

【問題 4-134】(平成 14)

骨シンチグラフィで正しいのはどれか。

1. 放射性医薬品の静脈注射後 30 分以内に撮像を開始する。
2. 全身の撮像に SPECT 検査を追加する意義は乏しい。
3. 単純 X 線写真で同定困難な骨折は描出できない。
4.  $^{99m}\text{Tc}$  標識のリン酸化合物を使用する。
5. 健常人では肝臓に集積する。

- (注解) 1. 骨シンチグラフィは放射性医薬品を静注後2~4時間後に撮像する。
2. 全身の撮像にSPECT検査を追加することが望ましい。
3. 単純X線写真で同定困難な骨折部位も描出可能である。
5. 健常人では肝臓に集積しない。
4.  $^{99m}\text{Tc}$ -MDPなどの $^{99m}\text{Tc}$ 標識のリン酸化合物を使用する。

# 疲労骨折 fatigue fracture

Bone scintigraphy が有効な疾患。

過度のスポーツなどで、骨（脛骨 Tibia、腓骨 Fibula に多い）の表面に微小骨折が生じる。骨折部位には骨の再生が亢進するので、リン酸の集積が高くなる。

単純X線像やCTでは、ほとんど所見がない。



## **$^{99m}$ Tc-MDP Bone scintigraphy**



正常では、肝臓は描画されない。

輸血中または鉄剤投与中の患者に  
 $^{99m}$ Tc-MDP または  $^{99m}$ Tc-HMDP を  
静脈注射すると、

血中に過剰に存在する Fe と  
MDP、HMDPが結合して  
コロイド状態になり、  
肝臓の網内系細胞に貪食されて  
Bone scintigraphy で肝臓が  
描画される。

## 【問題 4-135】(平成 13)

算出できる指標で正しい組合せはどれか。

- a. 肺血流シンチグラフィ——肺活量
  - b. 骨髄シンチグラフィ——赤血球寿命
  - c. 脳血流シンチグラフィ——局所脳血流量
  - d. 心電図同期心プールシンチグラフィ——心駆出率
  - e. 甲状腺シンチグラフィ——甲状腺摂取率
- 1. a, b, c
  - 2. a, b, e
  - 3. a, d, e
  - 4. b, c, d
  - 5. c, d, e

(注解) a. 肺血流シンチグラフィは肺血流分布を示すが、肺活量は算出できない。

b. 骨髄シンチグラフィでは赤血球寿命を算出できない。

c, d, e のシンチグラフィは、いずれもそれぞれの指標を算出できる。

# $^{111}\text{InCl}$ Bone marrow scintigraphy 骨髓シンチグラフィ

$^{111}\text{In}$  171 keV, 245 keV

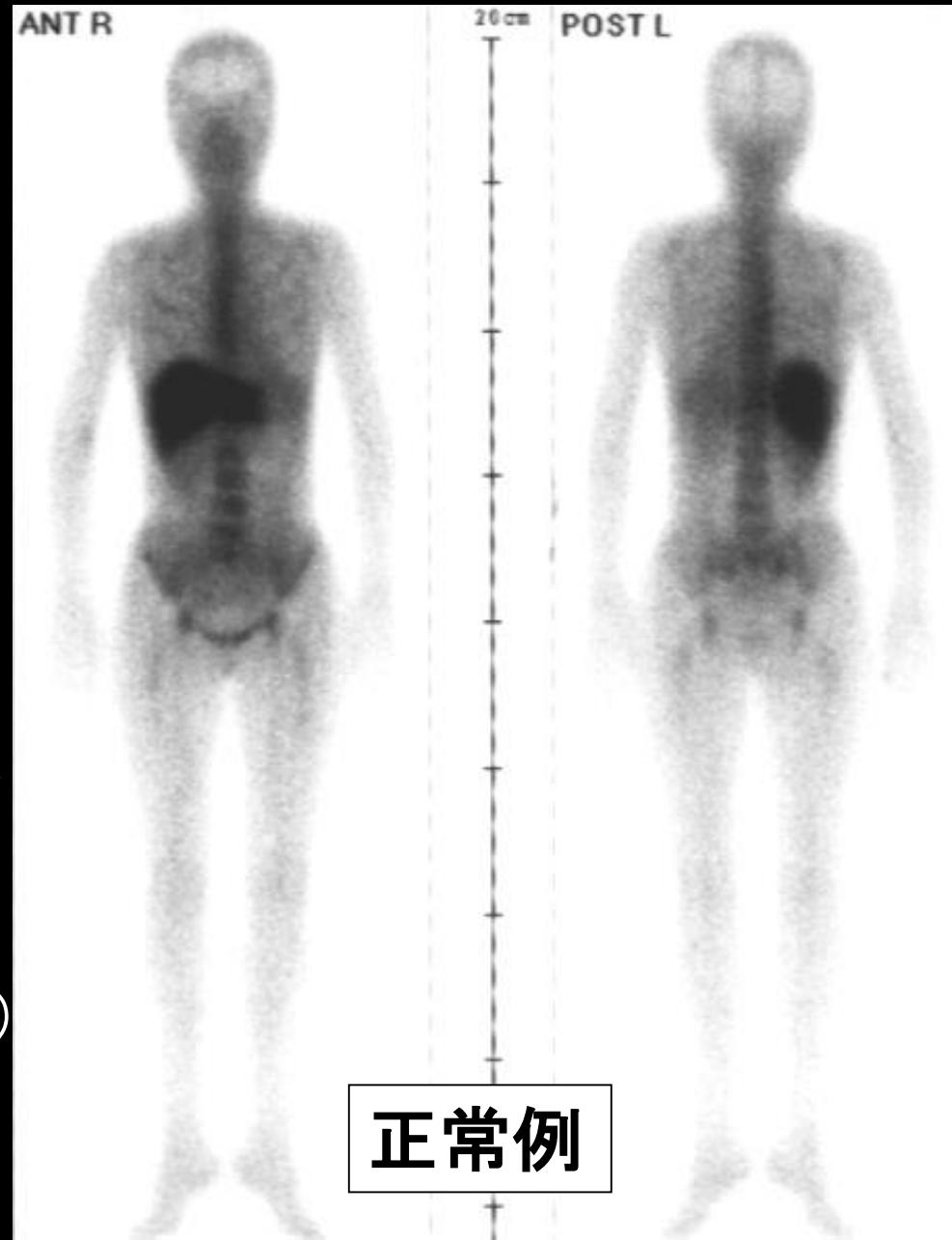
MEGP コリメータ

111 MBq投与

48~72時間後に撮像

$^{111}\text{In}$ は、Feと類似の分布を示し、血液中のトランスフェリン（鉄を骨髄に運ぶタンパク質）と結合して造血骨髄（赤色骨髄）に集積する。  
(正常では中心骨髄、四肢骨近位)

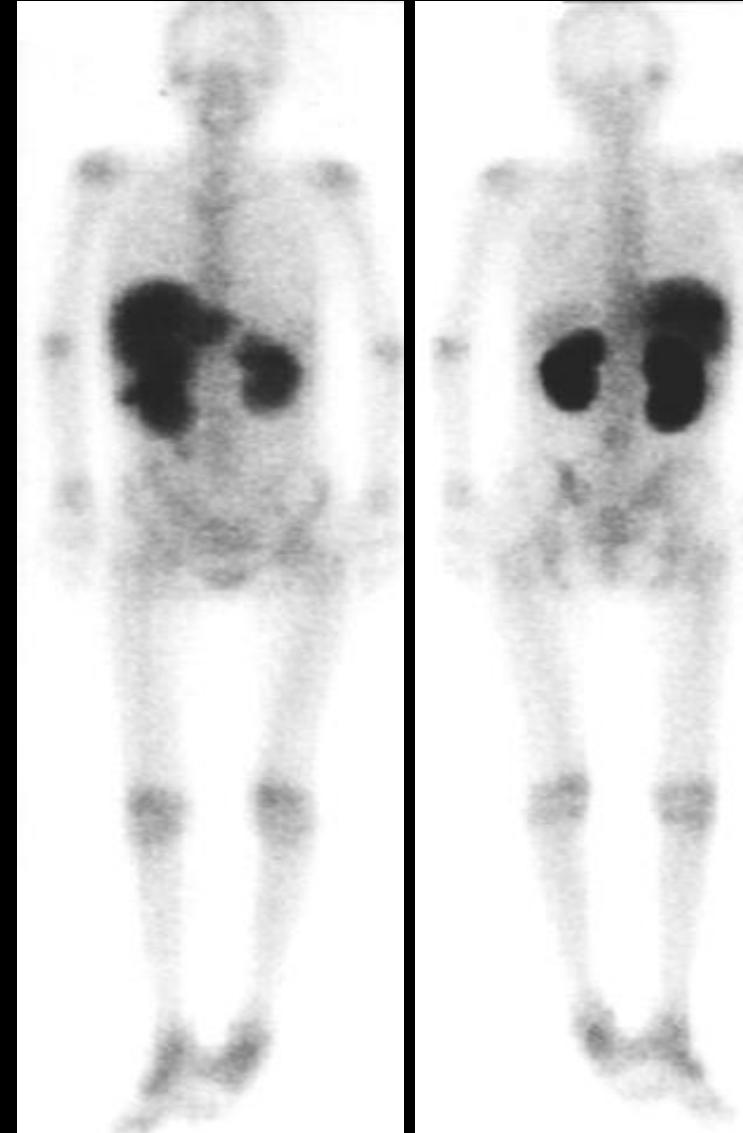
肝臓にも正常分布あり。



正常例

# 再生不良性貧血（Aplastic anemia） (骨髓全体の造血機能が廃絶する疾患)

骨髓の機能が  
びまん性に低下し、  
 $^{111}\text{InCl}$ の集積部位が  
なくなるので  
腎臓に多く排泄されて  
腎臓の描出が強くなる。



**$^{51}\text{Cr}$  循環赤血球量測定**

**$^{51}\text{Cr}$  半減期27.7日 320KeV**

撮像は行わない。

体内を循環している血液中の赤血球量を調べるテスト。

血液を8ml採取し、試験管内で、 $^{51}\text{Cr}$ を混ぜて(3MBq程度)、

15分後に一定量(北大では6ml)を、患者に静脈注射。

残りの $^{51}\text{Cr}$ を混ぜた血液の放射能(Bq/ml)を測定。

30分後に再度採血し、血液の放射能(Bq/ml)を測定。

この放射能の比が、体内を循環している血液中の赤血球量。

赤血球增多症の鑑別（真性か脱水か）に利用される。

## $^{51}\text{Cr}$ 循環赤血球量測定、赤血球寿命測定

採血した患者血液 2ml に $^{51}\text{Cr}$ を標識して、  
1ml を放射能測定し、X Bq/ml であったとする。  
1ml を患者に静注し、30分後に 採血した血液が  
Y Bq/ml であったとすると、  
**循環血液量 Z は、 $X/Y$ 。** 正常 60~70 ml/kg(体重)  
**循環赤血球量は、 $Z \times \text{ヘマトクリット} \times 0.92$**   
正常 25~35 ml/kg(体重)  
**循環血漿量は、循環血液量 - 循環赤血球量。**  
真性多血症などで循環赤血球量の増加。

## $^{51}\text{Cr}$ 赤血球寿命測定

さらに1週間の間に数回採血して血中放射能の減衰率を測定すると、赤血球寿命を計算できる。

正常 赤血球半減期(半数に減少する時間)  $28 \pm 2$  日

## $^{51}\text{Cr}$ 血小板寿命測定

血小板寿命も同様の方法で計算できる。

患者の血小板濃縮液に $^{51}\text{Cr}$ を混ぜて標識し、患者に投与。

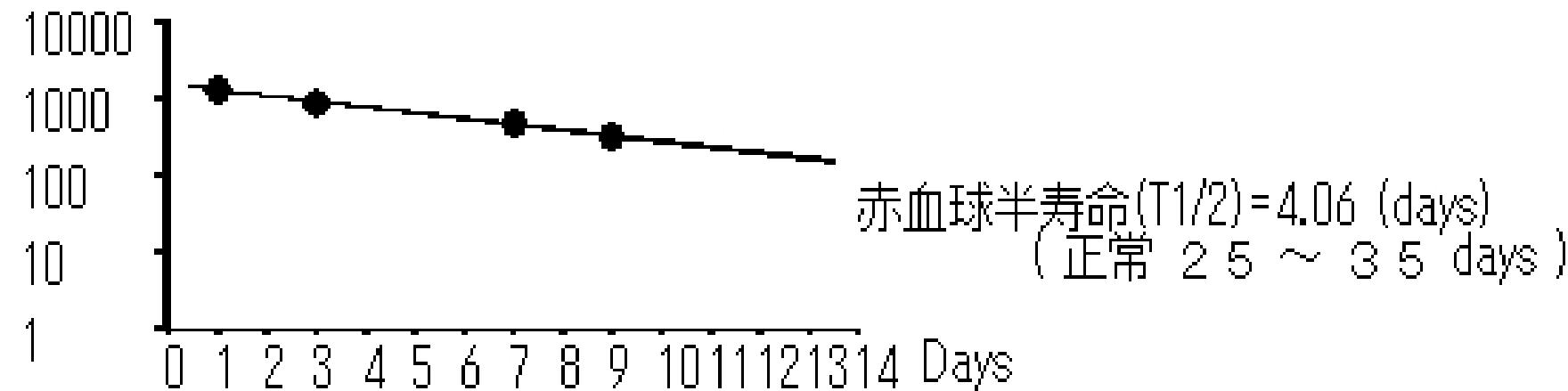
1週間の間に数回採血して血中放射能の減衰率を測定。

正常 血小板半減期 4 日

# $^{51}\text{Cr}$ RBC Half Life 溶血性貧血(Hemolytic Anemia)

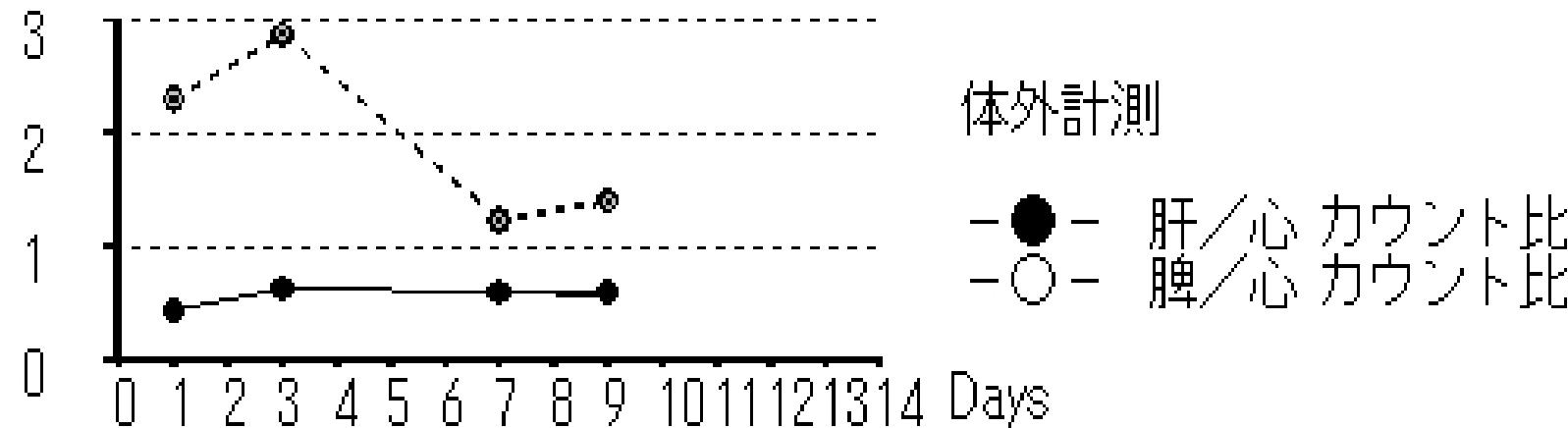
採血count(CPM)

