

核医学総論、演習 Nuclear Medicine

金曜 3, 4講目 13:00-15:30 [御質問、御問合せ](#)

30年度 講義予定（今年度は1, 2講目の情報科学演習は実施しません）  
演習は、2, 3年で学習した物理系科目全般の 国家試験過去問題の解法を復習する。

4月 6日 休講（保健学科4年 健康診断）

4月 13日 休講（模擬試験）

4月 20日 [講義\\_0](#) [講義00](#)

4月 27日 [講義\\_1](#) [講義\\_2](#)

5月 4日 祭日

5月 11日 核医学試験 [演習\\_1](#)

5月 18日 [演習\\_2](#) [演習\\_3](#)

5月 25日 [演習\\_4](#) [演習\\_5](#)

6月 1日 休講（大学祭）

6月 8日 [演習\\_6](#) [演習\\_7](#)

6月 15日 休講（出張）

6月 22日 休講（出張）

6月 29日 [演習\\_8](#) [演習\\_9](#)

7月 6日 核医学演習試験 解答・成績

## 5月11日 核医学概論 試験問題

1. PET検査で $^{18}\text{F}$ -FDGが腫瘍や炎症病変を検出できる理由を説明せよ。
2.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET検査では検査6時間前から患者に絶食および甘味飲料の中止を依頼するが、それが守られない場合、生じる問題点は何か。
3. X線やガンマ線などの電磁波による放射線は、何の振動エネルギーか。
4. CTの画素値は、人体組織の何を表わしているか。

5. 早期アルツハイマー病患者に、脳の核医学検査を実施する臨床的意義を説明せよ。
6. 被ばくの単位 Sv を説明せよ。
7. 組織加重係数 を説明せよ。
8. しきい値のない放射線障害(確率的影響)を説明せよ。
9. しきい値のある放射線障害(非確率的影響、確定的影響)を説明せよ。
10. センチネルリンパ節シンチグラフィを説明せよ。

# 検査部門と関連のある核医学検査

1. 術中リンパ節転移検査
2. 虚血性、短絡性心疾患検査
3. 甲状腺機能検査
4. 副腎機能検査
5. 肝機能検査

# センチネルリンパ節シンチグラフィ

Sentinel lymph node scintigraphy

Sentinel【名】番人,見張り(guard)

