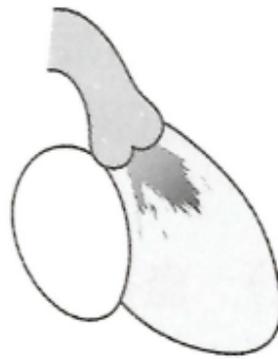
# Sellers分類(大動脈弁閉鎖不全症)

## 大動脈弁閉鎖不全症のSellers分類

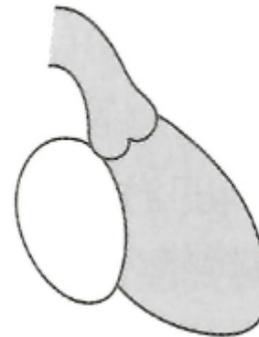
- I 度: **ジェット状の逆流**がみられ、**収縮ごとに左室の造影剤が消失する。**
- II 度: **左室全体が淡く造影**される。
- III 度: **左室と大動脈が同程度に造影**される。
- IV 度: **左室が大動脈よりも濃く造影**される。



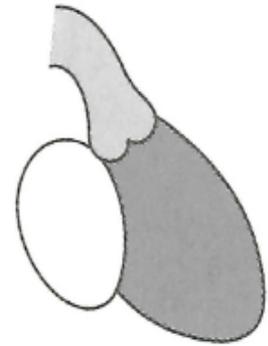
I 度



II 度



III 度



IV 度

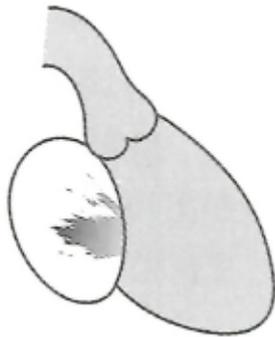
### 上行大動脈造影の評価

- 上行大動脈造影により、**胸部大動脈瘤**や**Marfan症候群**にみられる**AAE(大動脈弁輪拡張症)**などの**診断が可能**

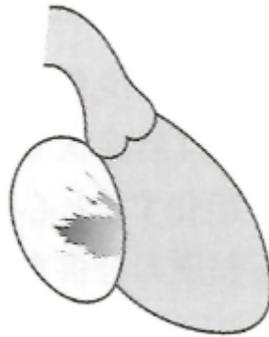
# Sellers分類(僧帽弁閉鎖不全症)

## 僧帽弁閉鎖不全症のSellers分類

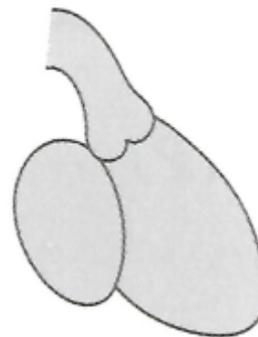
- I度: **ジェット状の逆流**がみられ、**左房がわずかに造影される**が速やかに消失する。
- II度: **数拍後に左房全体が造影される**。
- III度: **左房と左室が同程度に造影される**。
- IV度: **左房が左室よりも濃く造影され、肺静脈への逆流**もみられる。



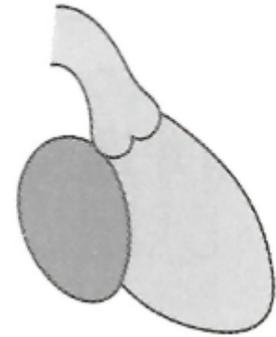
I 度



II 度



III 度



IV 度

# 右心カテーテル

## 右心カテーテル

### 検査と評価

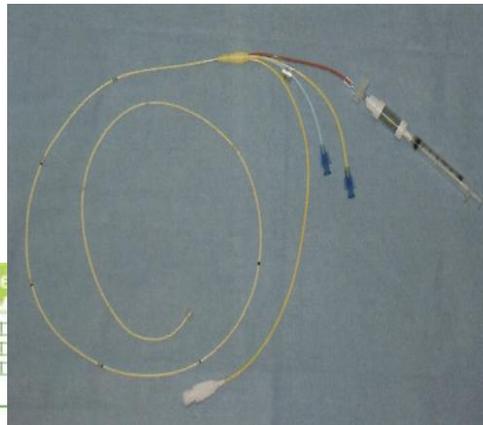
右心各部の血圧、酸素飽和度  
(血液中の酸素を運ぶヘモグロビンの割合)、  
心拍出量、心機能、血管造影

### 穿刺部位

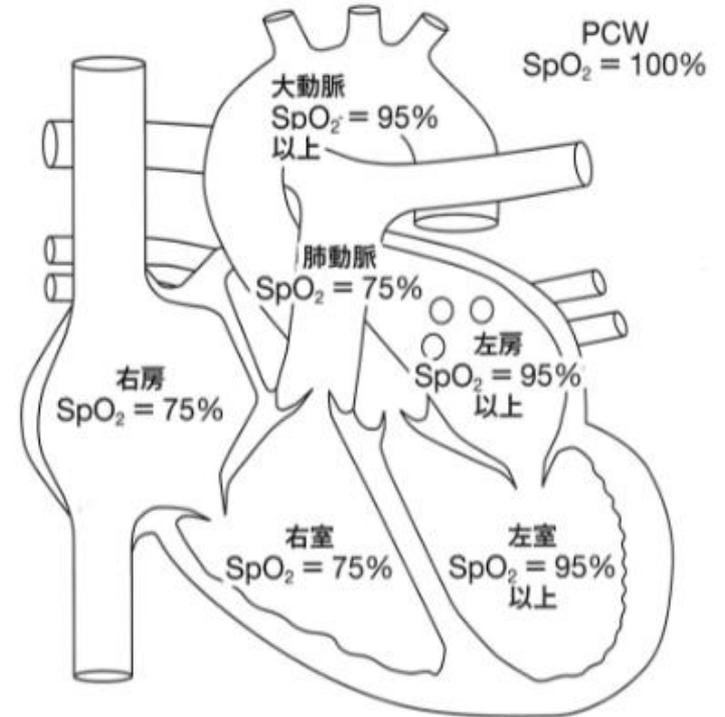
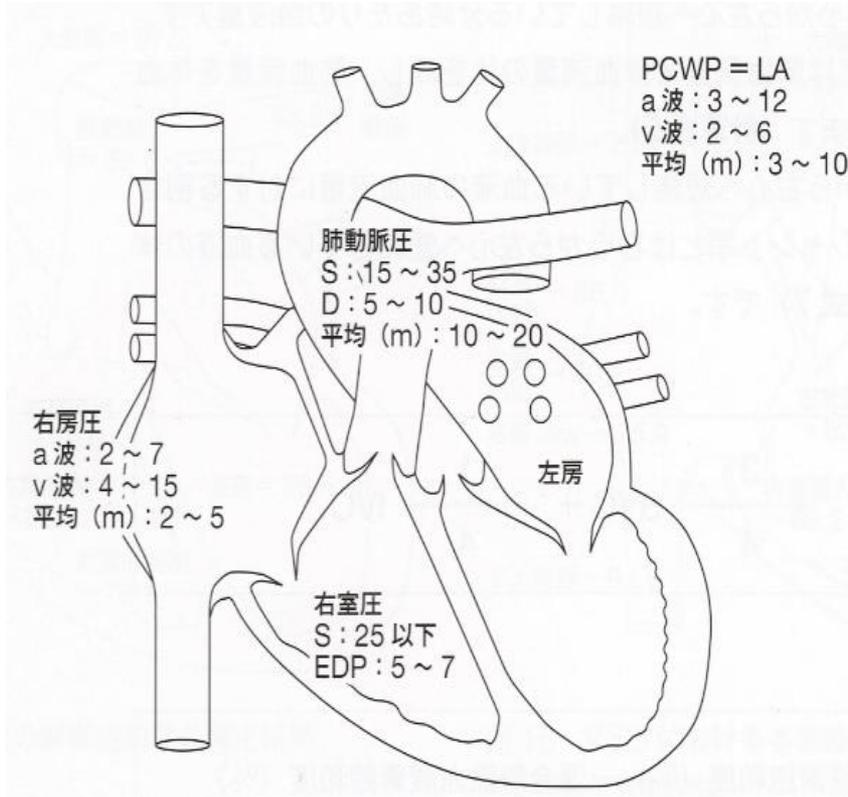
内頸静脈、鎖骨下静脈、尺側皮静脈、  
大腿静脈