赤血球が壊れやすい疾患



肝／心、脾／心 集積比

壊れた赤血球は脾臓が処理する。



# ファーストパス法 = RI アンギオグラフィ

はじめに、RIを標識していないピロリン酸(PYP)を静脈注射。  
約10分後に患者を撮像するセッティングを行い、  
 $^{99m}\text{TcO}_4^-$  (パーテクネート; 何も標識していない $^{99m}\text{Tc}$ ) を  
静脈注射(740MBq)すると同時に、ダイナミック撮像開始  
(64x64 または 128x128、1フレーム 1~5秒、1~5分間)。

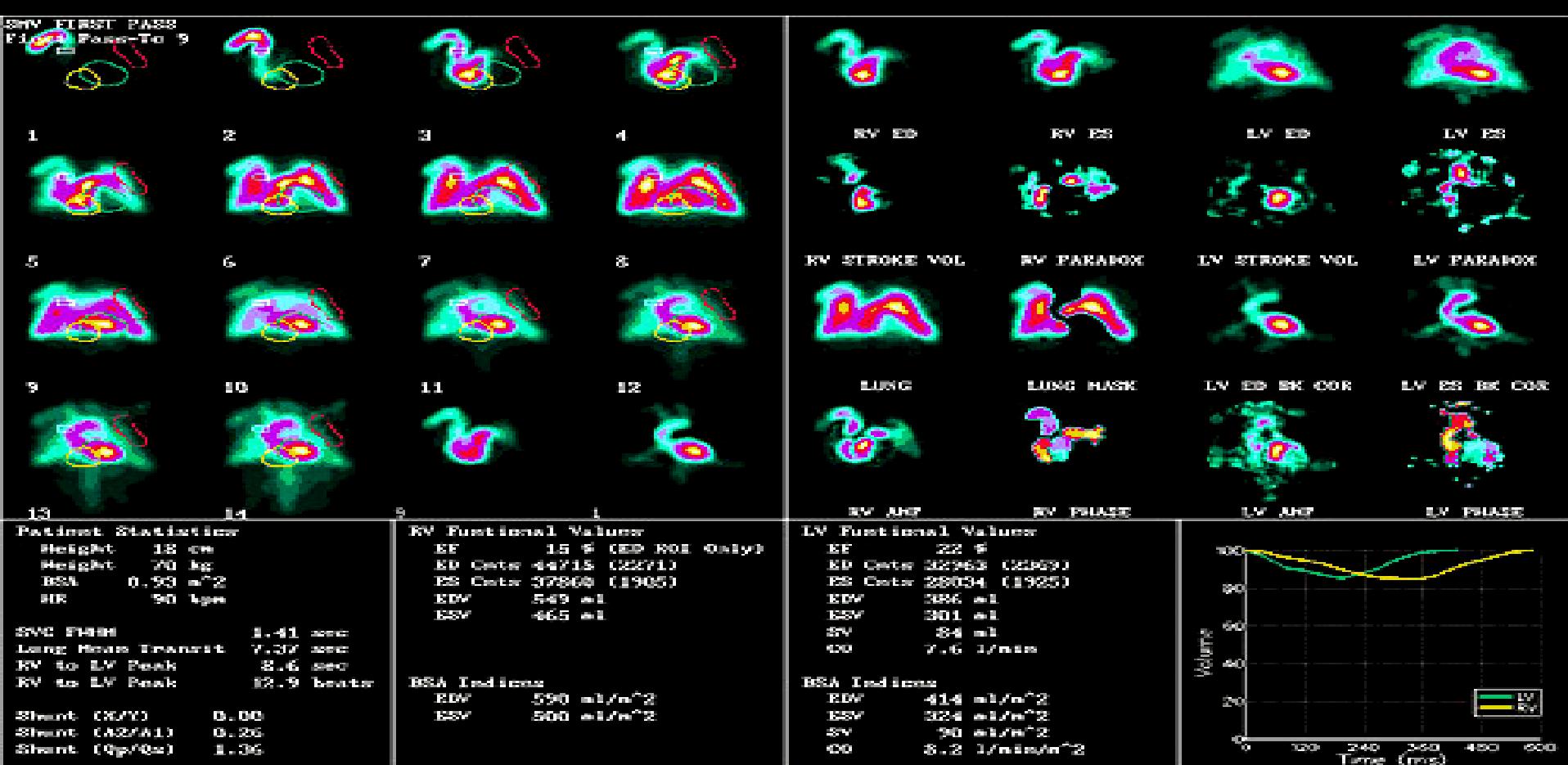
ピロリン酸は患者の赤血球表面に付着し、投与された $^{99m}\text{Tc}$ を吸着する。体内で患者赤血球が $^{99m}\text{Tc}$ 標識される。

(インビボ標識  $^{99m}\text{Tc}$ -RBC、生体内標識法)

10~20分後に撮像すると平衡時像(プール像)が撮像される。(患者の体内血液(赤血球)分布画像。 平衡時法。)

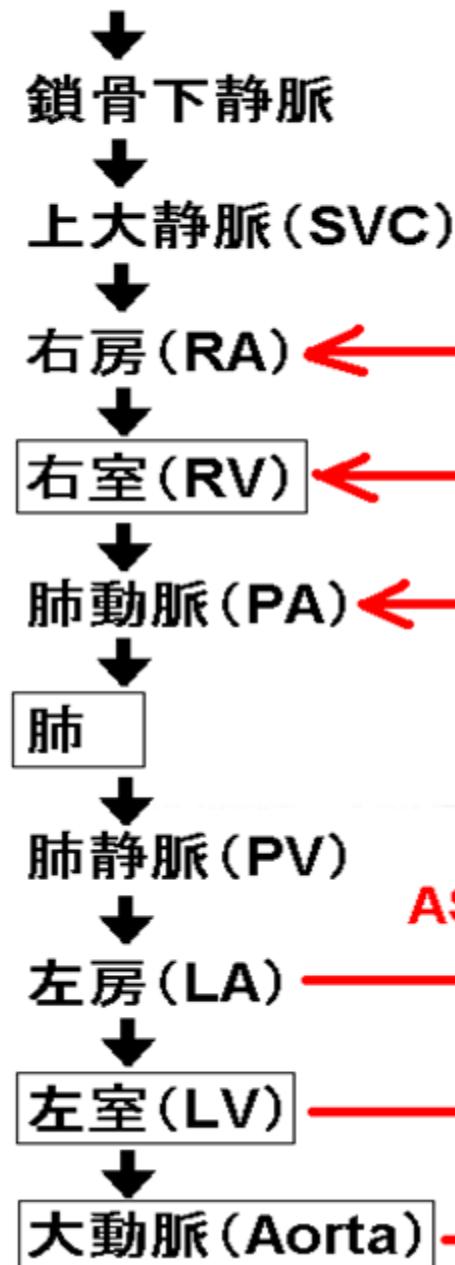
# 心アンギオグラフィ RI Cardio-angiography (CAG)

## 心室の放射能曲線から、心拍出量、左右短絡率などを算出。

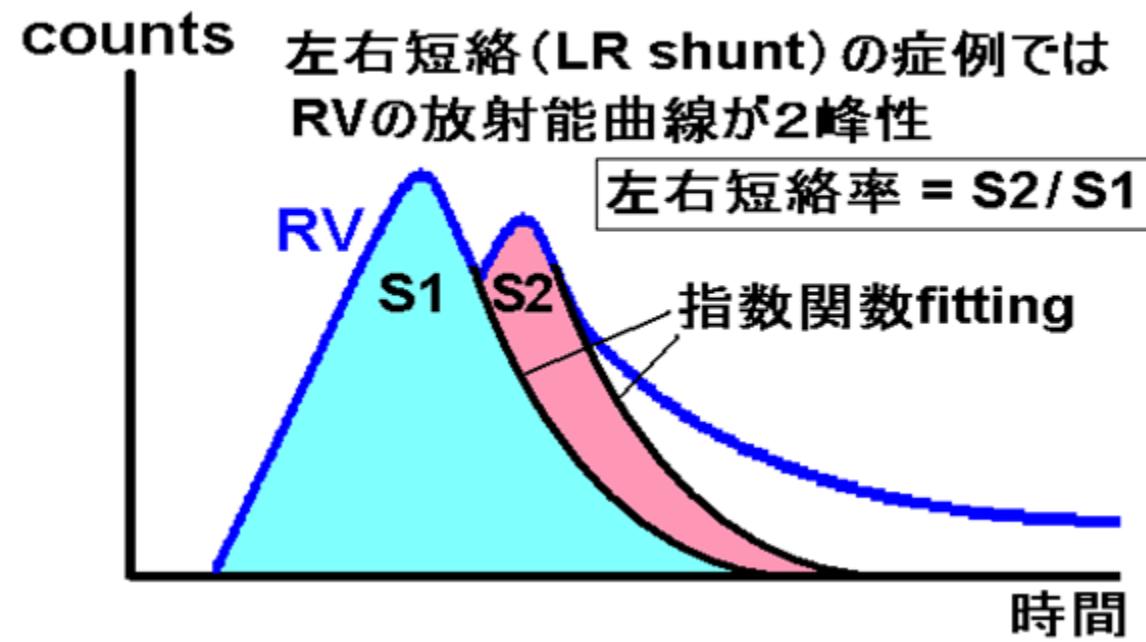
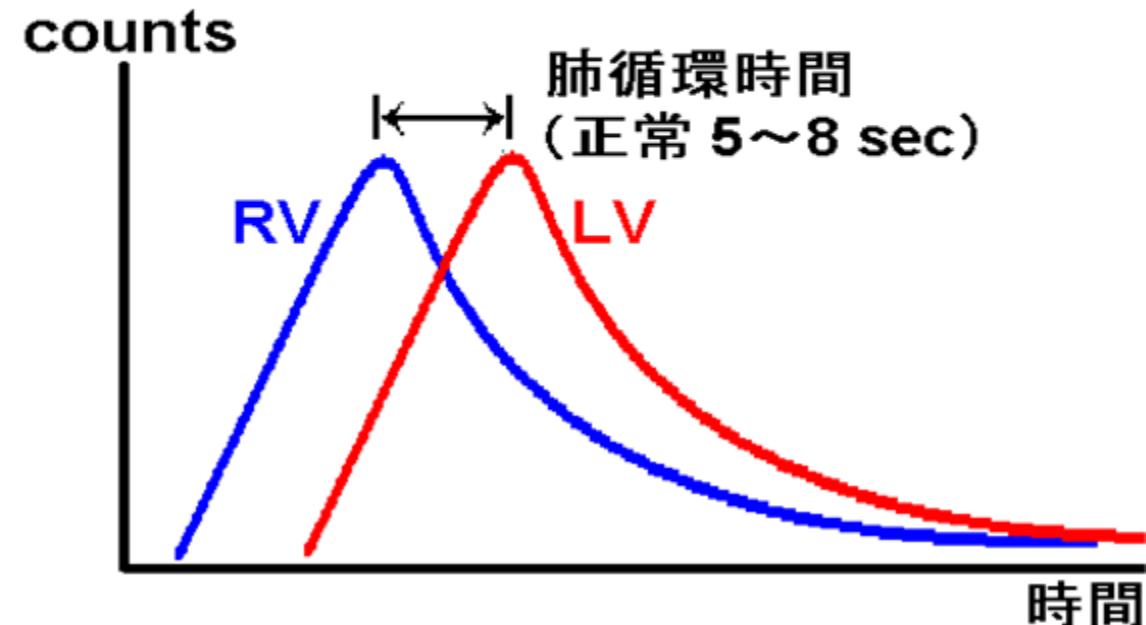


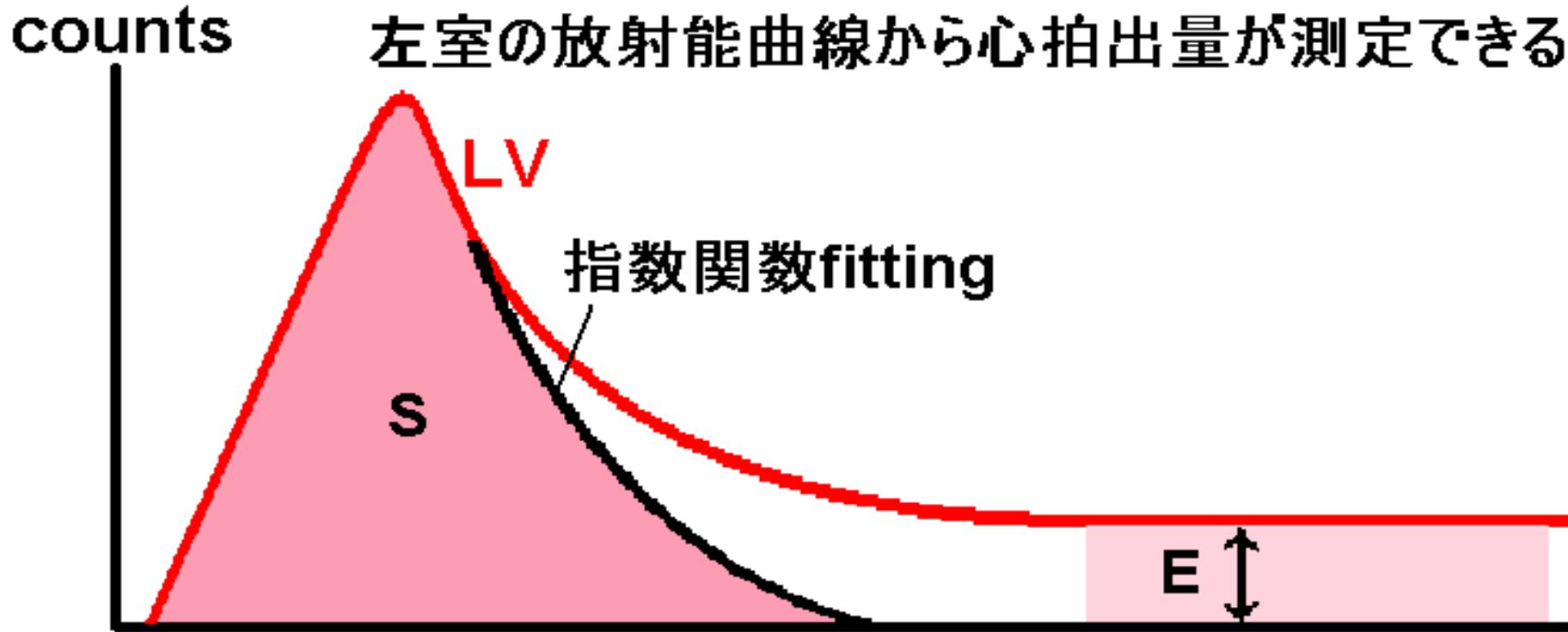
## 静脈投与された<sup>99m</sup>Tcの流れ

肘静脈



## 心放射図





**S** : 左室が大動脈に出した総カウント (counts · min)

**CO (心拍出量 Cardiac Output)**

左室が1分間に大動脈に出す血流量 (ml / min)