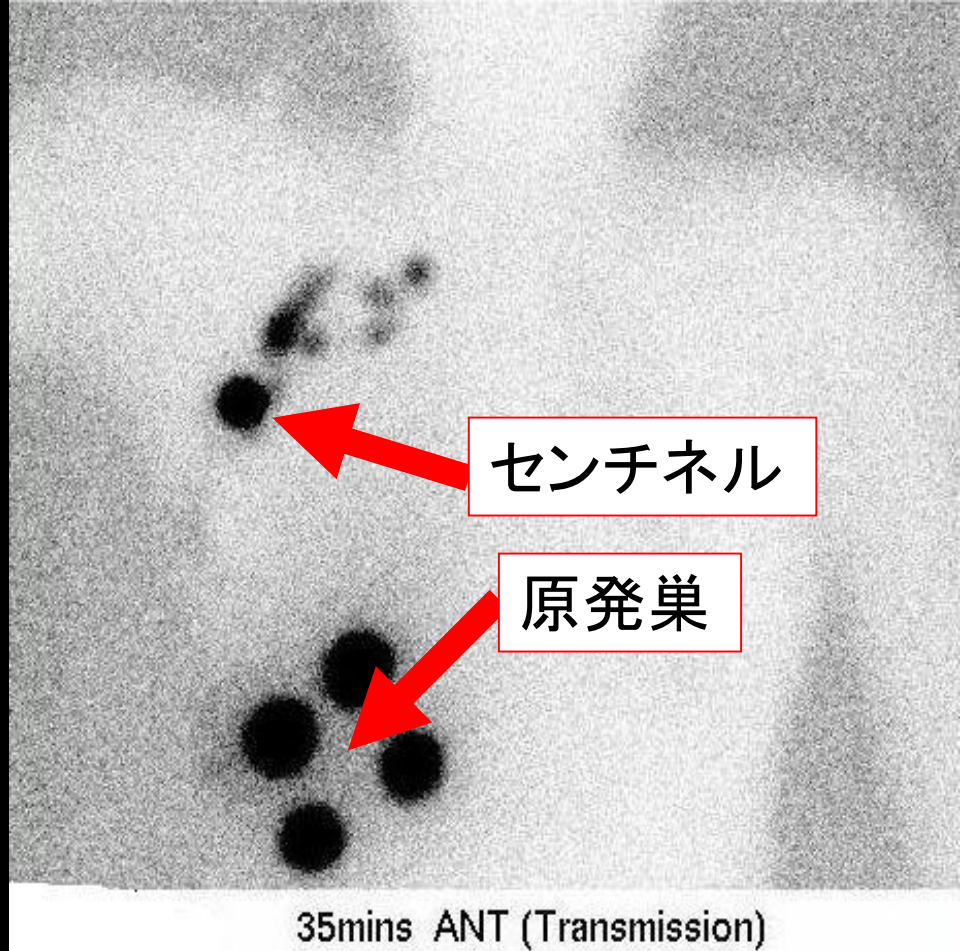
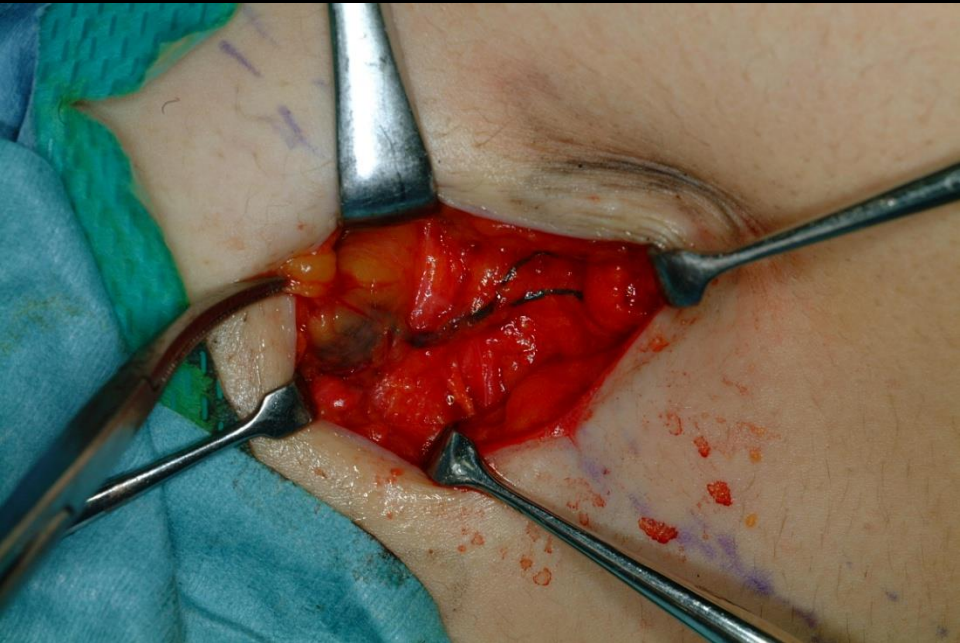
皮膚腫瘍、乳癌など体表近傍の病変周囲に4箇所ほど  
(1箇所 18.5MBq)  $^{99m}\text{Tc}$ -HSAまたは $^{99m}\text{Tc}$ -Sn-colloidを皮下注射し、病変から出るリンパが流れ込むリンパ節  
(センチネルリンパ節)を探す検査。

手術直前に実施、画像を撮像し、さらに術中にガンマ線  
検出器でセンチネルリンパ節を捜査する。

手術でセンチネルリンパ節を摘出し、術中迅速病理診断で、  
そこに転移がなければ他部位にもリンパ節転移なしと判断。  
転移があれば、リンパ節の広汎切除を追加する。

右背部悪性黒色腫.