### 使用カテーテル

Swan-Ganzカテーテル



# 心内圧と酸素飽和度

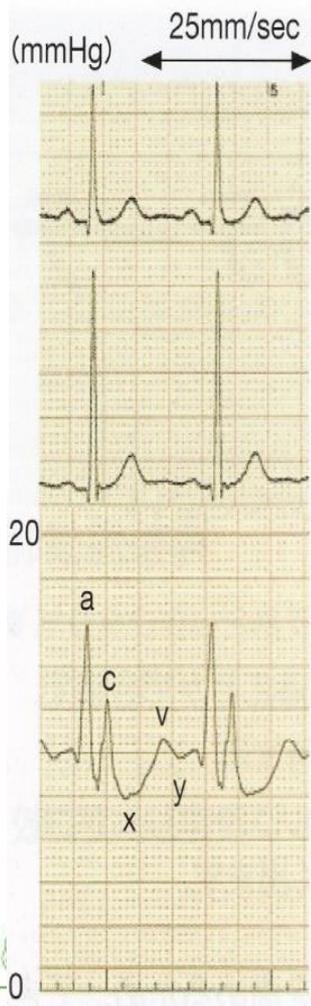


Tokyo-kita Medical Center  
心内圧正常値

酸素飽和度正常値

# 心内圧(右房圧 Right Atrial Pressure : RAP)

## 右房圧 正常パターン



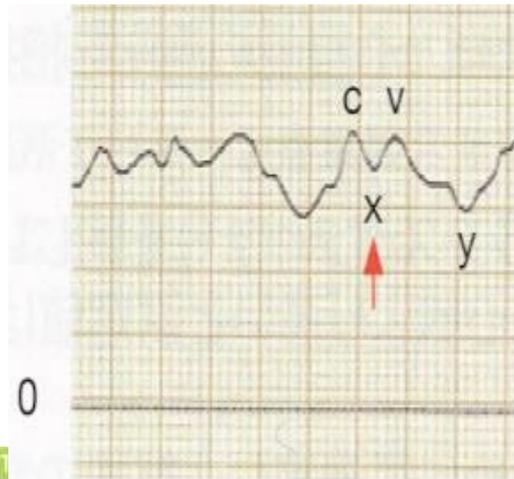
心房の圧波形はa、c、vの陽性波で構成される。

a波: 心房の収縮によって心房内圧が増大するために生じる波形

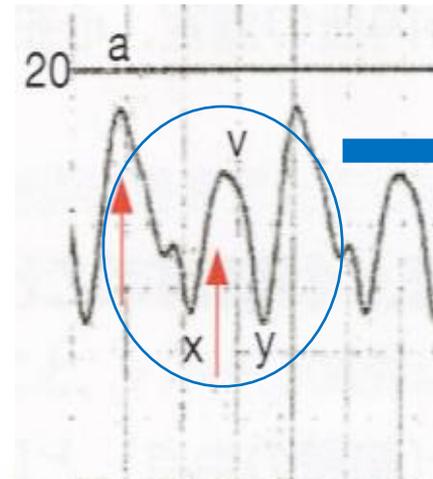
V波: 心房の弛緩によって生じる波形

心電図P波より約80msec遅れた付近にピークを有する。

- a波は心房細動、心房粗動で消失する。また房室弁狭窄や肺高血圧症、心室拡張気圧が上昇する病態で増高する。
- v波は三尖弁閉鎖不全、僧帽弁閉鎖不全があると増高する。



右房圧(心房細動)

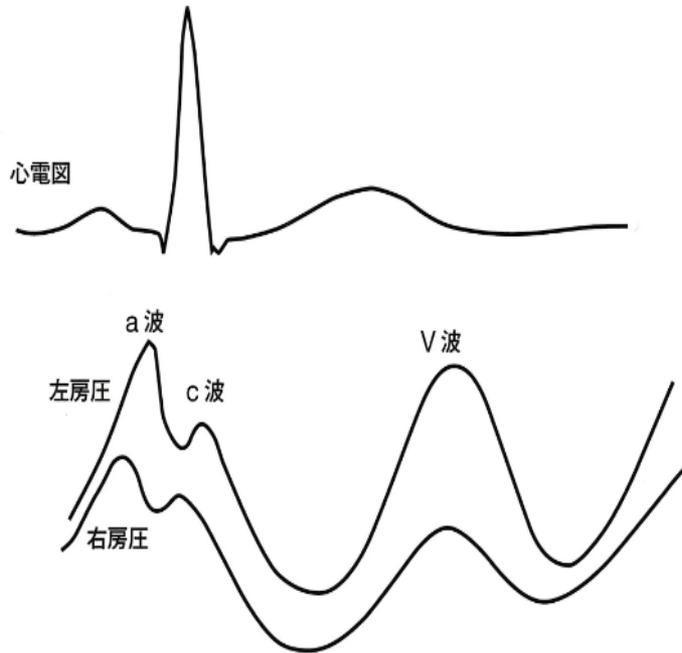


拡張期の充満が急速に行われるためy谷の下降部が強調されM型(W型)を示す

右房圧(収縮性心膜炎)

# 心内圧(左房圧 Left Atrial Pressure : LAP)

## 左房圧



左房圧は基本的には右房圧と同じ波形である。  
異なる点として、

- ① 右房より約10~20msec遅れて出現する。
- ② 平均圧が右房より2~3mmHg高い。
- ③ a波とv波はややv波の方が高い。

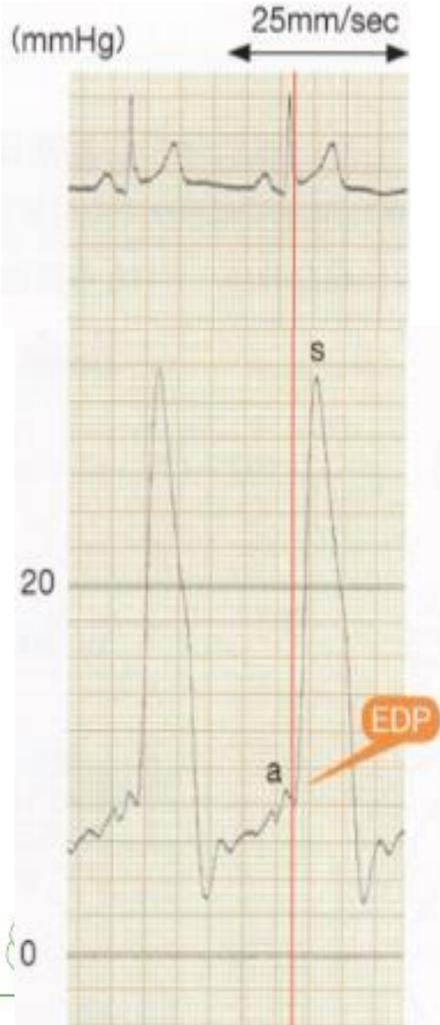
- 僧帽弁狭窄症で左房圧は上昇し、洞調律であれば、a波の著名な増高が認められる。僧帽弁閉鎖不全ではv波が増高する。