**E** : 平衡時(約5分後)の血中カウント (counts)

**CBV** : Circulation Blood Volume 循環血流量 (ml)

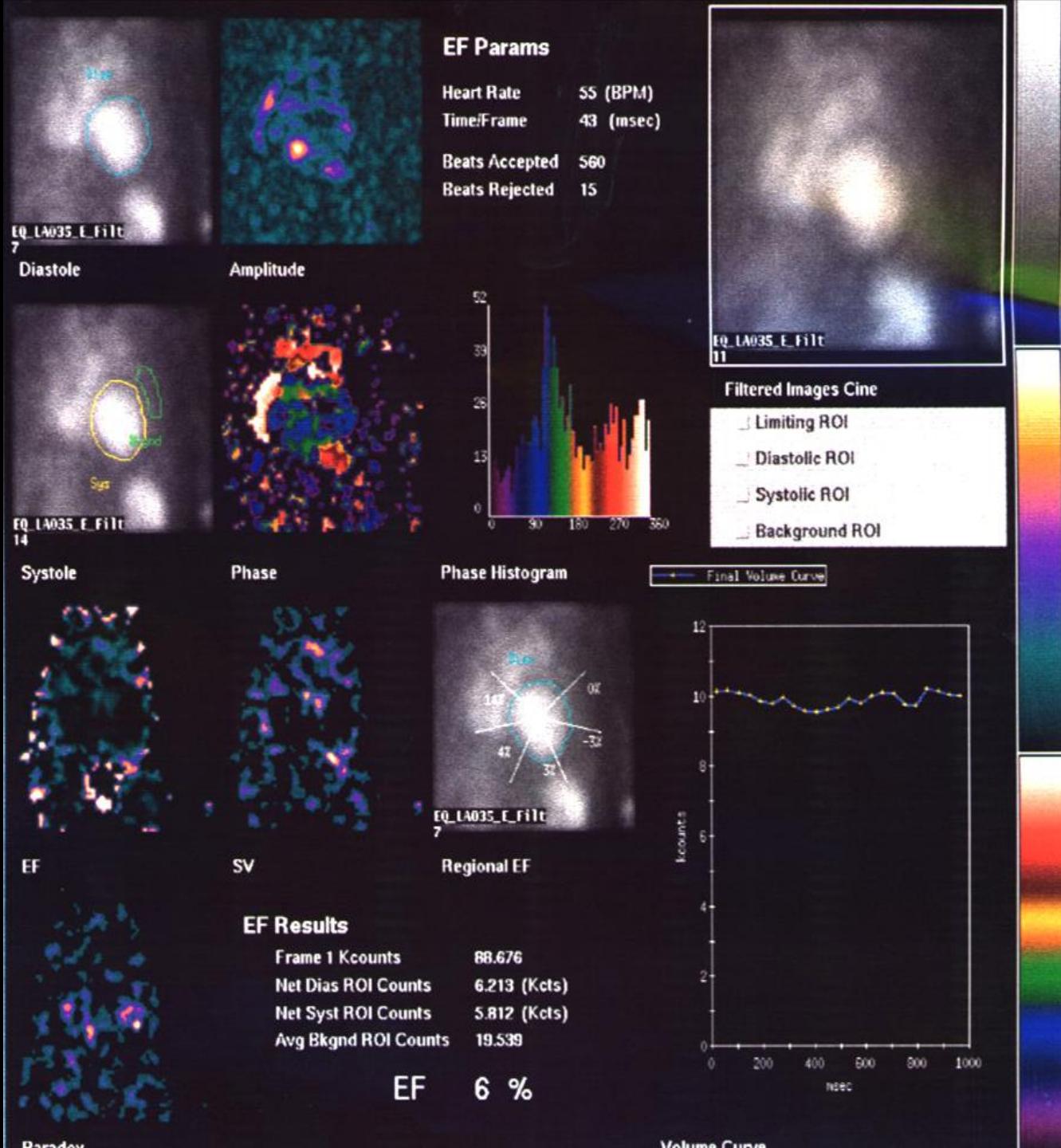
$$CO \cdot S = E \cdot CBV$$

$$CO = (E / S) \cdot CBV$$

# $^{99m}\text{Tc}$ -RBC 心電図同期 心プール像

投与10~20分後  
LAO 30° で  
心臓を心電図同期  
収集。

駆出率、  
左室壁運動など、  
心臓の動きを  
調べる。

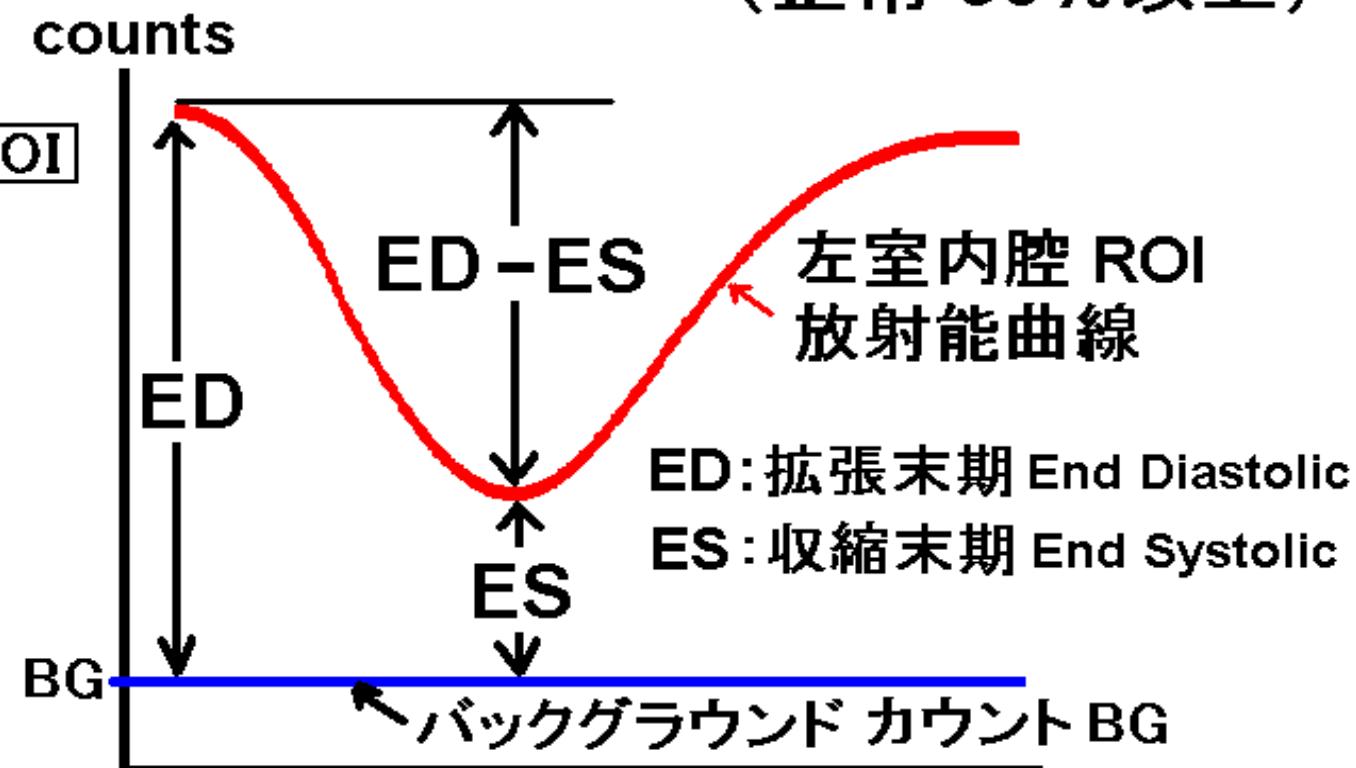
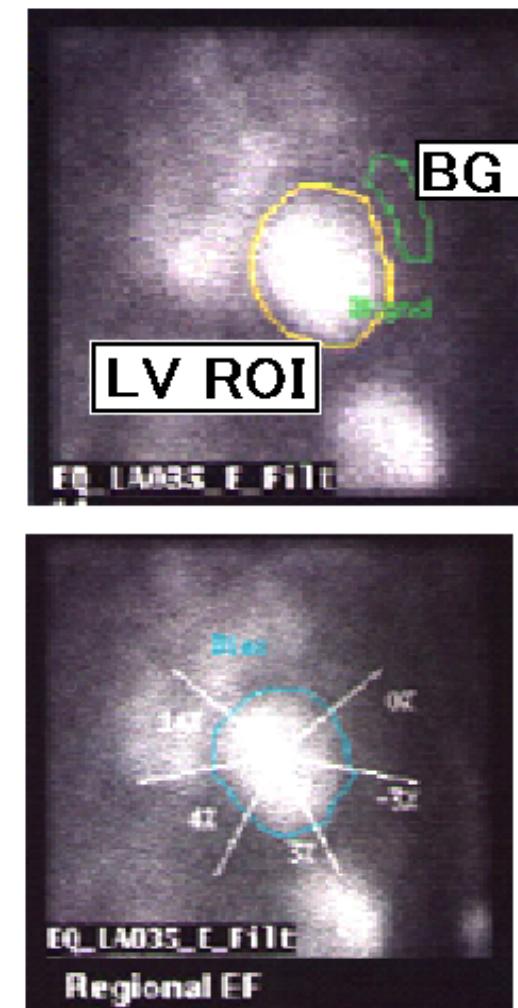


# 心電図同期心プール像での左室駆出率(LVEF)算出法

## Left Ventricular Ejection Fraction

(1回の心拍動で何%の左室内血液を大動脈に出すか)

(正常 60%以上)



$$LVEF = (ED - ES) / ED$$

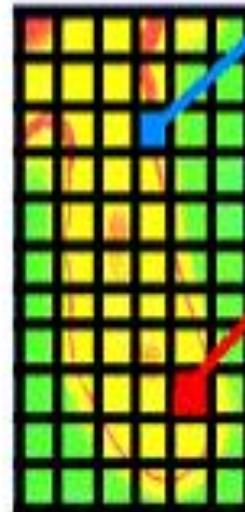
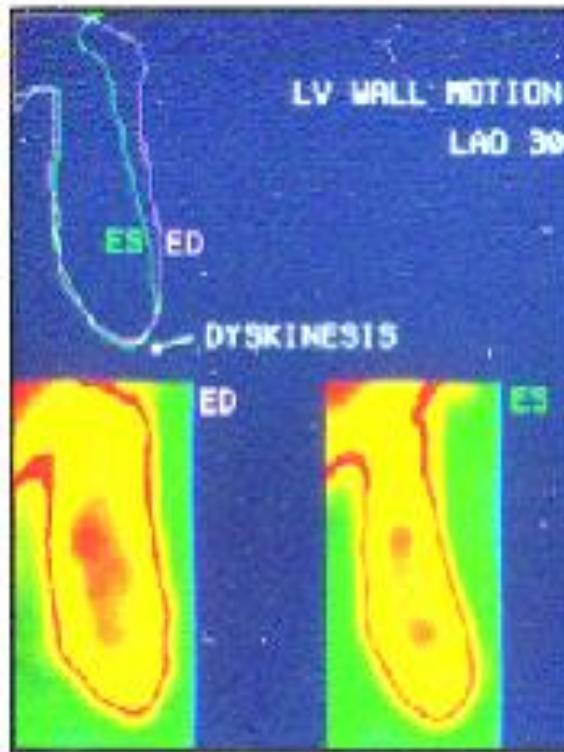
心駆出分画 Regional EF (局所的な駆出率)の算出も可能

左室内腔の  $^{99m}\text{Tc}$ -RBC の放射能の変化率は、  
左室内腔の赤血球量の変化率を算出していることになる。  
心電図同期心プール像での LVEF 算出は、  
左室心筋および左室内腔を囲む領域の赤血球量の変化率  
から、左室内腔容積の変化率を算出している。