Malignant melanoma

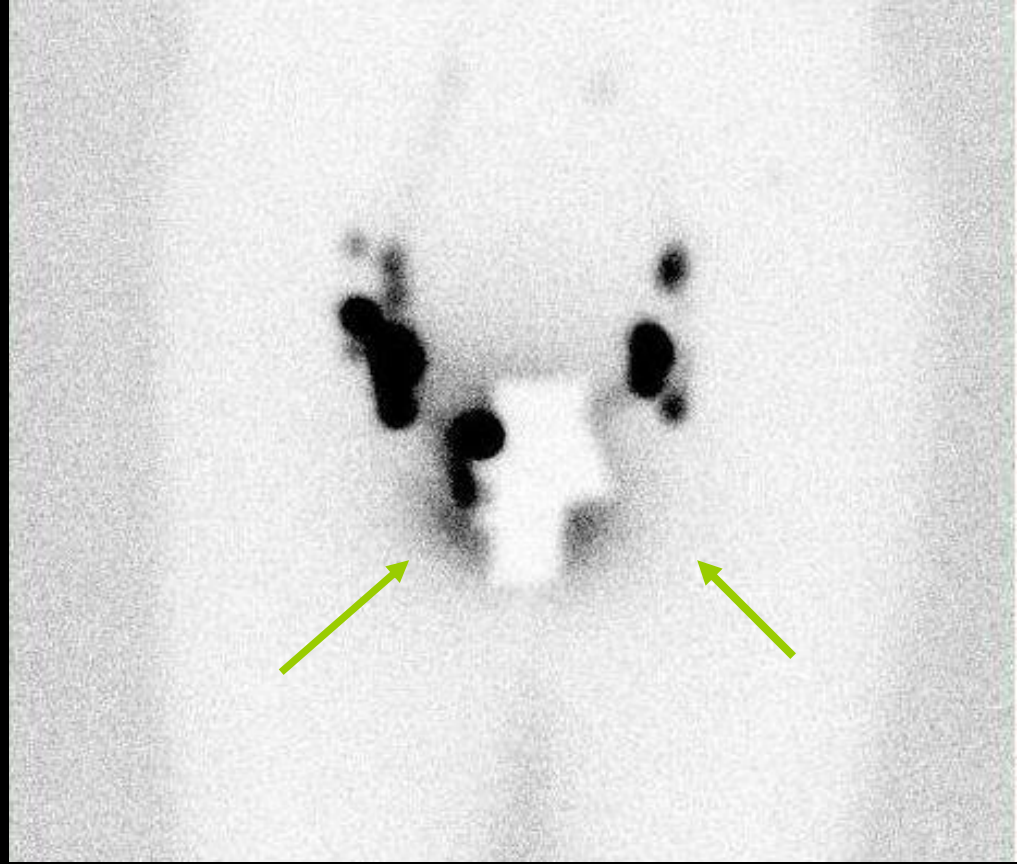
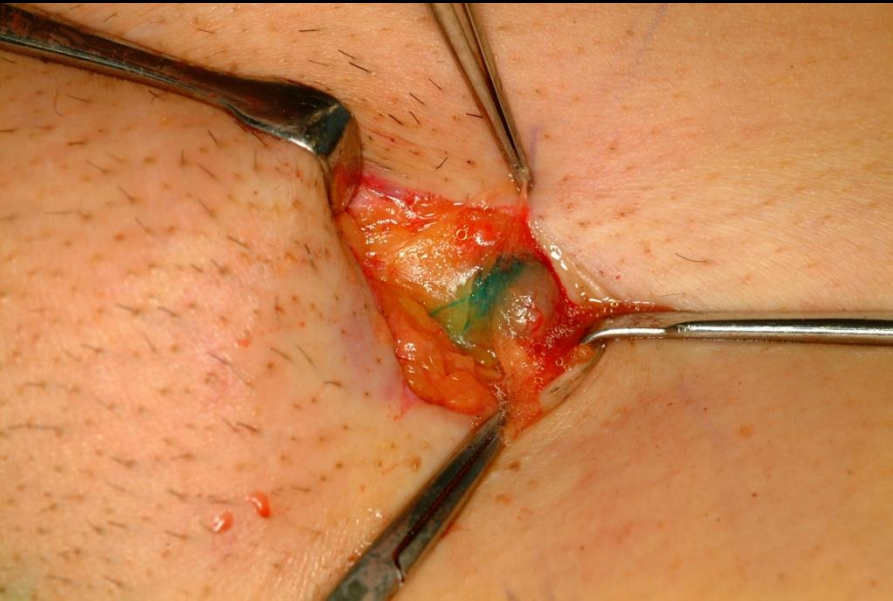


Lymphography にて右腋窩リンパ節への集積を認めた.