## 右房圧と左房圧の違い



# 心内圧(右室圧 Right Ventricular Pressure : RVP)

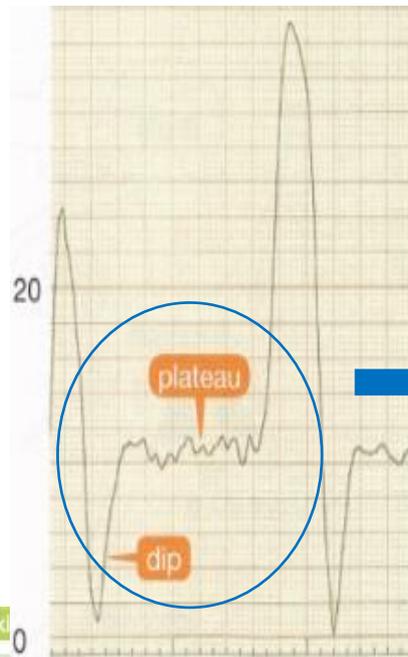
## 右室圧 正常パターン



## 拡張末期圧(End-Diastolic Pressure:EDP)

心室拡張が終了し、次の収縮開始の直前が心室拡張末期でこのときの圧を拡張末期圧(EDP)とよぶ。

- 心室前負荷の指標であり、EDPのレベルから心機能の評価が可能である。

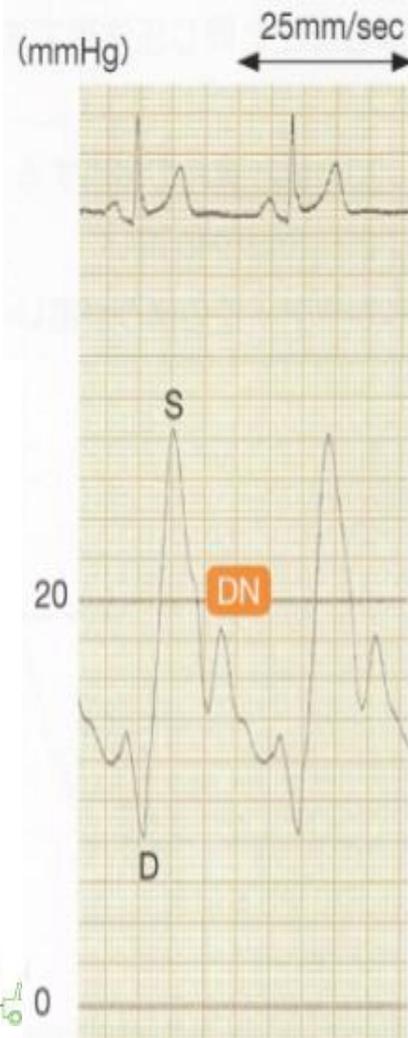


深い拡張期圧の後、高い緩速充満期となり、そのまま拡張終期につながるdip and plateauとよばれる波形を示す。

## 右室圧(収縮性心膜炎)

# 心内圧(肺動脈圧 Pulmonary Arterial Pressure:PAP)

## 肺動脈圧 正常パターン



- 収縮期と拡張期の2つの時相に区別される。圧波形に切痕(dicrotic notch)とよばれる切れ込みを認める。
- 肺動脈拡張期圧と肺動脈楔入圧の平均圧は近い値を示す。肺梗塞では収縮期圧が、左心不全では拡張期圧が上昇する。

$$PA \text{ mean} = \frac{S-D}{3} + D$$

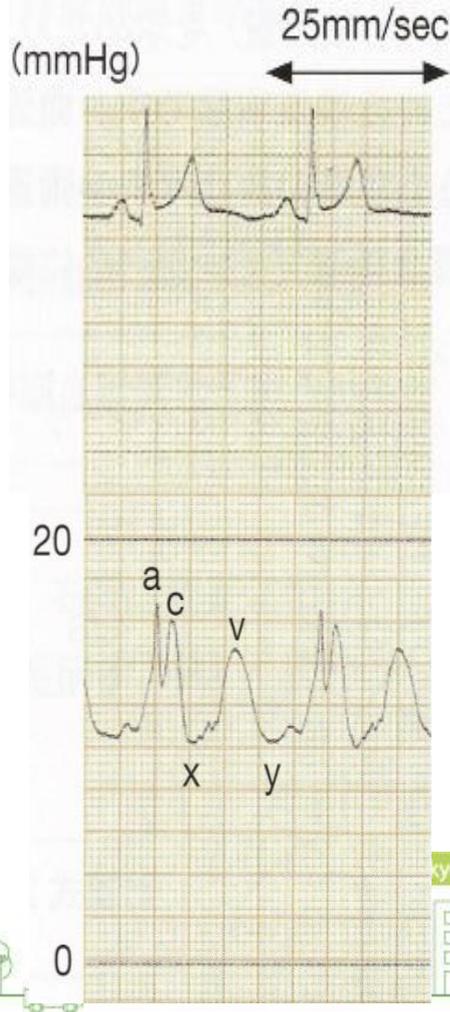
S:systolic pressure(収縮期圧) D:diastolic pressure(拡張期圧)

kyo-kita Medical Center

# 心内圧(肺動脈楔入圧)

## Pulmonary Arterial Wedge Pressure: PAWP

### 肺動脈楔入圧 正常パターン



肺動脈楔入圧: 心不全の状態を表す **Forrester分類** において心係数と併せて重要な指標の1つ

- カテーテルを肺動脈末梢へ楔入し、得られる圧を肺動脈楔入圧という。間接的に左房圧を反映するため、左房圧の代用として用いられる。
- 僧帽弁狭窄症などがない限り平均圧は左室拡張末期圧(LVEDP)に等しい。

A波: 右心房(atrium)の収縮による上昇

C波: 三尖弁の閉鎖(close)による上昇

X谷: 右心房への血液充満開始される地点

V波: 静脈灌流(venous return)による上昇

三尖弁(tricuspid valve)が開くことによる減少

Y谷: 右心房の収縮開始までの減少

# 弁口面積

## 弁口面積

大動脈弁や僧帽弁の圧較差が測定されると、この圧較差と弁口を通過する血液量(心拍出量)から弁口面積を算出することができる。この計算式をGorlinの式とよび、心臓カテーテル検査における弁口面積の標準的な方法である。

大動脈弁弁口面積 = (心拍出量 / 収縮期駆出時間) /  $44.5 \sqrt{\text{大動脈弁平均圧較差}}$

収縮期駆出時間 = 1心拍の収縮期駆出時間 × 心拍数

大動脈弁平均圧較差 = 左室収縮期平均圧 - 大動脈収縮期平均圧

僧帽弁弁口面積 = (心拍出量 / 拡張期充満時間) /  $31 \sqrt{\text{僧帽弁平均圧較差}}$

拡張期充満時間 = 1心拍の拡張期充満時間 × 心拍数

僧帽弁平均圧較差 = 左房拡張期平均圧 - 左室拡張期平均圧

※弁口面積は圧較差に反比例し血液量に比例する。



# 酸素飽和度

酸素飽和度: 肺血流や体血流(心拍出量)を求めたり、短絡率や短絡量を計算するための検査項目。血流量や短絡量は**短絡を有する心疾患の重症度や手術適応などの決定材料**として重要な検査となる。

正常値  
動脈血95%以上  
静脈血70%前後

血液酸素飽和度から求められるパラメータ

- 体血流(Qs): 1分間に体へ流れる血流量
- 肺血流(Qp): 1分間に肺へ流れる血流量

※**心内短絡がない場合には、体血流量と肺血流量は心拍出量と同量**

肺体血流量比(Qp/Qs): **肺血流量と体血流量の比を表し、肺血流量を体血流量で割ることで求められる**

$$Qp/Qs = \frac{\text{大動脈血酸素飽和度 (\%) - 混合静脈血酸素飽和度 (\%)}}{\text{肺静脈血酸素飽和度 (\%) - 混合静脈血酸素飽和度 (\%)}}$$



# 心拍出量(Cardiac Output:CO)

心拍出量:心臓が1分間に送り出す血液の量であり、1回の収縮で拍出される血液量を1回拍出量という。心拍出量は1回拍出量と心拍数の両方に影響される。1回拍出量を決定づける因子⇒心臓の収縮力、前負荷、後負荷など

## 前負荷

- 拡張終期に心室に流入した血液量である。
- 心室拡張終期容積や心室拡張終期圧で表される(容量負荷ともいう)。

慢性的に前負荷がかかると



心拡大

## 後負荷

- 心室が末梢血管の抵抗に逆らって血液を送り出すために必要な圧力である。
- 左心系の場合は大動脈圧、右心系の場合は肺動脈圧で表される。

慢性的に後負荷がかかると



心肥大

Tokyo-kita Medical Center



# 心拍出量(Cardiac Output:CO)

---

$CO=HR \times SV$ (正常値: **4.0~8.0L/min**)  
 $CI=CO \div BSA$ (正常値: **2.4~4.0Lmin/m<sup>2</sup>**)  
 $SV=CO \div HR$ (正常値: **60~100mL/beat**)  
 $SVI=SV \div BSA$ (正常値: **33~47mL/beat/m<sup>2</sup>**)