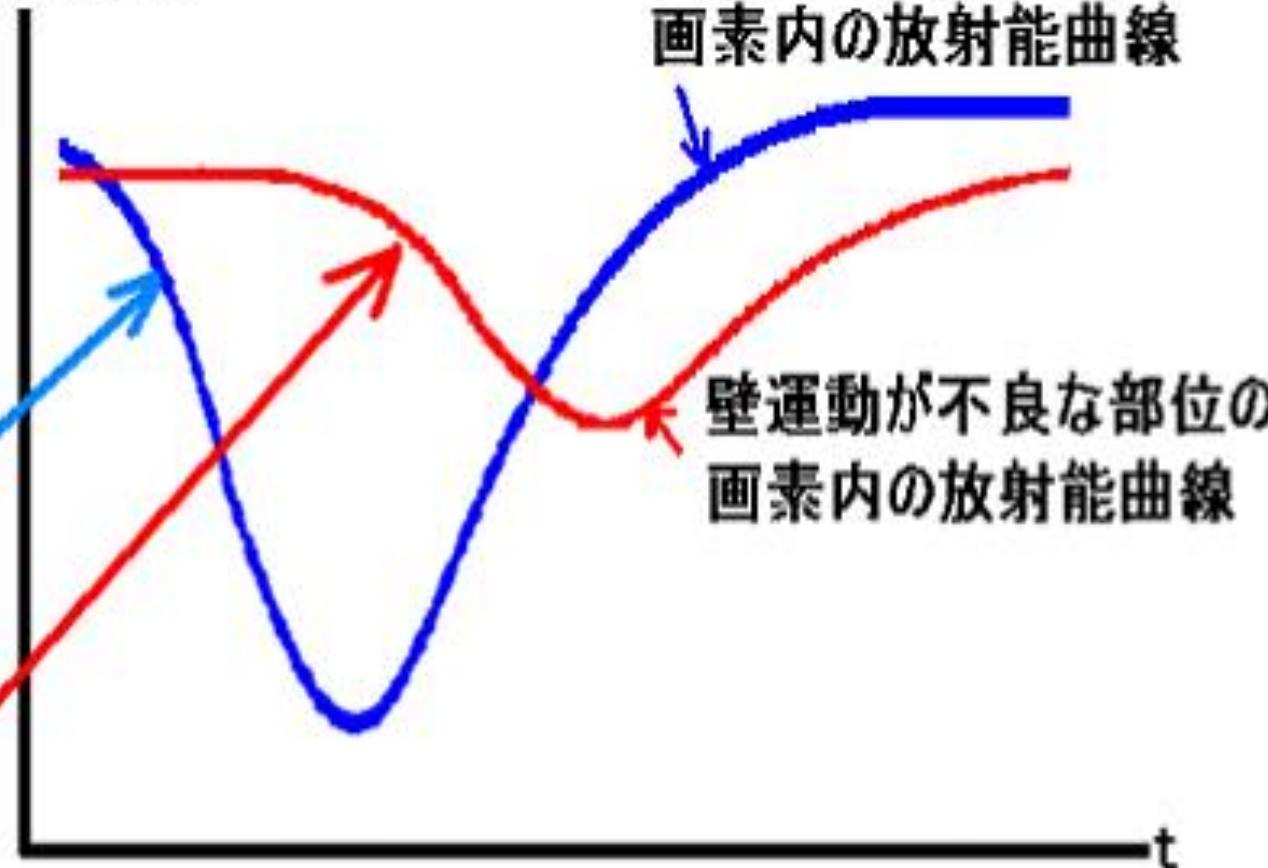
心プール像の左室内放射能曲線 = 左室容量曲線

左室内腔と比べ左室心筋内部は、赤血球分布はわずかで  
あり、厳密に左室内壁に沿うROIを設定しなくても、  
精度の良いLVEFを算出できる。

心筋が収縮しない部位は、  
周囲が収縮してから周囲に引きずられて受動的に動く。  
収縮のタイミング(位相)が遅れ、振幅も低下する。



counts

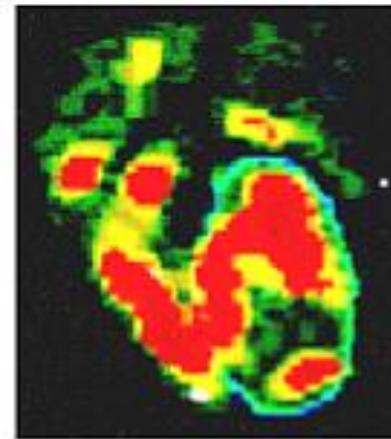


# 心電図同期心プール像の位相解析、振幅解析

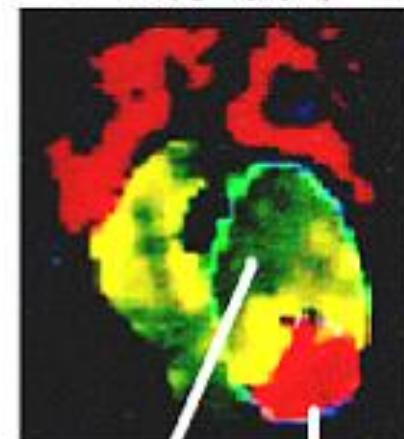
各画素の放射能曲線を1次Fourier fittingし、 $A \sin(t - \theta)$ の曲線に近似する。

$A$ が左室内の各部位の運動振幅、 $\theta$ が位相(タイミング)を表現する。

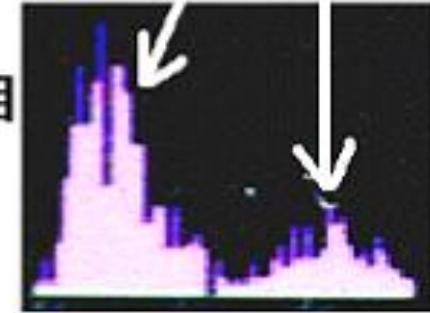
Amplitude  
振幅画像  
 $A$ の分布図



Phase  
位相画像  
 $\theta$ の分布図

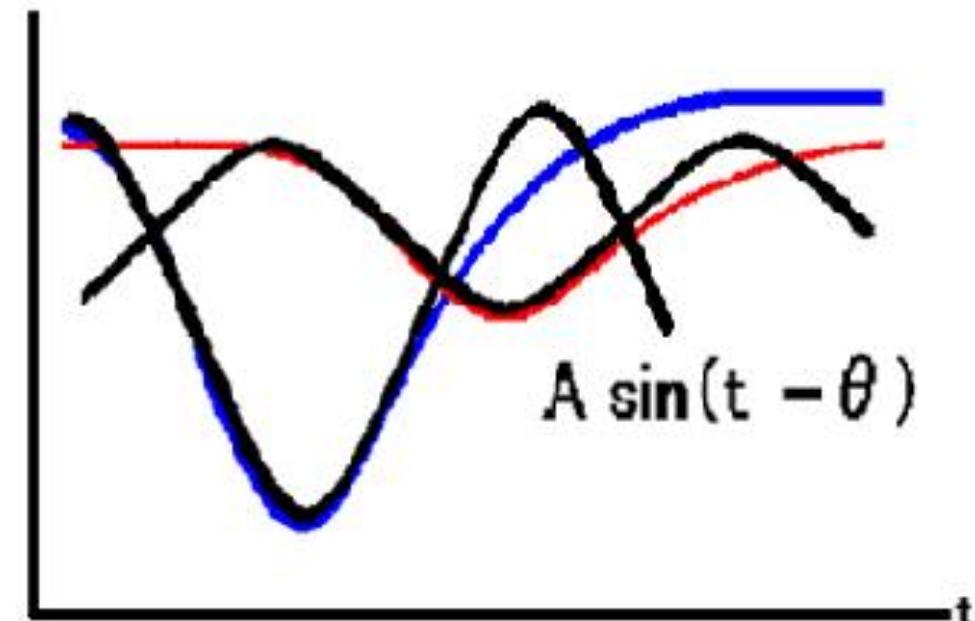


左室 ROI 内の位相  
 $\theta$ のヒストグラム



壁運動が異常な  
部位の存在が  
わかる

$\theta$ 正常     $\theta$ が大(遅れている)



# $^{15}\text{O}$ -CO 心電図同期PET 短軸像 (COは赤血球に取り込まれる)

Quantified PET Image



CO

(kBq/mL)

40  
39  
38  
37  
36  
35  
34  
33  
32  
31  
30  
29  
28  
27  
26  
25  
24  
23  
22  
21  
20  
19  
18  
17

拡張末期



収縮末期



右室(RV)

左室(LV)