色素法にて広背筋直前のリンパ節の青染を認め, SLN (センチネルリンパ節)とした. 病理結果はリンパ節転移であったので  
広汎リンパ節切除術を追加。



## 外陰部乳房外 Paget 病



Lymphographyにて両側鼠径に複数箇所でのdepositを認めた。  
色素法にて、両側の浅鼠径リンパ節の青染を確認し、  
右2つ、左1つの鼠径リンパ節をSLNとした。  
病理：2つの右鼠径リンパ節にPaget細胞。転移陽性。

# $^{99m}\text{Tc}$ -HSA(人血清アルブミン) または $^{99m}\text{Tc}$ -Sn-colloid (スズコロイド) Lymphography (リンパ節シンチグラフィ)

$^{99m}\text{Tc}$ -HSAまたは  
 $^{99m}\text{Tc}$ -Sn-colloidを  
左右の足背または  
手背の皮下に  
各 18.5~37MBq注入。

下肢、または上肢の  
リンパ流を描画する。

投与後数十分像で  
リンパ管、  
投与後数時間像で  
リンパ節が  
描出される。

Early ANT



Delayed ANT



Delayed POST

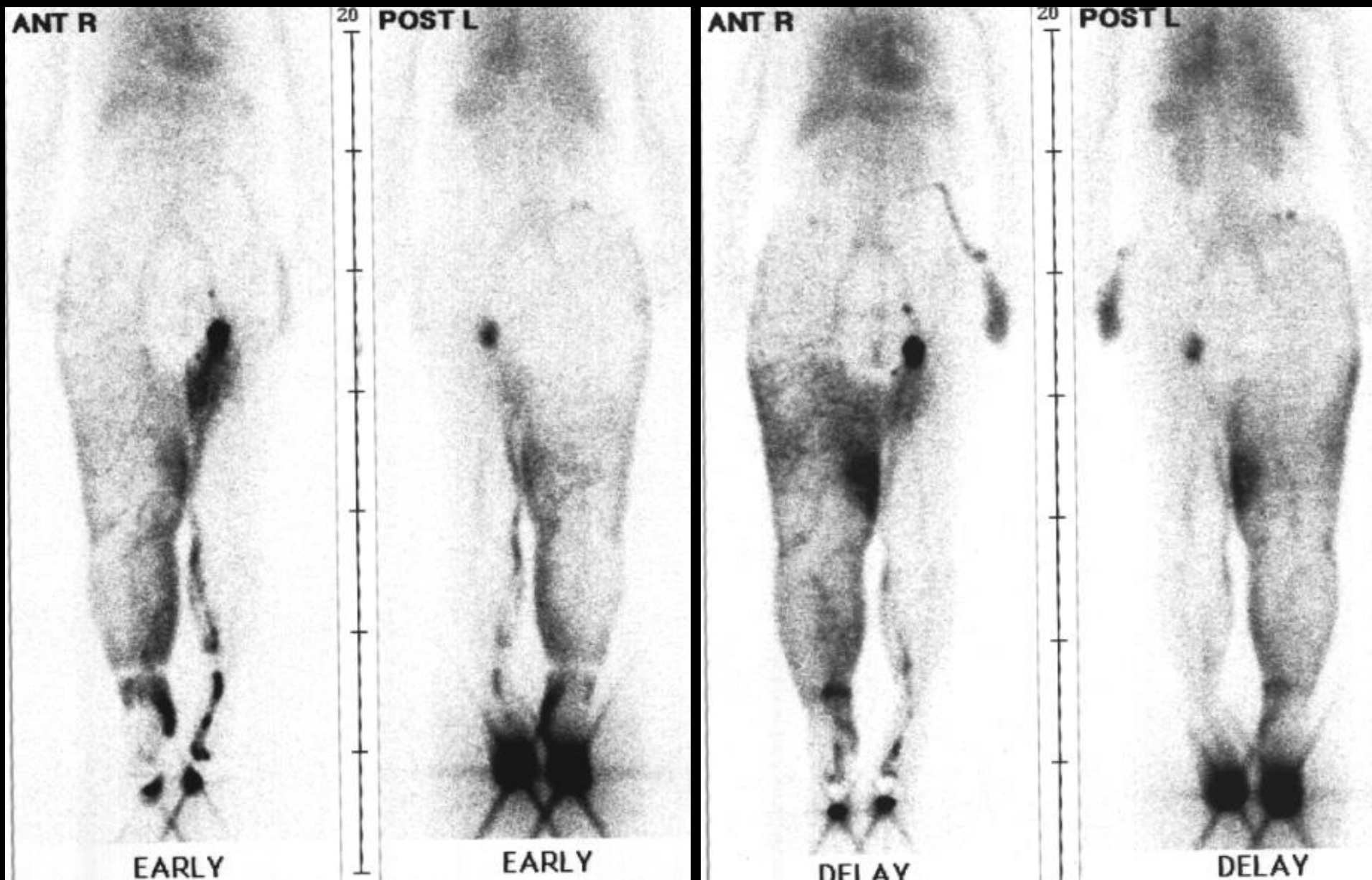




HSA lymphography

子宮ガン術後 下肢リンパ浮腫

lymphedema

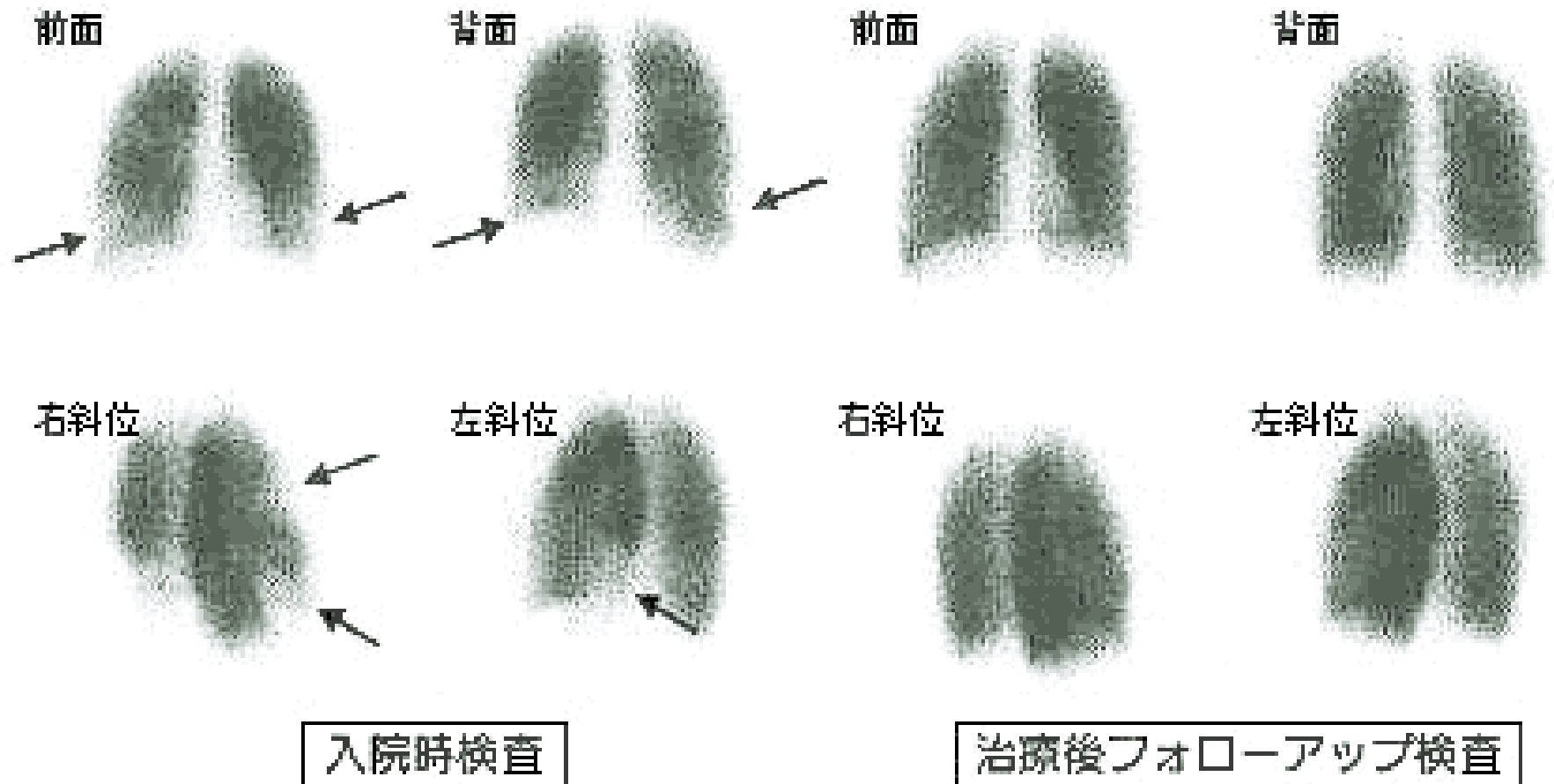