CO:Cardiac Output(心拍出量)  
CI:Cardiac index(心係数)  
SV:Stroke Volume(1回拍出量)  
SVI:Stroke Volume Index(1回拍出係数)  
BSA:Body Surface Area(体表面積)

## 心拍出量の測定法

Fick法、熱希釈法、色素希釈法



心拍出量が低下している症例に適した測定法



# Fick法

## 原理

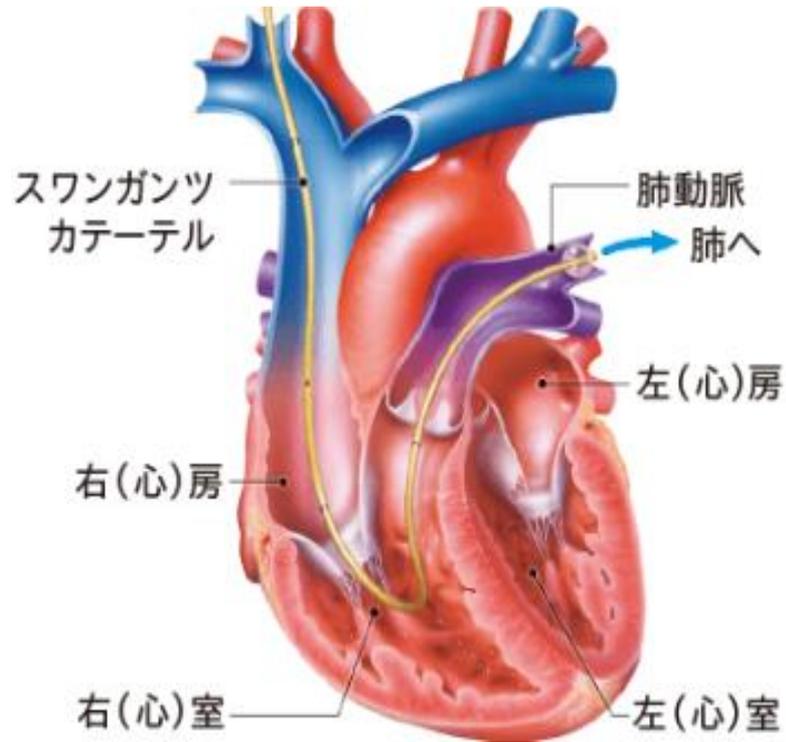
- 1つの臓器によるある物質の取り込み量あるいは放出量は、その臓器の血流量にその物質の動静脈血中の物質濃度の差をかけたものに等しいと定義されている。心拍出量測定の場合、この臓器は肺であり、放出される物質は酸素であるため、Fick法では動脈血と静脈血の同時採血と呼気の採取が必要である。

$$\text{心拍出量} = \frac{\text{酸素消費量 (mL/min)}}{\text{動脈血酸素含量 - 静脈血酸素含量 (A - vO}_2\text{)}}$$

Tokyo-kita Medical Center



# 熱希釈法



## 方法

スワンガンツカテーテルを用いて、冷却( $0^{\circ}\text{C}$ )したブドウ糖液や生理食塩水を一定量右房内に注入し、肺動脈内に位置するサーミスターで温度変化を捉え、温度希釈曲線から心拍出量を計算する。

※注入液温度や注入速度、注入量により測定より測定誤差が生じやすい。

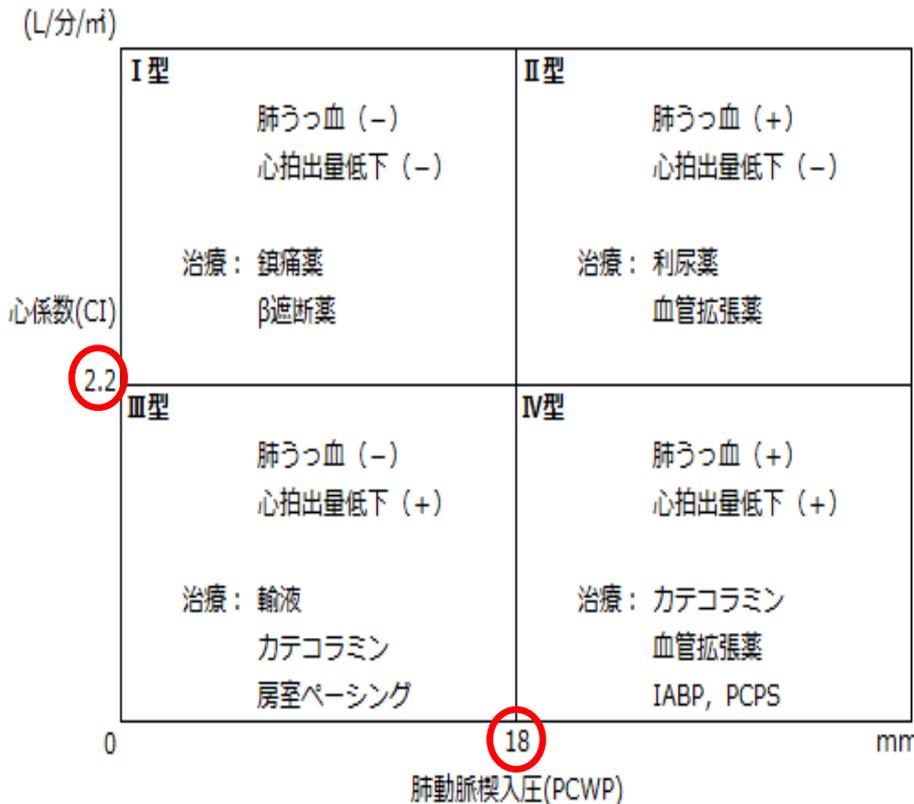
三尖弁閉鎖不全症、肺動脈弁閉鎖不全症、心房中隔欠損症、心室中隔欠損症、低心拍出量などの疾患があると測定値の精度が低下するため、Fick法にて測定する

Tokyo-kita Medical Center

# Forrester分類

**Forrester分類**: 心係数と肺動脈楔入圧を測定し、心不全症例を4つのカテゴリーに分類したもの。定量的ではないが、症状や身体所見の指標で分類できる  
Nohria-Stevenson分類は簡便で汎用される。

## Forrester分類



## Nohria-Stevenson分類



- Profile A: うっ血や低灌流所見なし (dry-warm)
- Profile B: うっ血所見はあるが低灌流所見なし (wet-warm)
- Profile C: うっ血および低灌流所見を認める (wet-cold)
- Profile L: 低灌流所見を認めるがうっ血所見はない (dry-cold)

# 先天性心疾患

※先天性心疾患は心臓の発生過程での心血管系の構造異常が原因で、出生後の循環が異常となる疾患である。

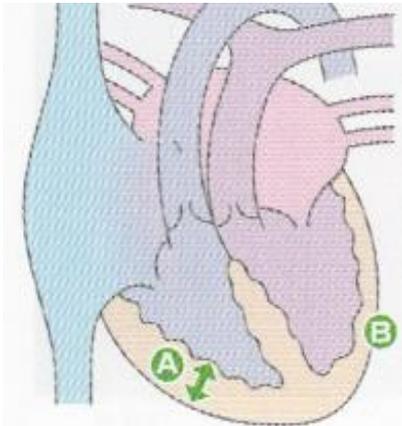
チアノーゼは右⇒左シャントもしくは両方向性シャントで出現し、左⇒右シャントでは出現しない。