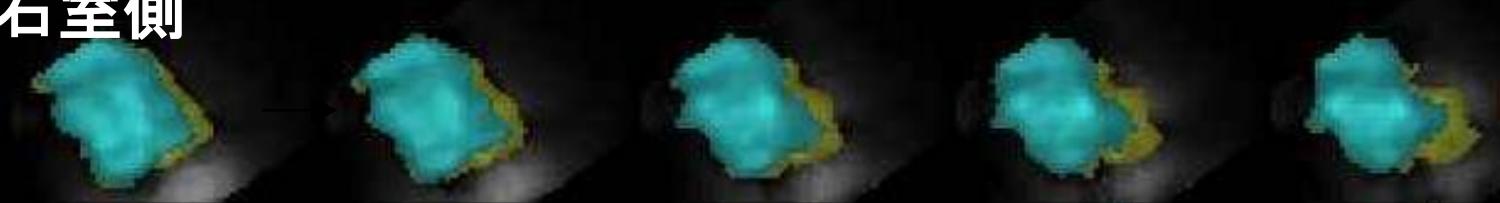
# CO PET 長軸矢状斷面像

青：收縮末期  
黃：拡張末期  
赤：左室心筋

Quantified PET Image



右室側



左房



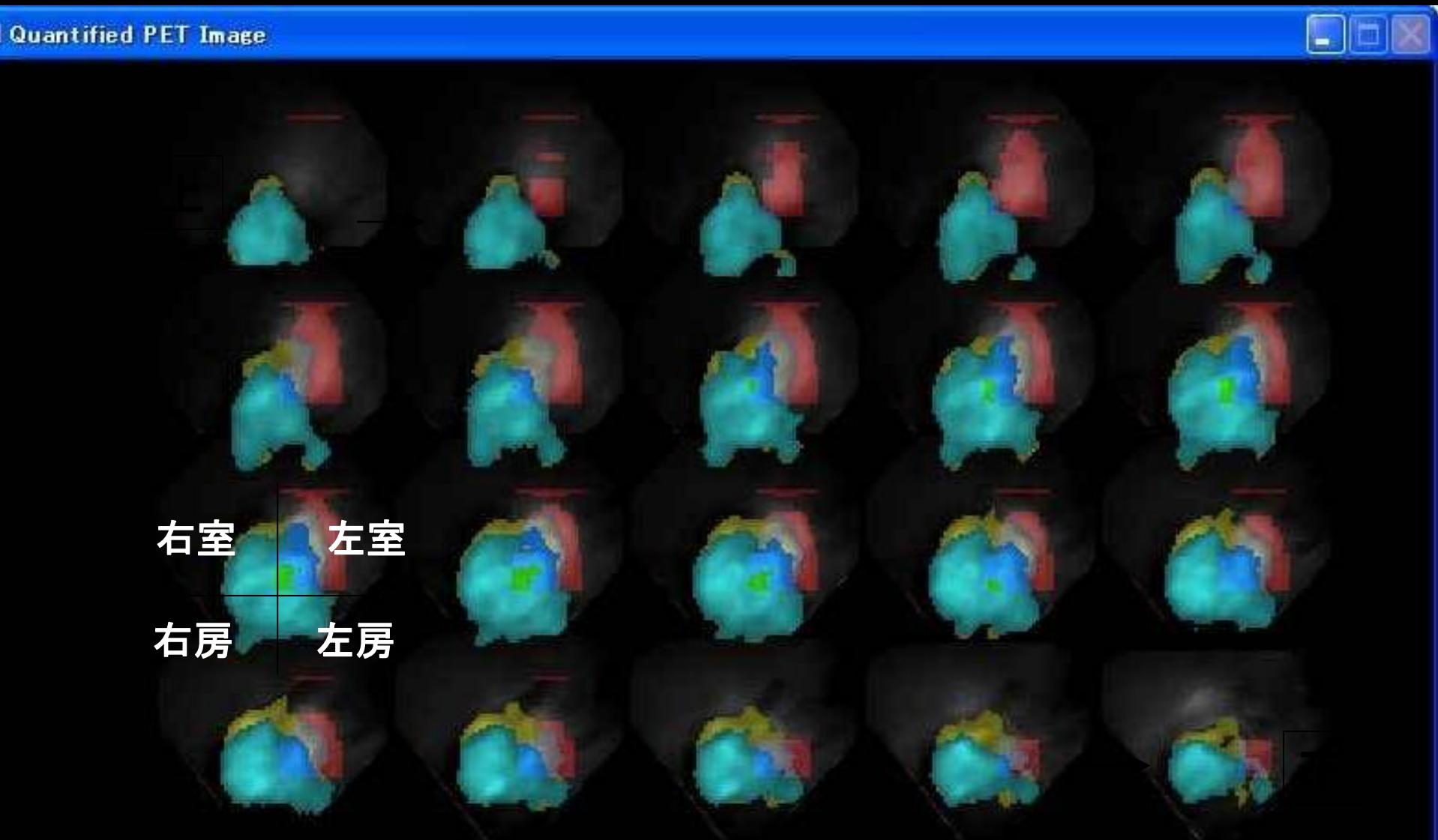
左室



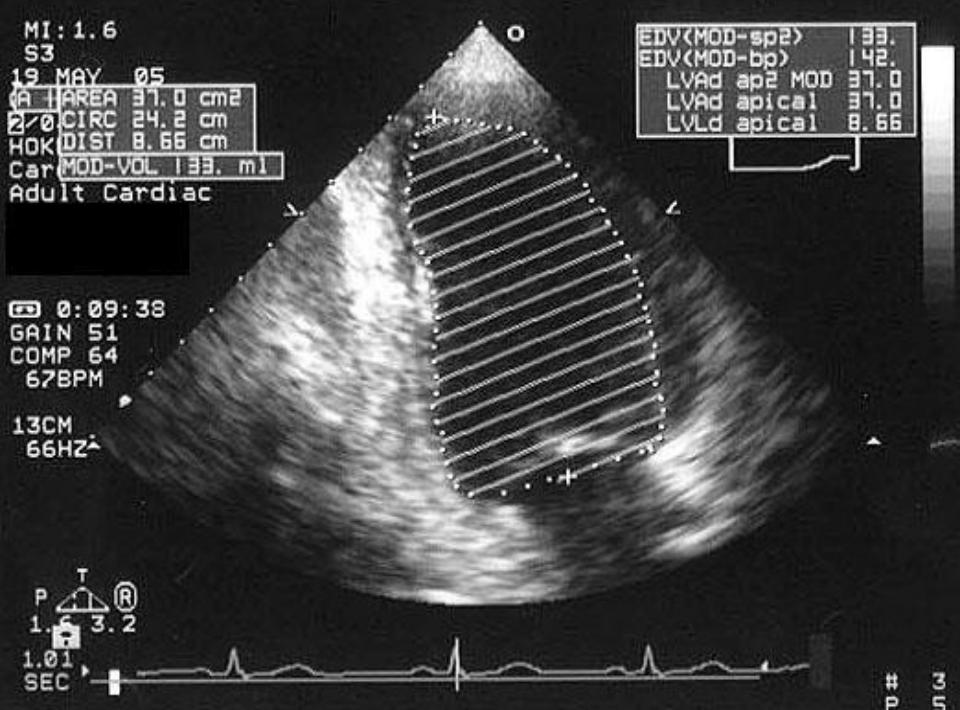
左側

# CO PET 長軸水平斷面像

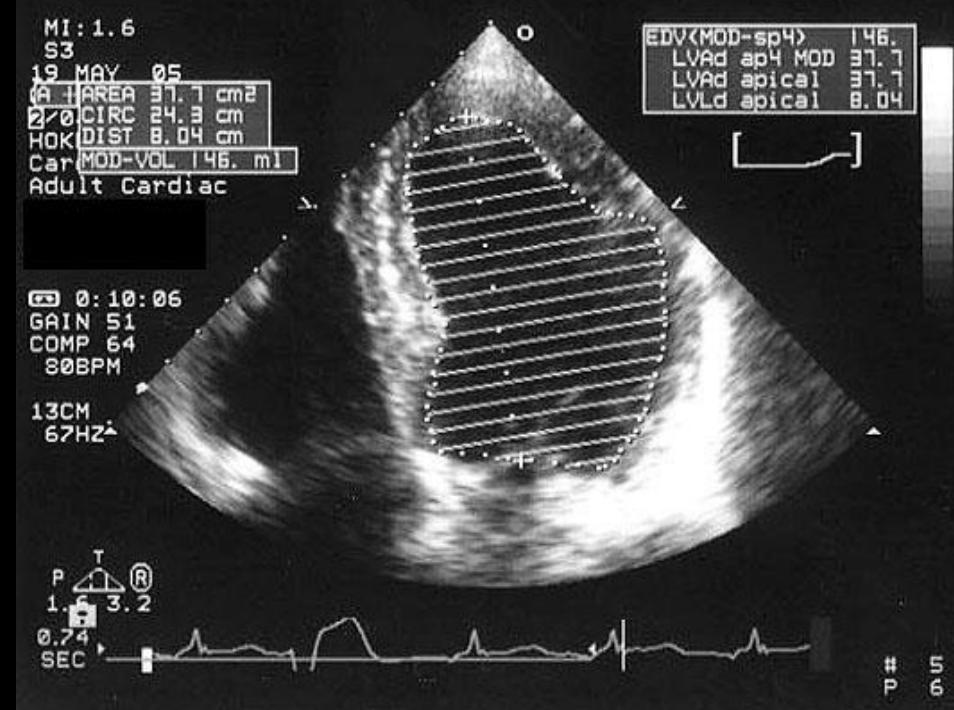
青：收縮末期  
黃：拡張末期  
赤：左室心筋



# 心エコー検査(modified Simpson法)での LVEF 算出



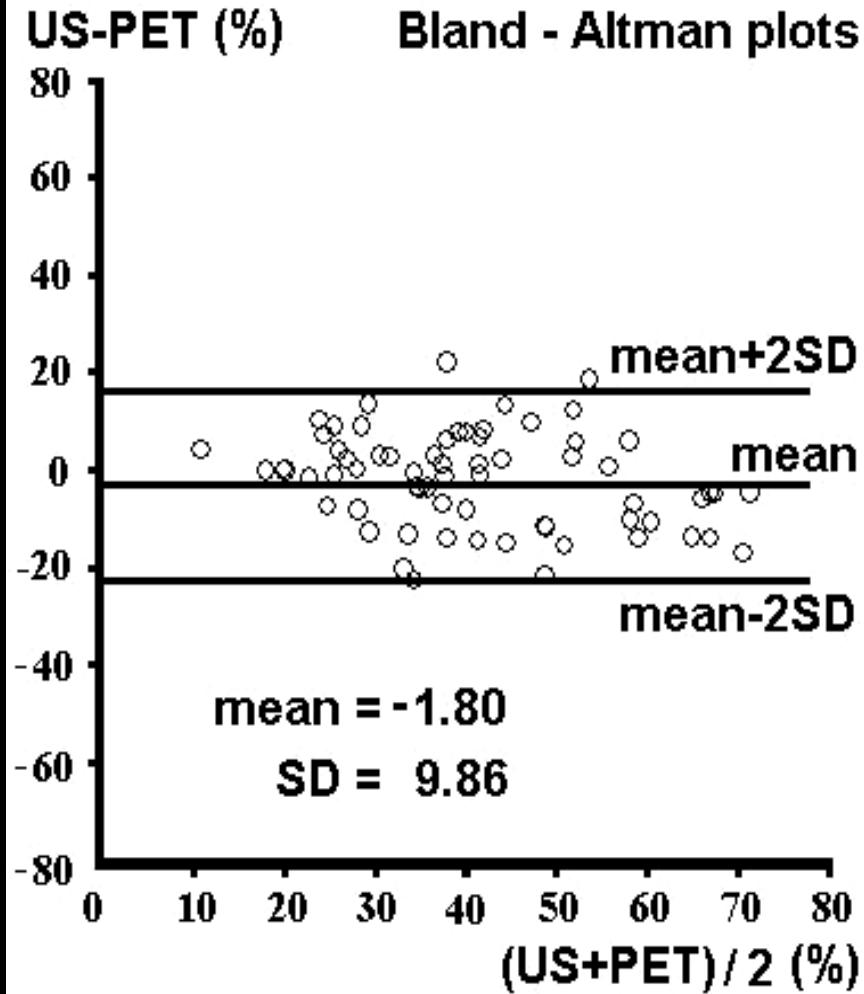
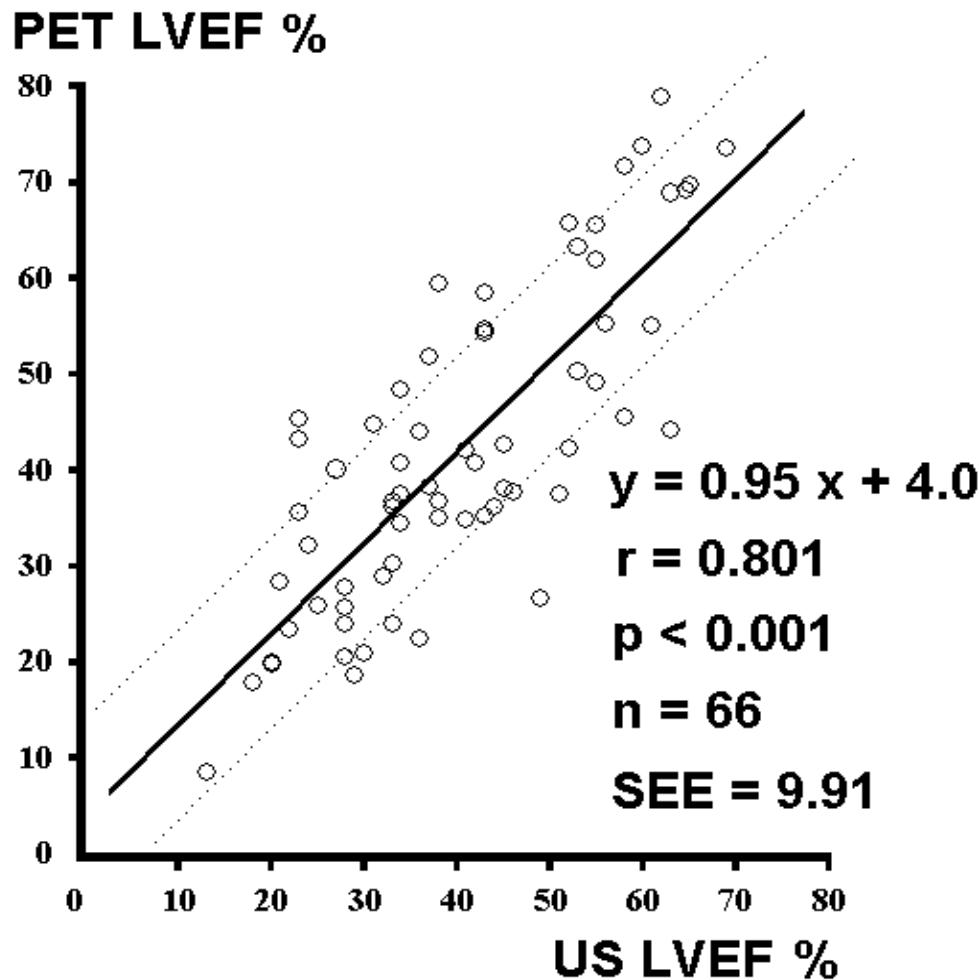
心尖部二腔像



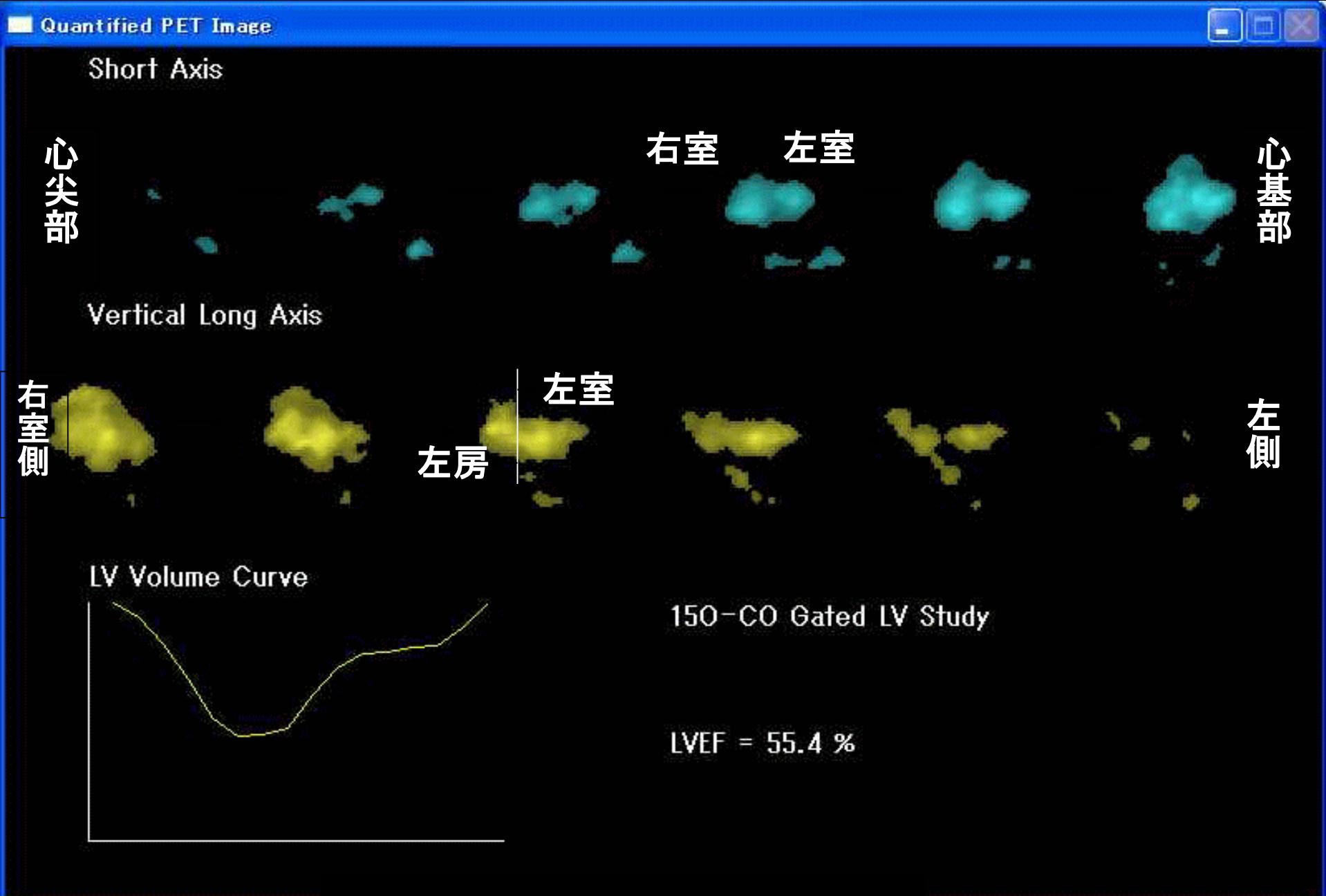
心尖部四腔像

心エコー図の心尖部二腔像と四腔像の収縮末期像と拡張末期像で、左室心内膜をトレースして収縮末期と拡張末期の左室内腔容積を求め、LVEF を算出している。

USとPETでの LVEF値は ほぼ正比例し、  
有意な正相関を示す。

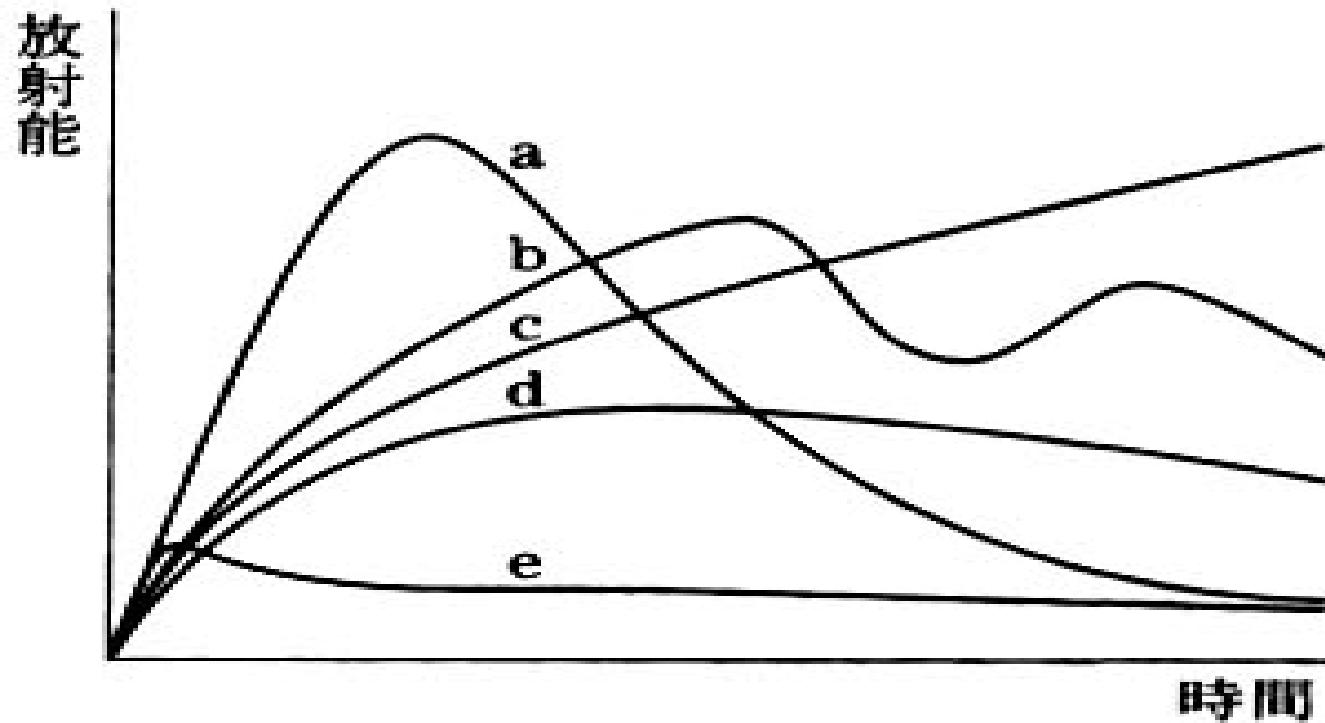


$^{15}\text{O}$ -CO gate の LVEF測定結果は 動画で表示される。



## 【問題 4-137】(平成 10)

図のレノグラムパターンのうちで正常はどれか。



1. a
2. b
3. c
4. d
5. e

(注解) レノグラムは尿中への排泄の早い放射性薬剤を静注後、腎に当たった検出器により、腎への排泄状態をグラフに画いたもので、正常腎では排泄が早いので a の曲線となる。