$^{99m}\text{Tc}$ -MAA を上肢から投与して肺血流シンチグラフィを施行したところ、脳に高集積がみられた。考えられるのはどれか。

- |           |              |
|-----------|--------------|
| 1. 標識不良   | 4. 三尖弁閉鎖不全   |
| 2. てんかん発作 | 5. 静注時の動脈誤穿刺 |
| 3. 右左シャント |              |

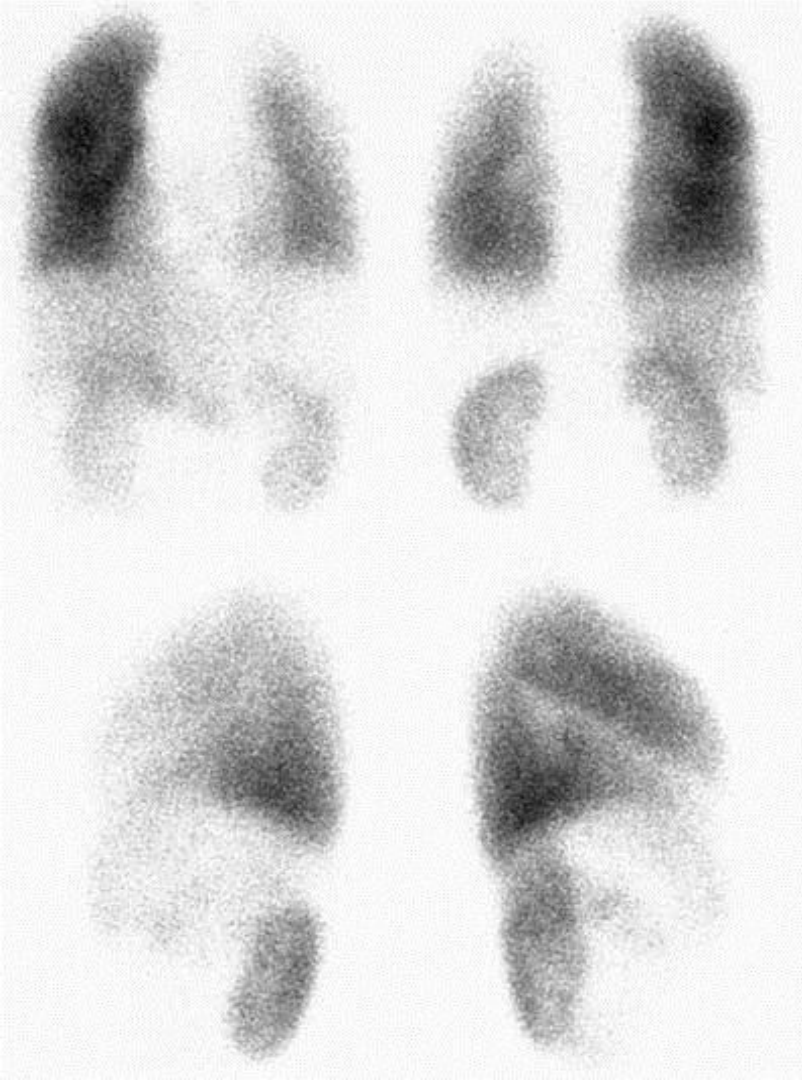
# $^{99m}\text{Tc}$ -MAA Pulmonary perfusion scintigraphy