先天性心疾患	チアノーゼ性心疾患		非チアノーゼ性心疾患	
	右⇒左シャント		左⇒右シャント	その他
	完全大血管転換症 (I、II型)	Fallot四徴 (TOF)	心室中隔欠損症 (VSD)	肺動脈狭窄症 (PS)
	総肺静脈還流異常症 (TAPVR)	完全大血管転換症 (III型)	心房中隔欠損症 (ASD)	大動脈縮窄症 (CoA)
	総動脈幹症	肺動脈閉鎖 (右低形成)	房室中隔欠損症(AVSD) 心内膜床欠損症(ECD)	大動脈弁狭窄症 (AS)
	左心低形成	肺動脈閉鎖+VSD	動脈管開存症(PDA)	
		Eisenmenger 症候群	Valsalva洞動脈瘤破裂	
		Ebstein奇形	大動脈肺動脈中隔欠損症	
			大動脈縮窄複合	
肺血管陰影	増強	減弱	増強	—

# 完全大血管転換症(complete TGA's)

完全大血管転換症: 大動脈と肺動脈が入れ替わった先天性心疾患をいい、合併症から3つの病型に分類される。

I 型



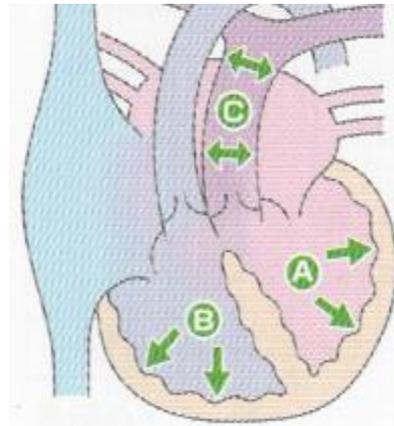
- ① 右室肥大 ② 左室壁厚の菲薄化

- VSDなし
- ASD/PFOまたはPDAを合併

特徴

- 動静脈血流混合不十分
- 強い低酸素血症をきたし、**予後不良**

II 型



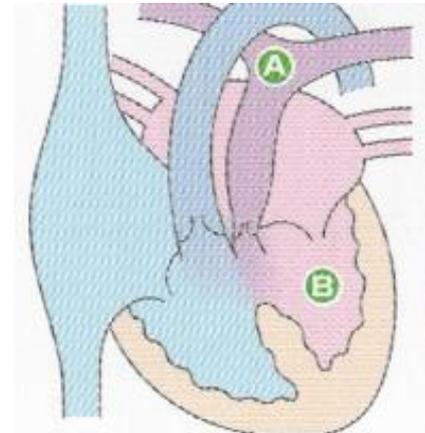
- ① 左室拡大 ② 右室拡大  
③ 肺動脈拡大

- VSDあり
- ASDはあり、またはなし
- 肺高血圧あり

特徴

- 肺血流量増加  
⇒ 肺高血圧  
⇒ 心不全・呼吸不全

III 型



- ① 肺血管縮小 ② 左室容積減少

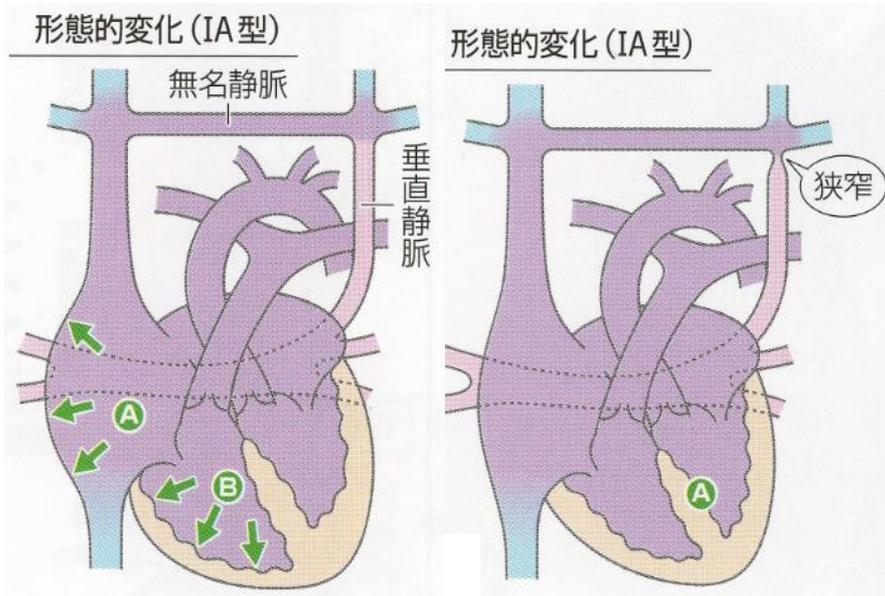
- VSDあり
- PSあり

特徴

- 肺動脈弁狭窄による、肺血流量減少
- 自然予後が最も良い

# 総肺静脈還流異常症(TAPVR)

全ての肺静脈が右心系に還流する先天性心疾患で、肺静脈が上大静脈に還流するⅠ型(上心臓型)と右房に還流するⅡ型(心臓)、下大静脈、門脈系に流入するⅢ型(下心臓型)、これらが混合するⅣ型(混合型)に分類される。全先天性心疾患の約1%を占める。



① 右房拡大 ② 右室拡大

① 小さい心臓

Tokyo-kita Medical Center

診断 聴診、心電図、心エコー、胸部X線像、CT

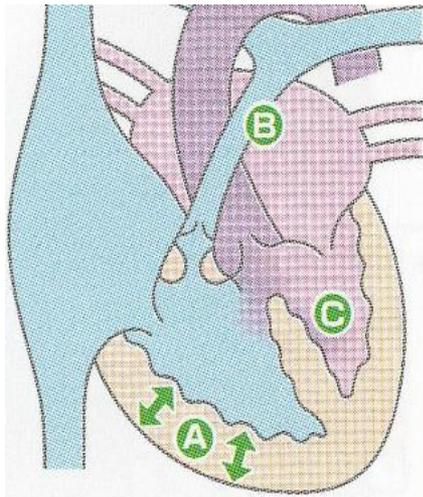
- 心電図⇒右軸偏位、右室肥大
- 心エコー⇒右房・右室の拡大、右室圧(RVP)の上昇肺静脈の還流部位、卵円孔・心房中隔欠損での右⇒左シャントの確認
- 胸部X線像⇒すりガラス様陰影、肺血管陰影増強
- CT⇒肺静脈の形態、左房との位置関係を確認

IA型では胸部X線像で垂直静脈と上大静脈による右第1弓および左第2弓の拡大所見が特徴的  
⇒雪ダルマ型陰影(snowman sign)