## $^{99m}$ Tc-DTPA Renography

- $^{99m}$ Tc 141 keV、LEHRコリメータ。

前処置: 30分前に水負荷(250mL程度の飲水)を行う。

$^{99m}$ Tc-DTPA 200MBq / 50kg をボーラス静脈注射し、

直後より背面像をダイナミック収集。64x64マトリックス。

最初の3分間(血流相)は、1フレーム5秒

続いて20分間(排泄相)は、1フレーム10秒で撮像。

必要があれば利尿剤を投与してダイナミック収集を続ける。

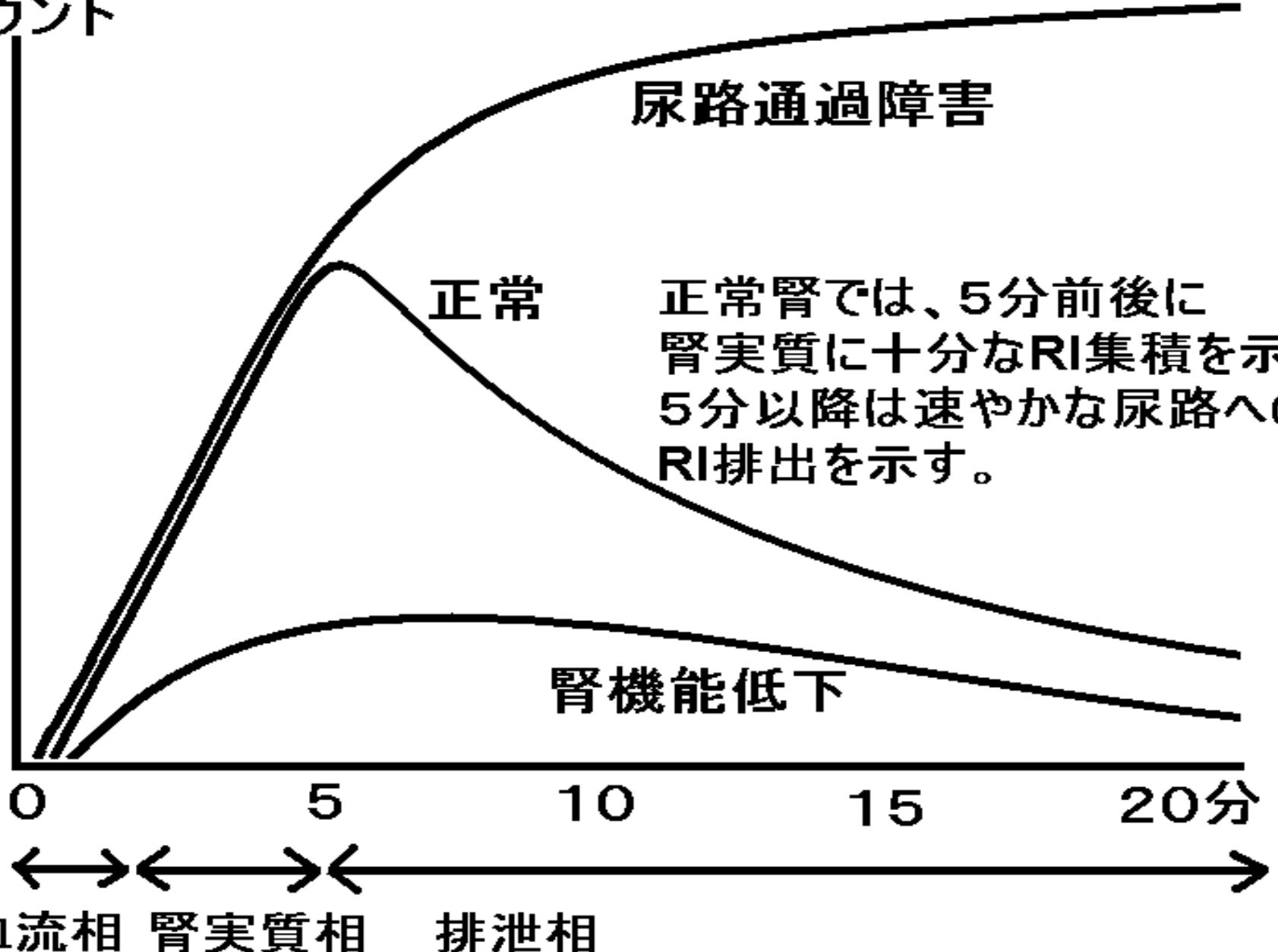
左右腎臓に关心領域(ROI)を設定し、

各腎臓の時間放射能曲線を作成(renogram).

Renogramの1.5分から2.5分(小児では1分から2分)の間の積分値が、糸球体濾過率GFRと相関する。

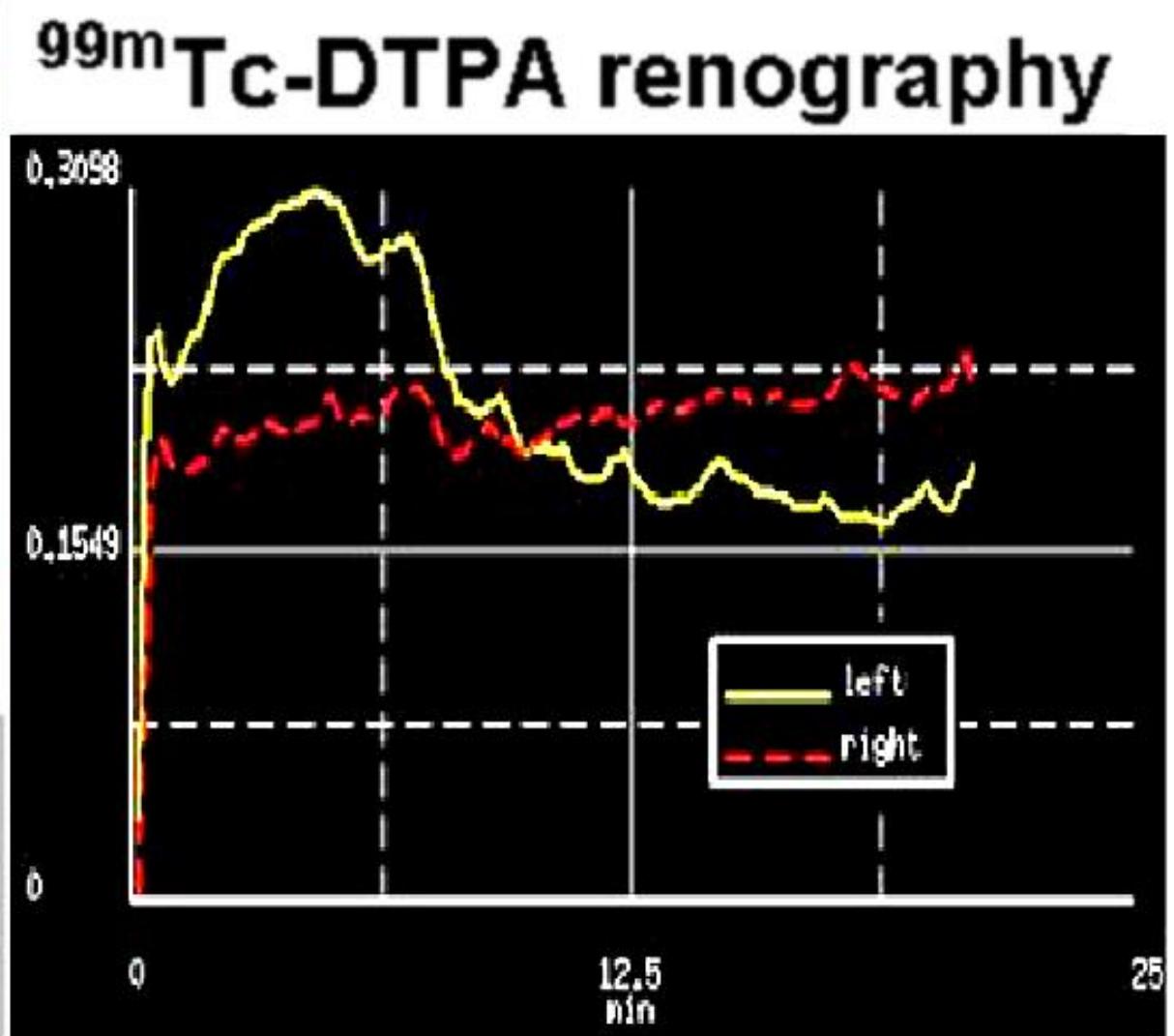
# $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA レノグラムのパターン

腎ROI  
カウント





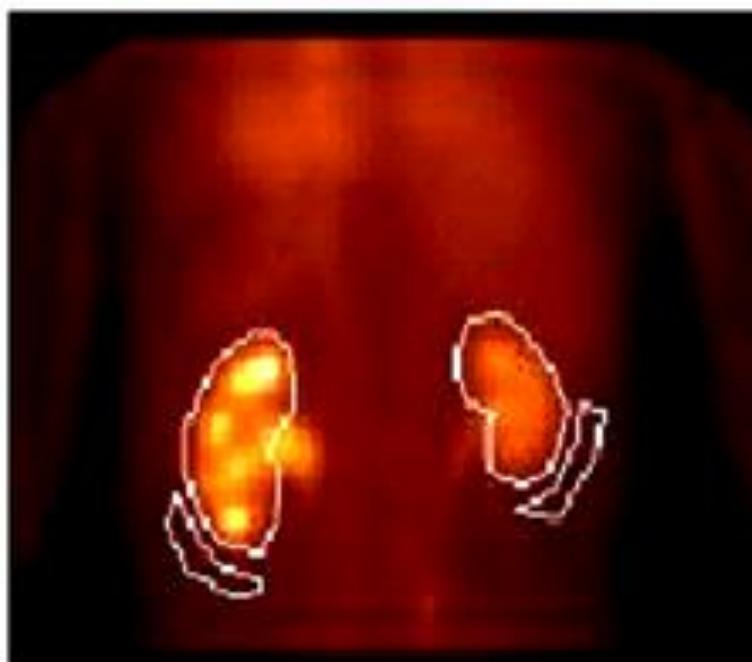
	Left	Right	Total
Tmax (min) :	4.50	20.83	
Cmax (kcpm) :	5.54	4.27	
T1/2 (min) :	14.33	0.17	
Counts (kcpm) :	67.81	48.63	116.44
Uptake (%) :	3.79	2.72	6.51
Split (%) :	58.23	41.77	100.00
GFR (ml/min) :	33.27	23.74	57.01
Normalized GFR (ml/min) :	69.87		



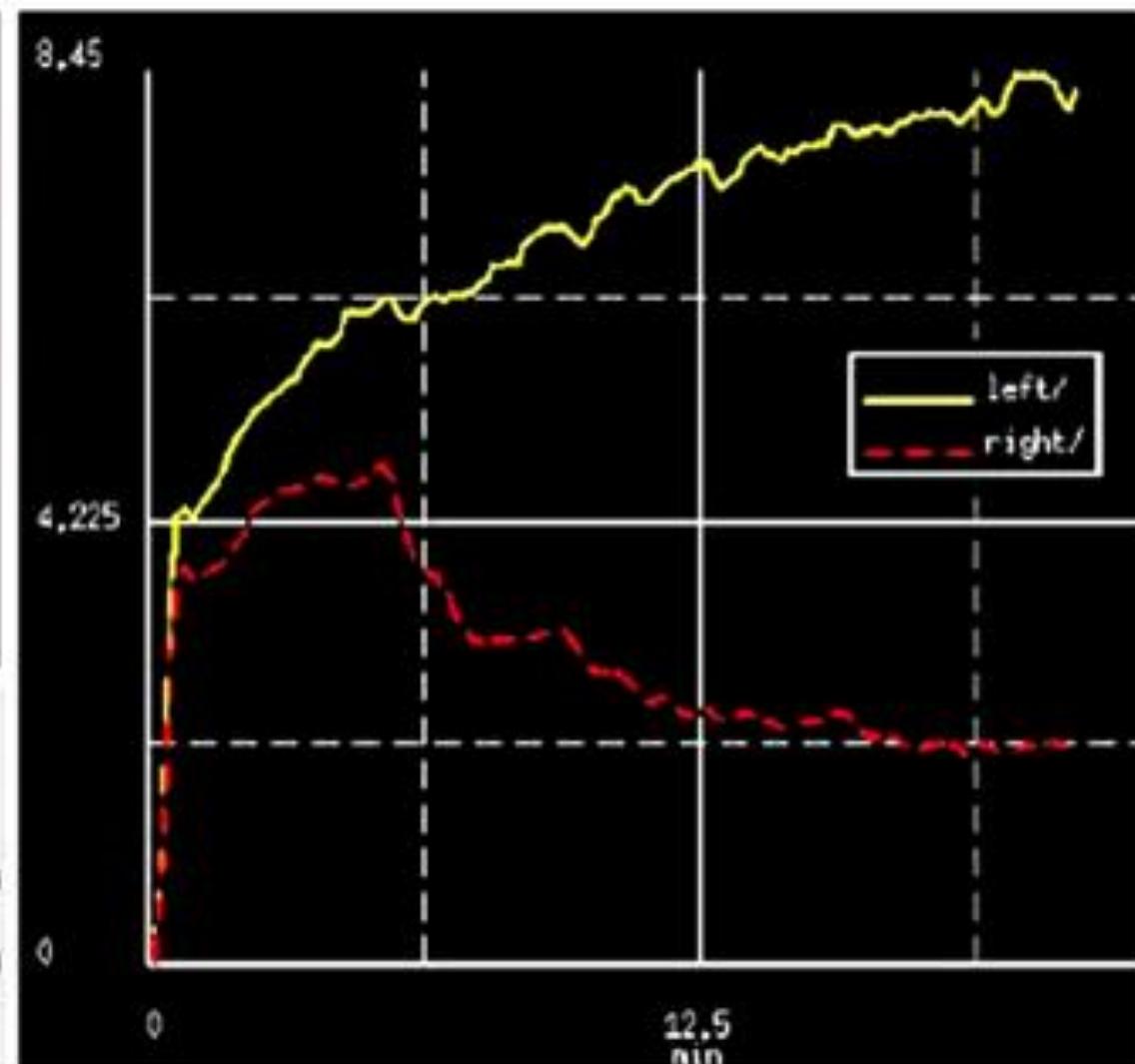
左腎機能は正常下限 GFR=33ml/min (正常 35以上)

右腎機能は低下 GFR=24ml/min

分腎比 右 : 左 = 42 : 58 右分腎比低下



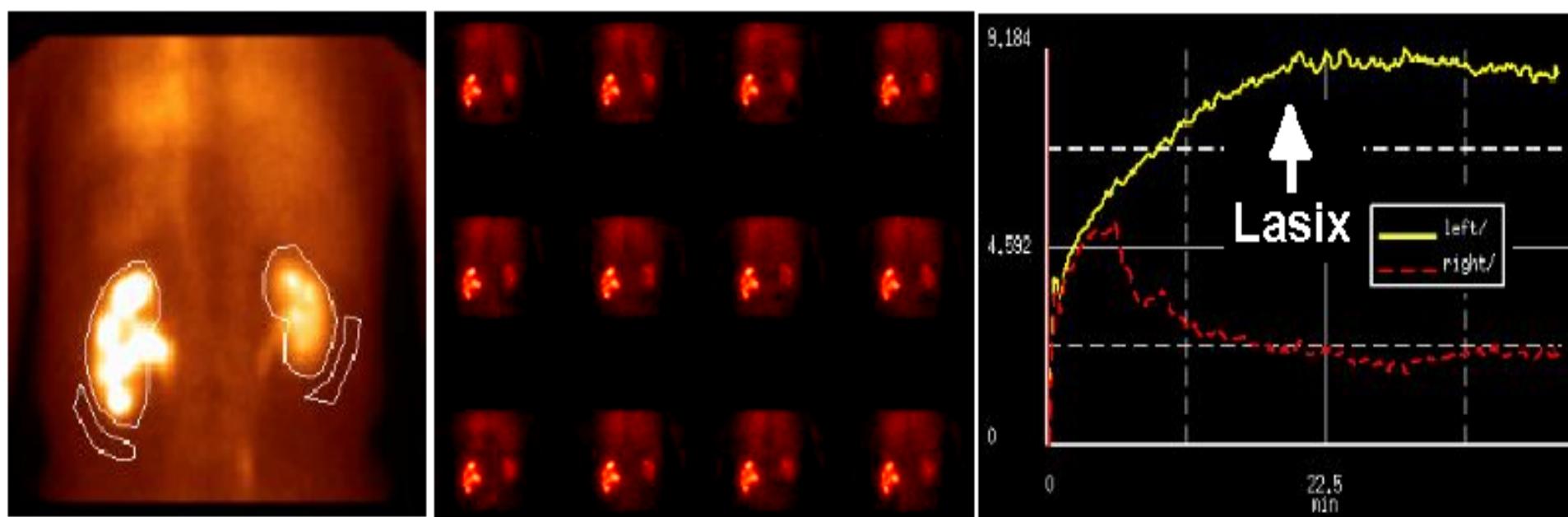
	Left	Right	Total
Tmax (min) :	28.83	5.50	
Cmax (kcpm) :	9.18	5.16	
T1/2 (min) :	10.33	7.00	
Counts (kcpm) :	78.65	73.63	152.28
Uptake (%) :	4.92	4.61	9.53
Split (%) :	51.65	48.35	100.00
GFR (ml/min) :	44.91	41.76	86.67
Normalized GFR (ml/min) :	86.06		



右腎機能正常 GFR=42ml/min

左腎機能正常 GFR=45ml/min

左腎杯腎孟に尿停滞の持続



尿路通過障害のある症例では利尿レノグラムが診断に有効。

$^{99m}\text{Tc}$ -DTPA 投与 20 分後に、利尿剤(フロセマイド、薬品名 Lasix)を静脈注射。

この症例では、Lasix 投与後にも 左腎孟尿管移行部(PUJ)から  
尿排泄がほとんどないので、左PUJの高度狭窄。手術が必要。  
(Lasix投与後に尿管への尿排泄があれば手術は不要。)

## 【問題 4-138】(平成 15)

$^{99m}\text{Tc}$ -DTPA 腎シンチグラフィについて

正しいのはどれか。

1. 有効腎血漿流量 (ERPF) が測定できる。
2. 腎臓関心領域 (ROI) は両側まとめて 1 個でよい。
3. 放射性医薬品投与の 2 時間前に飲水させる。
4. 坐位で動態撮像を行うのが一般的である。
5. 腎血管性高血圧の診断にはカプトブリル負荷を行う。

(注解) 1.  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA 腎シンチグラフィのみでは  
有効腎血漿流量の測定はできない。

2. 腎臓関心領域は両側まとめるだけでなく、分画しても行う。
3. 放射性医薬品投与の 30 分前に飲水させる。
4. 動態撮像は通常背臥位で行う。
- 5 の記述は正しい。

## $^{99m}$ Tc-MAG3 Renography

- $^{99m}$ Tc 141 keV、LEHRコリメータ。

前処置: 30分前に水負荷(250mL程度の飲水)を行う。

$^{99m}$ Tc - MAG3 を 200MBq / 50kg ボーラス静脈注射し、直後より  $^{99m}$ Tc-DTPA と同じく、背面像ダイナミック収集。

左右腎臓に关心領域(ROI)を設定し、各腎臓の時間放射能曲線を作成(renogram).

Renogramの1分から2分の間の積分値が、有効腎血漿流量 ERPF と相関する。

DTPAよりも腎実質への集積が多く、排泄も速やかなので、腎機能が高度低下している症例、小児例では DTPA より MAG3 のほうが有効。

# カプトプリル負荷 レノグラフィ

腎臓には全身血流量をモニターする機能がある。

腎血流が減ると、全身に流れる血液が減ったと判断し、重要な臓器への血流を維持するため、全身末梢血管が収縮して、血圧を保つ生体防御機構がある。

## レニン - アンジオテンシン 血圧制御機構

腎血流が低下すると、腎の傍糸球体から、レニンの分泌が亢進する。レニンは、肝から出るアンジオテンシノーゲンをアンジオテンシン I に変える。アンジオテンシン I は、**アンジオテンシン転換酵素(ACE)**でアンジオテンシン II になる。アンジオテンシン II は、末梢血管を収縮させて血圧を上げ、腎の糸球体輸出細動脈も収縮させる。

# 腎血管性高血圧症(RVH Renovascular Hypertension)

腎動脈が狭窄して、レニン・アンジオテンシン系の血圧上昇のメカニズムが作動するために生じる高血圧。

カプトプリル（薬品名 カプトリル Captril）は、

高血圧を治療する内服薬。

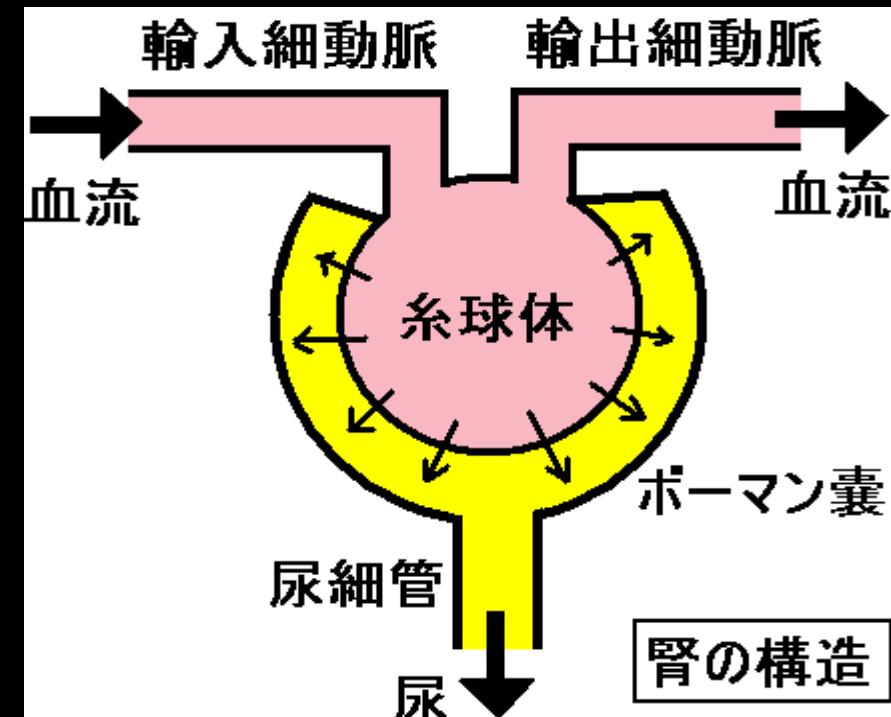
アンジオテンシン転換酵素

(ACE)の阻害剤。降圧薬。

アンジオテンシンⅡが減るので

末梢血管の収縮が減り、

血圧が下がる。



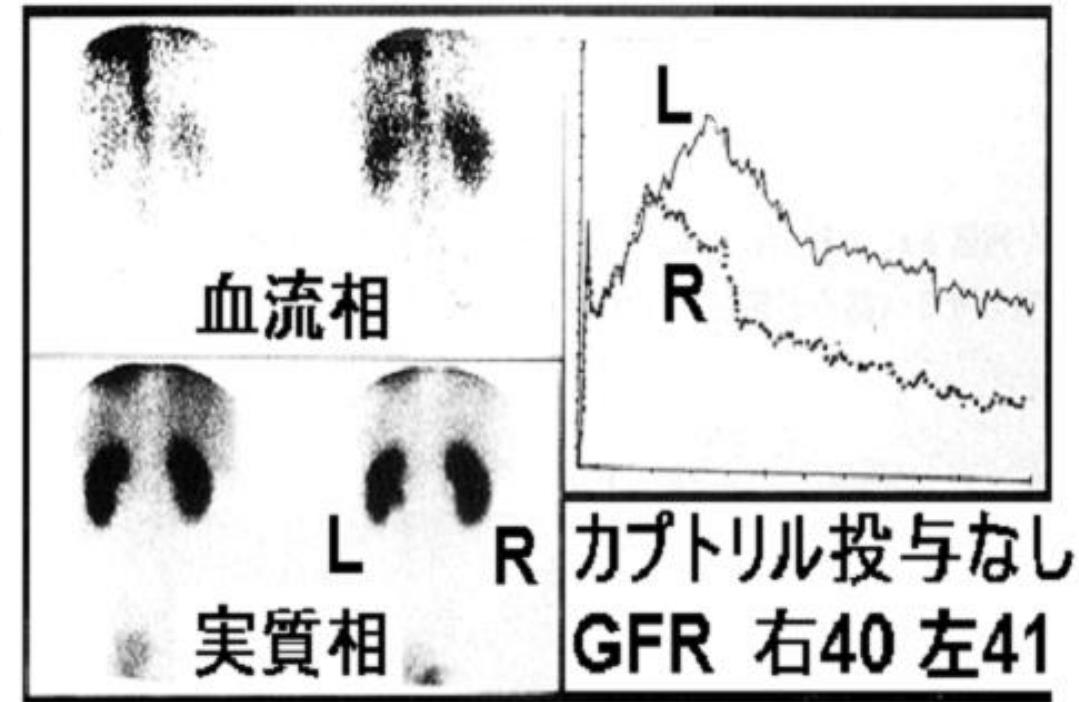
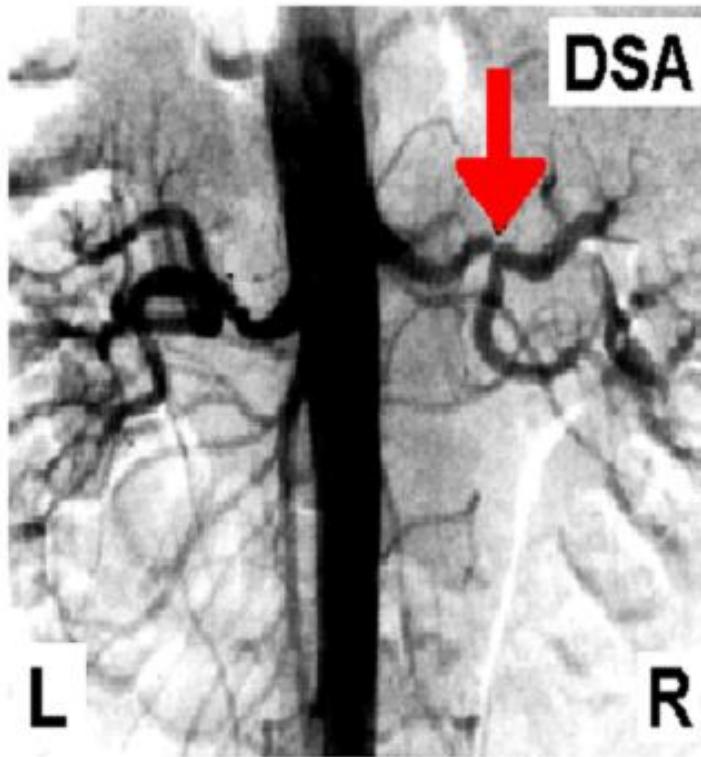
アンジオテンシンⅡは、糸球体輸出細動脈も収縮させる。

腎血流が下がると糸球体内の血圧も下がるので、血中の老廃物を尿に排泄する能力が落ちる(腎実質機能低下)が、糸球体輸出細動脈を収縮させることで、糸球体内の血圧を上げて、腎実質機能を下げないようにしている。

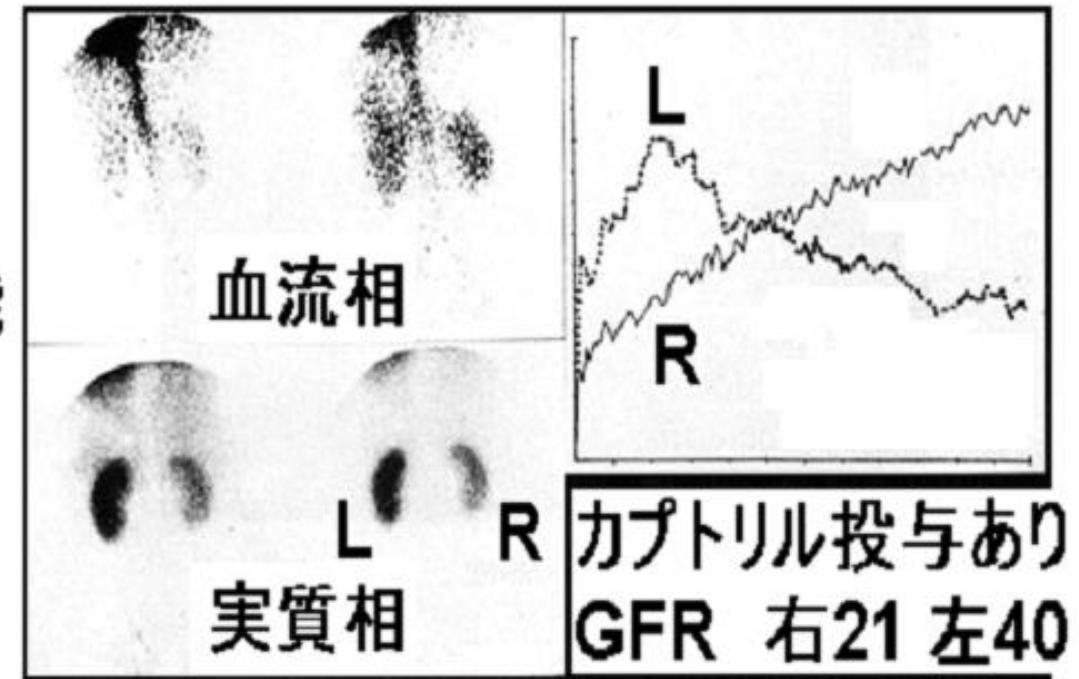
ところが、カプトプリルを内服すると、アンジオテンシンⅡが減るので、糸球体輸出動脈の収縮も減って、腎動脈が狭窄している腎臓の機能が低下する。

# 右腎動脈狭窄

Stenosis in the Rt. renal a.