# Fallot四徴症

Fallot四徴症：胎生時に円錐中隔の前方偏位が起こり、肺動脈流出路の狭窄が生じ、また偏位した円錐中隔下には心室中隔欠損が生じ、大動脈が右室に騎乗したもの。

四徴⇒肺動脈狭窄(PS)、心室中隔欠損(VSD)、大動脈騎乗、右室肥大



- ① 右室肥大 ② 小さい主肺動脈  
③ 小さい左室

診断 心電図、胸部X線像、心エコー

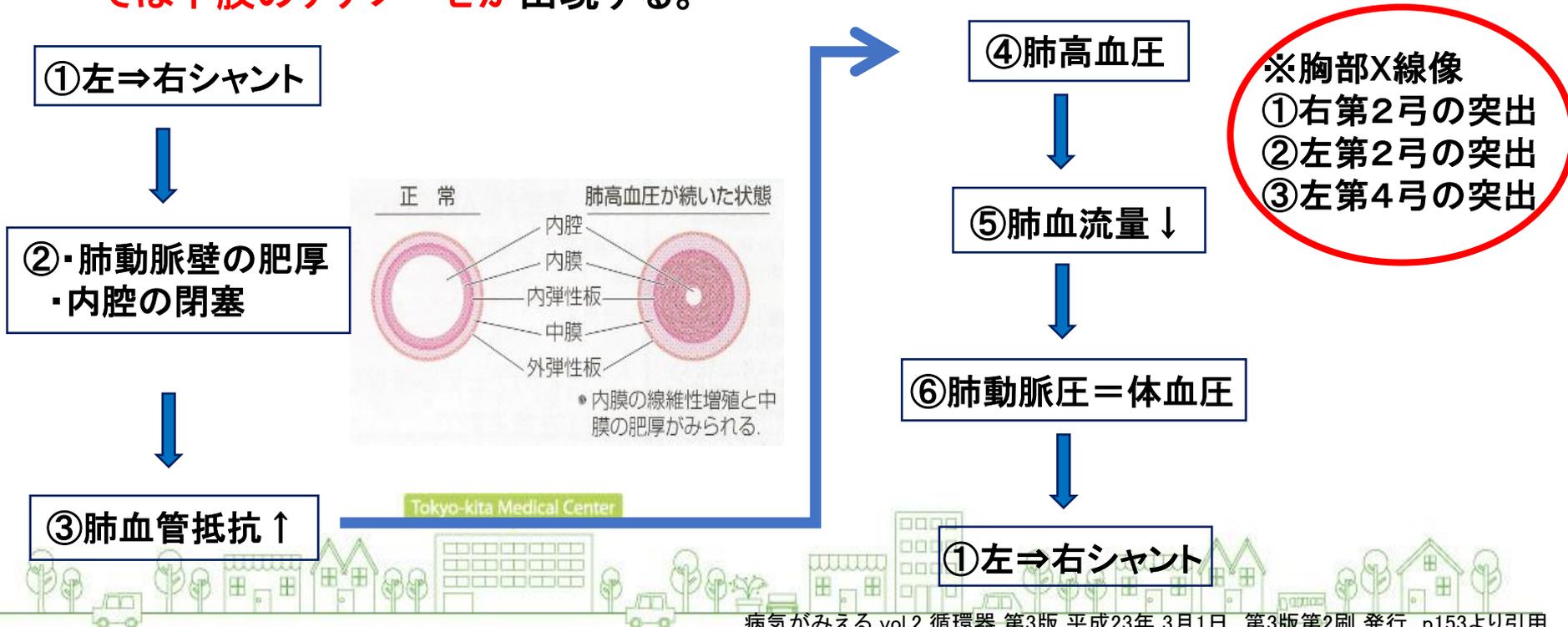
※胸部X線像  
①左第2弓の陥凹  
②左第4弓の突出

- 心電図⇒右軸偏位、右室肥大
- 胸部X線像⇒主肺動脈部の陥凹、挙上した心尖、心拡大はない、肺血管陰影の減少
- 心エコー⇒PS、VSD、大動脈騎乗、右室肥大  
↳ 確定診断
- 血管造影⇒右室造影では肺動脈と大動脈が同時に造影され、側面側で大動脈の心室中隔への騎乗が確認できる

Tokyo-kita Medical Center

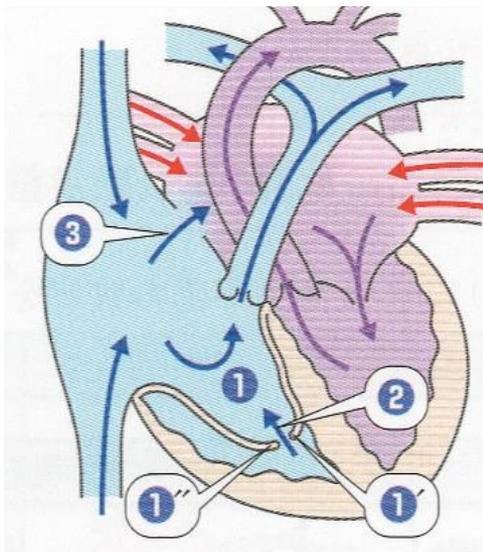
# Eisenmenger症候群

- 左⇒右シャント性疾患で肺血管抵抗が上昇し、右⇒左シャントが生じた場合を総じてEisenmenger症候群と称する。
- 左⇒右シャントを有する心室中隔欠損症(VSD)、心房中隔欠損症(ASD)、動脈管開存症(PDA)などでみられる。
- ASD、VSDのEisenmenger化では、上下肢のチアノーゼが、PDAのEisenmenger化では下肢のチアノーゼが出現する。



# Ebstein奇形

- 三尖弁の弁輪が本来あるべき右心房と右心室の間のところから大きく右心室側におちこんでいる疾患である。
- 三尖弁の形態の異常を来していることから、三尖弁機能の異常、右心室のポンプ機能の異常を来たす。
- 心房中隔欠損を合併しているとチアノーゼを来たす。また、WPW症候群とよばれる不整脈の病気を合併していると多々ある。



Tokyo-kita Medical Center

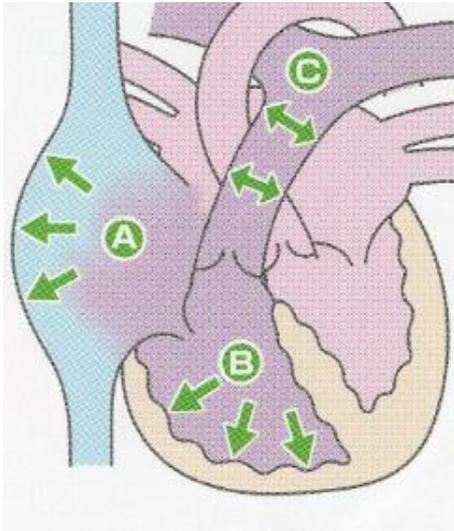
- 中隔に付着した三尖弁中隔尖(①')と巨大な三尖弁前尖(①")により、右室流出路の一部は右房化右室(①)となる。
- 三尖弁の閉鎖不全による逆流が生じる(②)。
- 多くはPFO(ASD)を合併して、右⇒左シャントを生じる(③)。



※胸部X線像  
①右第2弓の突出  
②肺血管陰影の減少

# 心房中隔欠損症(ASD)

胎生期の心房中隔の発達障害により、**先天的に心房中隔に欠損孔が存在し、欠損孔を通じて左右シャントを生じ、右房・右室への容量負荷をきたす。**  
成人での先天性心疾患の約45%を占め、**女性に多い(男女比は1:2)。**



- ① 右房拡大 ② 右室拡大  
③ 肺動脈拡大

診断 聴診、心電図、心エコー、カテーテル

- 心電図⇒**右軸偏位、右室肥大、不完全右脚ブロック(IRBBB)心房細動(AF)(中年後期以降)**
- 心エコー⇒**左房⇒右房のシャント**
- 心カテーテル検査⇒**右房SaO<sub>2</sub>のstep up(酸素濃度が7%以上増加)**

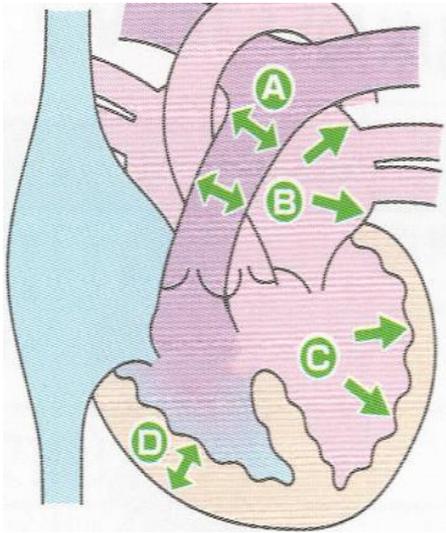
**軽症(Qp/Qs<1.5)では無治療のことが多く、Qp/Qs>2.0では手術またはカテーテル治療を行う。**

- ※胸部X線像
- ①左第2弓の突出
  - ②右第2弓の突出
  - ③左第4弓の突出

Tokyo-kita Medical Center

# 心室中隔欠損症(VSD)

心室中隔に欠損孔があり、その孔を通して**左室から右室、肺動脈への動脈血の一部が流入する病態**をいう。欠損孔の大きさにより病態、症状が大きく異なる。



- ① 肺動脈拡大 ② 左房拡大  
③ 左室拡大 ④ 右室肥大

診断 聴診、心電図、心エコー、カテーテル、胸部X線像

- 心電図⇒正常～軽度左室肥大(小～中欠損)  
両室肥大、左房負荷(大欠損)
- 心エコー⇒心室中隔欠損孔、左⇒右シャントの確認  
(小～中欠損)
- 心カテーテル検査⇒右房-右室におけるSaO<sub>2</sub>のstep up  
(**酸素濃度が5%以上増加**) (小～中欠損)
- 左室造影⇒心室中隔欠損孔、  
左⇒右シャントの確認(小～中欠損)
- 胸部X線像⇒正常～軽度心拡大(小～中欠損)  
左室、左房、右室拡大、主肺動脈の突出、  
肺血管陰影増強(大欠損)