カプトリル投与で右腎実質機能  
が高度低下し、  
右腎動脈拡張術が必要と  
判断される。



# カプトプリル負荷 レノグラフィ

腎血管性高血圧症(RVH)を診断する検査。

カプトリルまたは同様の降圧薬を服用している場合は、  
検査3日前から内服を中止する。

$^{99m}\text{Tc-DTPA}$  または  $^{99m}\text{Tc-MAG3}$  を静脈注射する  
1時間前に、カプトリル( 25 または 50mg カプセル)を内服。  
30 分前に、水を 250 ml 飲む。

カプトプリル負荷をしない レノグラフィを  
負荷検査の前後数日内に実施することが望ましい。

カプトプリル負荷レノグラフィで、負荷をしない場合と比べ、

腎動脈狭窄を伴う腎の、

実質機能が 75% 以下に減少、または

分腎比が 40% 以下に低下、または

レノグラフィの形状で、明らかに腎実質機能が低下、

を示す場合には、カプトプリルによる反応ありと判断し、

腎動脈狭窄に対して拡張術が必要と診断する。

(反応がなければ拡張術を行う必要はまだ無いと診断。)

また、腎動脈拡張術後の効果判定にも有用な検査である。

カプトプリルの副作用で腎機能低下が著明な症例を見つ  
けられる。 反応があれば カプトプリルの内服を中止する。

## 【問題 4-139】(平成 14)

SPECT 撮像が必須なのはどれか。

1. 骨シンチグラフィ
2. 骨髄シンチグラフィ
3. 脳血流シンチグラフィ
4. 甲状腺シンチグラフィ
5. 肺血流シンチグラフィ

(注解) 3. 脳血流シンチグラフィは局所脳血流分布情報を必要とするので、SPECT 撮像が必須である。

1. 骨シンチグラフィ, 2. 骨髄シンチグラフィ, 4. 甲状腺シンチグラフィ, 5. 肺血流シンチグラフィは、いずれも SPECT 撮像が必須ではない。

## 【問題 4-140】(平成 15)

心筋血流 SPECT について誤っているのはどれか。

1. 運動負荷不足は診断能低下の原因となる。
2. 大きな乳房は見かけの前壁集積低下の原因となる。
3. 薬剤負荷にはアセタゾラミド（ダイアモックス）が使われる。
4.  $^{201}\text{Tl}$  では運動負荷終了 5~10 分後から撮像を開始する。
5.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  心筋血流製剤は肝・胆道系に集積が多い。

(注解) 3. ダイアモックスは、脳血流シンチグラフィに用いる脳血管拡張剤で心筋血流 SPECT には使用しない。

1, 2, 4, 5 の記述はいずれも正しい。

# $^{201}\text{TI}$ Myocardial SPECT (Stress study 負荷試験)

$^{201}\text{TI}$  71 keV LEHRコリメータ

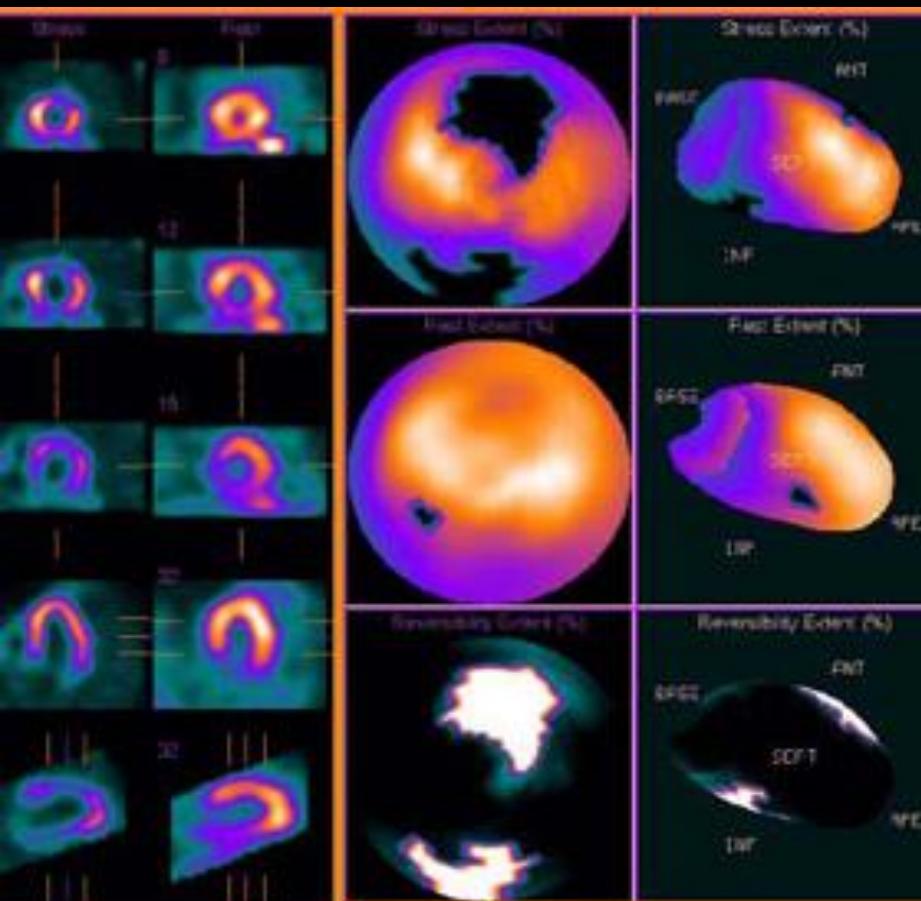
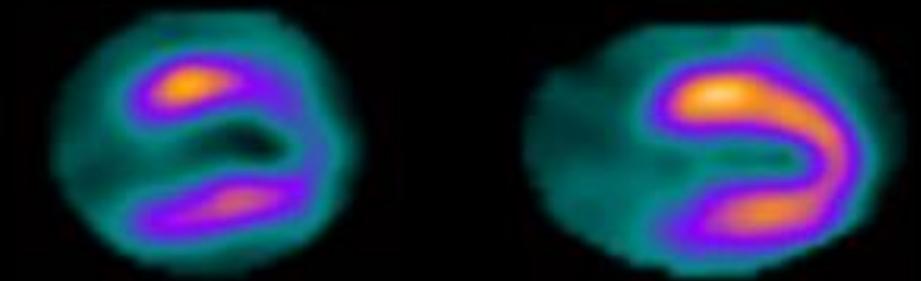
運動負荷、薬剤負荷(血管拡張剤ジピリダモール)直後に  
 $^{201}\text{TI}$  111MBq 静脈投与10分後にSPECT撮像。  
(Stress像)

4時間後に再度撮像するとRest像(安静像)を得る。  
 $^{201}\text{TI}$ は、再分布する(投与後も分布が変化する)。

狭心症の発作を予防する薬剤(ニトログリセリン)を飲んで  
いると、病変部位の狭窄した冠動脈が拡張するので、  
負荷心筋SPECT検査で異常所見が出現しない。

Stress

Rest



# 劳作性狭心症(angina)

Stress像で  
心尖部前壁(apical anterior)  
に局所的血流低下あり、

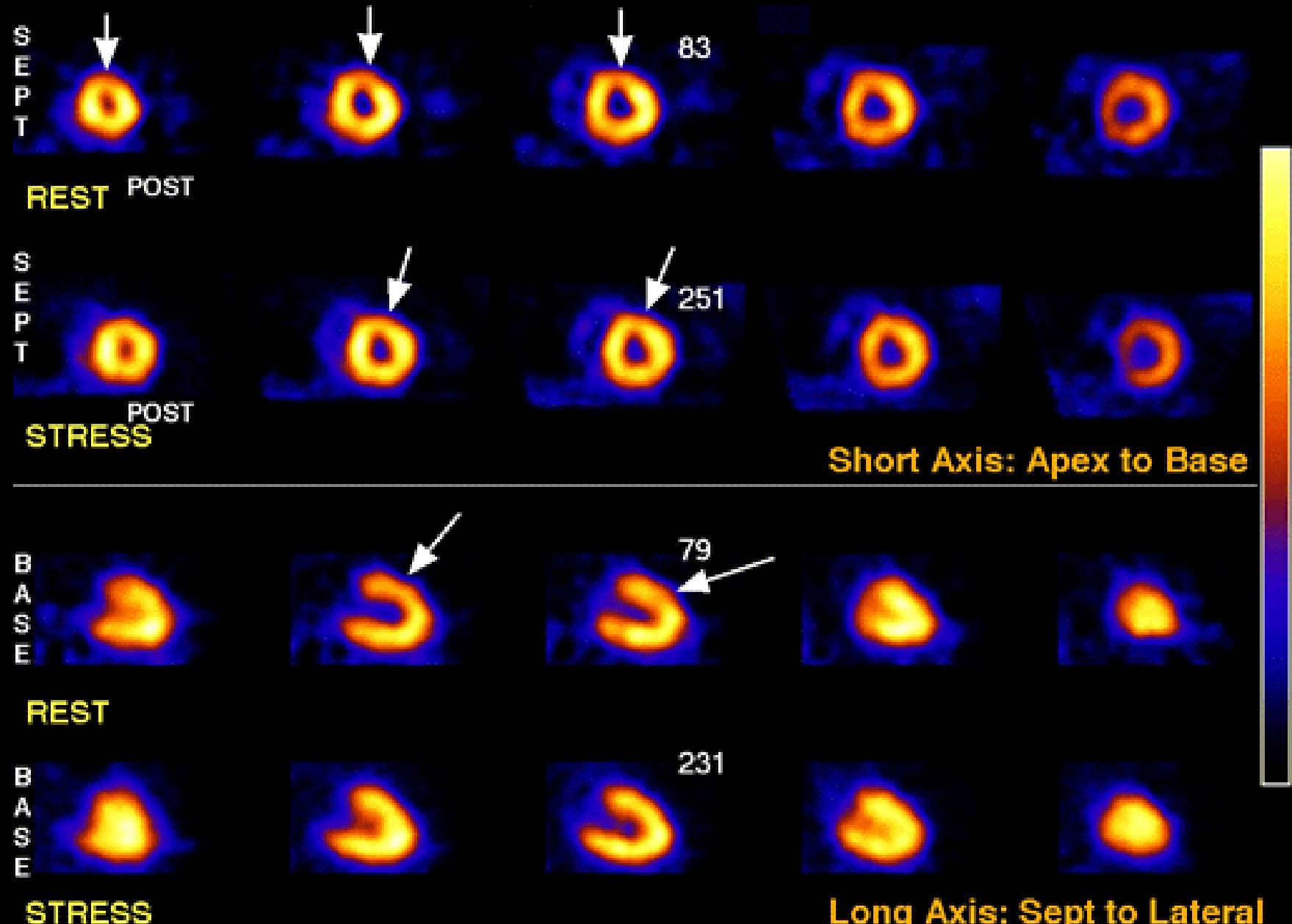
(運動時は心筋血流が4倍になるが、冠動脈が細い場所では、相対的に心筋血流が周囲より低下する。)

Rest像で  
同部位に再分布を示す。

(安静時には、正常部位の分布が低下するので病変部の血流低下所見が消失)

# Breast Attenuation Artifact

乳房の $\gamma$ 線吸収による心尖部前壁の描画低下。



**$^{99m}\text{Tc-MIBI}$ ,  $^{99m}\text{Tc-Tetrofosmin}$  は、胆汁排泄が多い  
ので、SPECTのアーチファクトの原因になる。空腹時に実施。**



**$^{99m}\text{Tc-MIBI}$**



**$^{99m}\text{Tc-TF}$  ( Tetrofosmin)**

アセタゾラミド（薬品名 ダイアモックス Diamox）

炭酸脱水素酵素阻害剤。

利尿作用。 血管拡張作用。

脳血管が正常な部位では脳血流が1.5～2倍になる。

（脳血管が狭窄している部位では増加が乏しい。）

主に  $^{123}\text{I}$ -IMP 脳血流SPECT に用いる。

（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO,ECD でも使うが、血流増大が分かりにくい。）

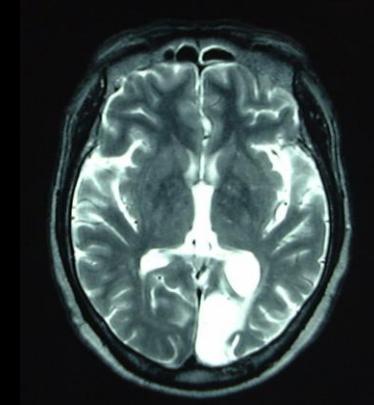
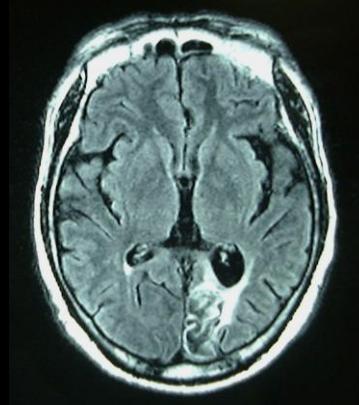
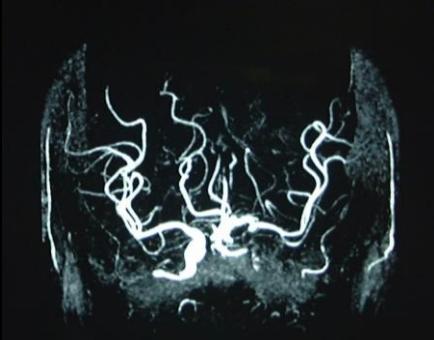
RI 投与10分前に 2バイアル(瓶)(1g) 静脈注射。

利尿作用を伴うので検査前に排尿をしてから実施。

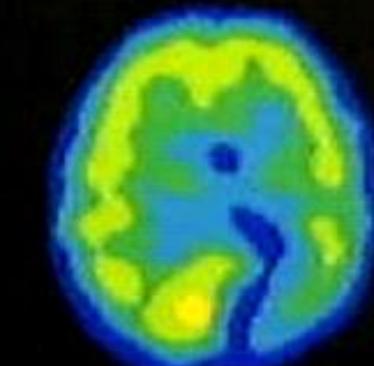
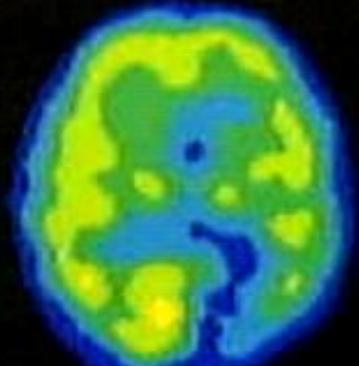
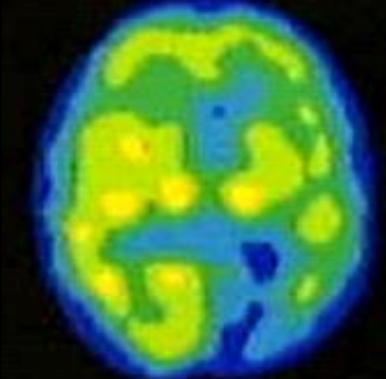
左內頸動脈狹窄、左後頭葉梗塞

Lt IC Occlusion + Lt Occipital infarction

MRI



IMP  
REST



IMP  
Diamox