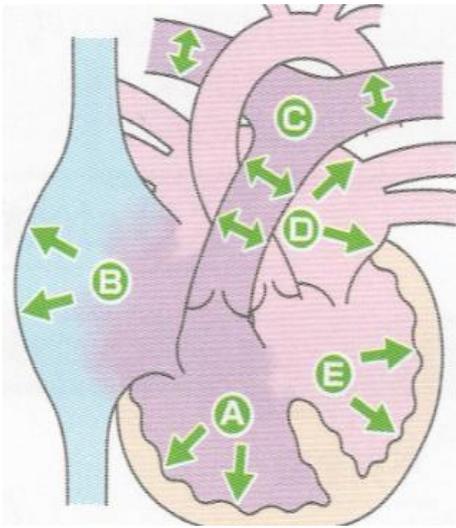
※胸部X線像

- ①左第2弓の突出
- ②左第3弓の突出
- ③左第4弓の突出

# 房室中隔欠損症(AVSD)、心内膜床欠損症(ECD)

房室中隔(心内膜床)の発達障害によるもので、その程度により不完全型(部分型)と完全型に分けられる。Down症候群に合併しやすい。

診断 聴診、心電図、心エコー、カテーテル、胸部X線像

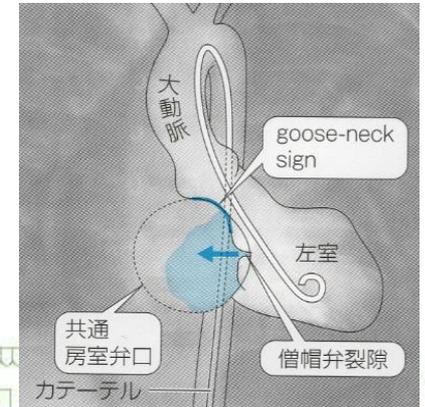


- 心電図⇒左軸偏位、不完全右脚ブロック(IRBBB)、PQ延長、右室肥大(不完全型)、両室肥大(完全型)
- 心エコー⇒心房および心室中隔欠損孔、心房および心室間の左⇒右シャuntMR・TRの確認
- 心カテーテル検査⇒**右心系SaO2のstep up確認**
- 左室造影⇒**goose-neck sign**、心室間左⇒右シャuntの確認
- 胸部X線像⇒右房・右室の拡大、肺血管陰影増強

- Ⓐ 右室拡大 Ⓑ 右房拡大
- Ⓒ 肺動脈拡大 Ⓓ 左房拡大
- Ⓔ 左室拡大

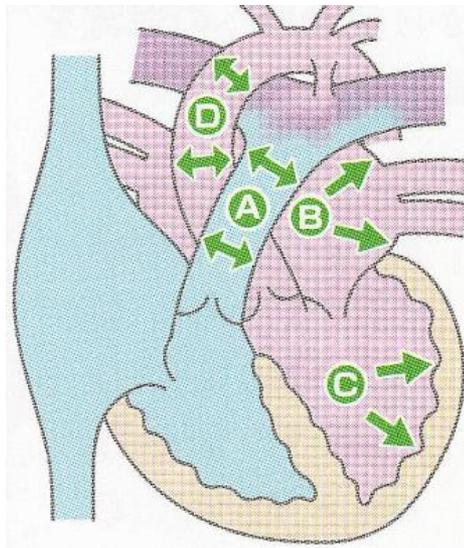
※胸部X線像

- ①左第2弓の突出
- ②右第2弓の突出
- ③左第4弓の突出



# 動脈管開存症(PDA)

大動脈狭部と肺動脈分岐部の間にある胎児期の動脈管が残ったものであり、それにより大動脈血の一部が肺動脈へ流入することによって起こる病態である。



診断 聴診、心電図、心エコー、カテーテル、胸部X線像

- 心電図⇒左室肥大
- 心エコー⇒動脈管と大動脈⇒肺動脈シャントの確認
- 心カテーテル検査⇒肺動脈SaO<sub>2</sub>のstep up確認
- 大動脈造影⇒動脈管の開存、  
大動脈⇒肺動脈への造影剤流入像の確認
- 胸部X線像⇒左心系の弓突出、肺血管陰影の増強

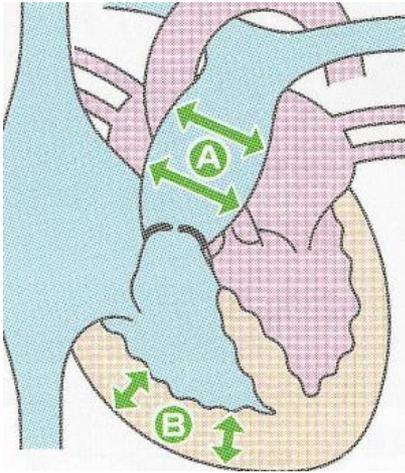
- ① 肺動脈拡大 ② 左房拡大  
③ 左室拡大 ④ 上行大動脈拡大

- ※胸部X線像  
①左第2弓の突出  
②左第3弓の突出  
③左第4弓の突出

# 肺動脈狭窄症(PS)

先天性に肺動脈に狭窄があり、右心系の圧負荷が増大する病態である。  
比較的頻度の高い疾患であり、**全先天性心疾患の約10%を占める**。  
肺動脈狭窄症のうち、最も多いのは「**弁**」狭窄症である。

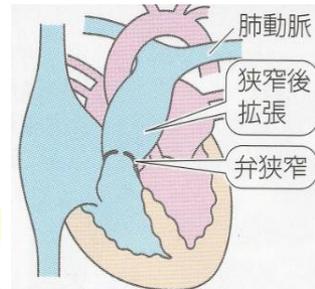
診断 聴診、心電図、心エコー、カテーテル、胸部X線像



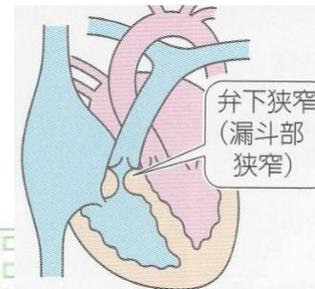
① 狭窄後拡張 ② 右室肥大

※胸部X線像  
①左第2弓の突出

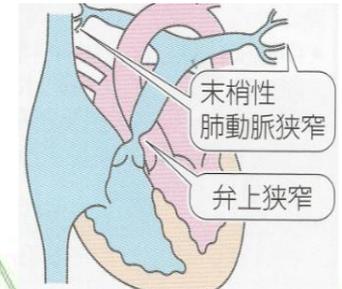
- 心電図⇒**右室肥大**
- 心エコー⇒狭窄した弁と肺動脈の狭窄後拡張の確認
- 心カテーテル検査⇒収縮期の右室-肺動脈圧較差、  
右室-右房の圧上昇
- 右室造影⇒右室肉柱の発達、肺動脈の弁狭窄、  
狭窄後拡張の確認
- 胸部X線像⇒左第2弓の突出、左第4弓の丸み



約90%



約10%



まれ

# 弁膜症

## 心臓弁膜症:

心臓に存在する弁に機能障害が生じる病気。心臓の弁は4種類存在しており、それぞれの弁において機能障害が生じる可能性があるが、心臓弁膜症はこれら機能障害を包括的に含む疾患概念である。

弁の機能障害の形態として、血液が逆流する(逆流症・閉鎖不全症)、血液の流れが悪くなる(狭窄症)の2つ種類がある。

心臓弁膜症	疾患	原因
	僧帽弁狭窄症(MS)	リウマチ熱が主体
	僧帽弁閉鎖不全症(MR)	僧帽弁逸脱症、 感染性心内膜炎、外傷、 リウマチ性心疾患、 虚血性心疾患、 心筋症
	大動脈弁狭窄症(AS)	先天性な二尖弁、石灰化など
	大動脈弁閉鎖不全症(AR)	感染性心内膜炎、 大動脈の拡大、 先天性二尖弁、石灰化など

# 僧帽弁狭窄症(MS:Mitral Stenosis)

僧帽弁の狭窄により、拡張期の左房から左室への血液の流入が障害されている状態で左房圧が上昇し、肺高血圧に至り、心拍出量が減少する。心房細動(AF)をきたし、左房・左心耳内に血栓やそれに伴う脳塞栓が多発する。

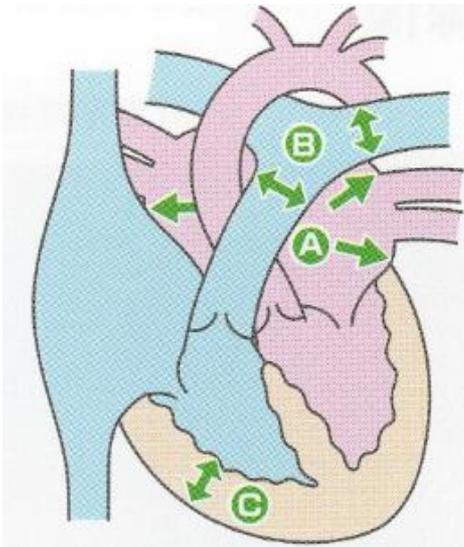
診断 聴診、心エコー

- 心エコー⇒弁口面積の減少、僧帽弁前尖の特徴的ドーム形成、弁下構造の変化を確認  
(※左房血栓の確認には、経食道心エコー)

治療 軽症では経過観察  
中等度以上では内科的or外科的治療

カテーテル治療: 経皮的僧帽弁交連切開術(PTMC)

外科的治療: 僧帽弁置換術(MVR)、直視下僧帽弁交連切開術(OMC)



- ① 左房拡大 ② 肺動脈拡張
- ③ 右室肥大

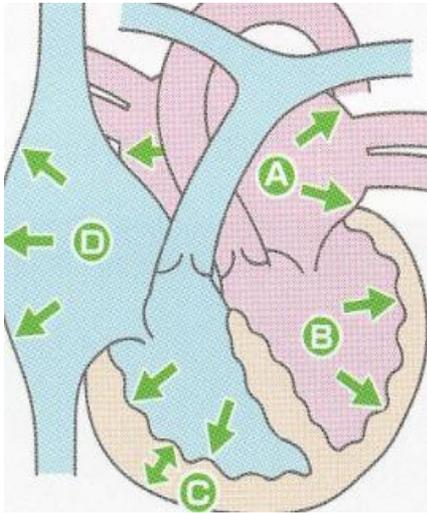
※胸部X線像  
①左第3弓の突出

	僧帽弁の弁口面積
高度狭窄	<1.0cm <sup>2</sup>
中等度狭窄	1.0~1.5cm <sup>2</sup>
軽度狭窄	1.5~2.0cm <sup>2</sup>
正常	4.0~6.0cm <sup>2</sup>

治療対象

# 僧帽弁閉鎖不全症(MR:Mitral Regurgitation)

僧帽弁の閉鎖不全により、収縮期に左室から左房に向かって血液が逆流する状態で左室が容量負荷を受けるため、心拡大をきたす。



診断 触診、聴診、心電図、心エコー、胸部X線像

- 心電図⇒左房負荷、左室肥大、心房細動(AF)
- 胸部X線像⇒左室、左房の拡大
- 心エコー⇒僧帽弁異常や左心系の拡大程度などを確認  
逆流の重症度評価、発生部位の推定

治療

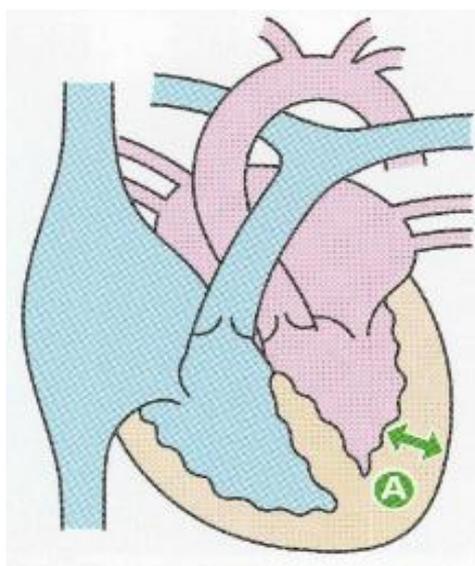
外科的治療:僧帽弁置換術(MVR)、僧帽弁形成術

- ① 左房拡大 ② 左室拡大  
③ 右室拡大・肥大 ④ 右房拡大

※胸部X線像  
①左第3弓の突出  
②左第4弓の突出

# 大動脈弁狭窄症(AS:Aortic Stenosis)

大動脈弁口の狭窄により、収縮期に左室から大動脈への駆出障害をきたす病態をいう。左室は慢性的に圧負荷を受けるため、左心肥大をきたす。代償不全に陥ると、狭心症、失神発作、心不全などを生じる。



① 左室肥大

診断 聴診、心電図、心エコー

- 心電図⇒左室肥大
- 心エコー⇒大動脈弁の開放制限、石灰化、肥厚  
大動脈弁口面積の減少、  
大動脈弁収縮期圧較差の増大

治療 (通過血流速度の増大)

カテーテル治療: **経カテーテル大動脈弁置換術(TAVI)**

外科的治療: 大動脈弁置換術(AVR)

高度AS

大動脈弁口面積  $\leq 1.0\text{cm}^2$

最高血流速度  $\geq 4.0\text{m/sec}$

収縮期平均圧較差  $\geq 40\text{mmHg}$

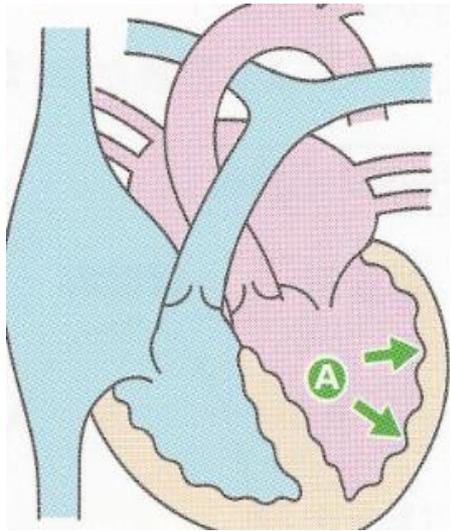
※胸部X線像

①左第4弓の突出

②肺うっ血、胸水

# 大動脈弁閉鎖不全症(AR:Aortic Regurgitation)

拡張期に大動脈弁が完全に閉鎖されないために、大動脈から左室内へ血液が逆流する状態で左室が容量負荷・圧負荷を受けるため、心拡大・心肥大をきたす。



① 左室拡大・機能低下

診断 聴診、心電図、心エコー、胸部X線像

- 心電図⇒左室肥大
- 胸部X線像⇒左室の拡大
- 心エコー⇒大動脈弁の形態、左室拡大、機能低下の有無、大動脈基部径大動脈弁逆流を確認

治療

外科的治療:大動脈弁置換術

大動脈弁輪拡張症(AAE)による  
ARに対してはBentall法を行う

※胸部X線像  
①左第4弓の突出

# 参考文献

---

- ✓ 病気がみえる 循環器vol.2
- ✓ これから始める心臓カテーテル検査 MEDICAL VIEW 2013
- ✓ これから始めるPCI MEDICAL VIEW 2013
- ✓ カテーテルスタッフのためのPCI必須知識 これだけおさえれば大丈夫 MEDICAL VIEW 2014
- ✓ 第9回 千葉IVR技術セミナーテキスト
- ✓ 第11回 千葉IVR技術セミナーテキスト
- ✓ 成人先天性心疾患診療ガイドライン(2017年改訂版)
- ✓ 冠動脈AHA分類 医学メモ
- ✓ ドレーン・カテーテル・チューブ管理 完全ガイド