## 肺塞栓症 ( Pulmonary Thromboembolism ; PTE )



# $^{99m}\text{Tc}$ -MAA Pulmonary perfusion scintigraphy

**右左シャント (R-L shunt)** ASD, VSD, TOF, 肺動静脈短絡などで  
肺を経由せずに右心系の低酸素血液が左心系に一部流入する病態。



# **$^{99m}\text{Tc}$ -MAA pulmonary perfusion scintigraphy**

- $^{99m}\text{Tc}$  141 keV、コリメータ LEHR。

**$^{99m}\text{Tc}$ -MAA (macro-aggregated albumin)**

**(大凝集アルブミン) 185MBq 静脈投与2分後から撮像可能。肺野正面、背面、左右後斜位プラナー像。**

**MAAは直径10～50 $\mu\text{m}$ で、肺動脈末梢毛細血管を通過できず停滞するので、肺動脈血流分布が画像化される。肺静脈、左心系、大動脈は描画されない（右左シャントがあると左心系が描画される）。肺癌は、胸部大動脈から分枝する気管支動脈から血流をうけるので、MAA分布は欠損する。**

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

$^{201}\text{Tl}$  71 keV LEHRコリメータ

## 薬剤負荷

(冠血管拡張剤 ジピリダモール 薬品名 ペルサンチン)

または、運動負荷の直後に  $^{201}\text{Tl}$  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。

$^{201}\text{Tl}$ は、再分布する(投与後も分布が変化する)。

$^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$  または  $^{99\text{m}}\text{Tc-Tetrofosmin}$ を使用する場合は

負荷は、タリウム検査と同様に実施し、200MBq程度投与。  
安静時は、3～5時間後に400MBq程度投与して撮像する。



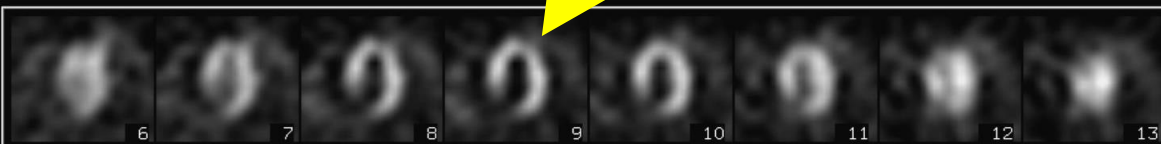
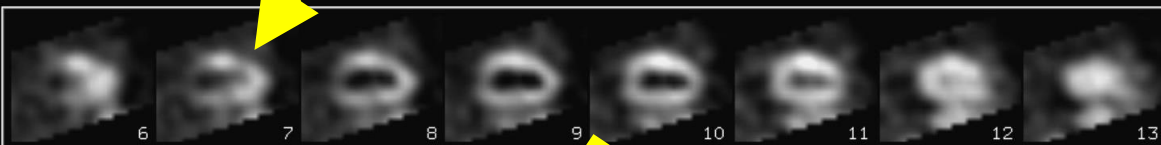
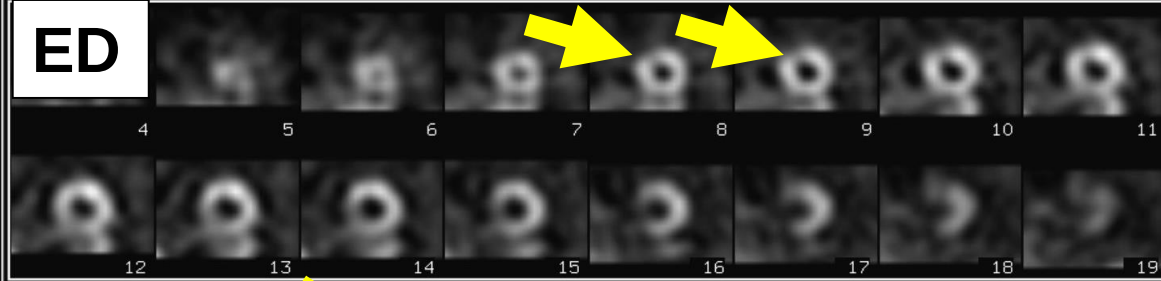
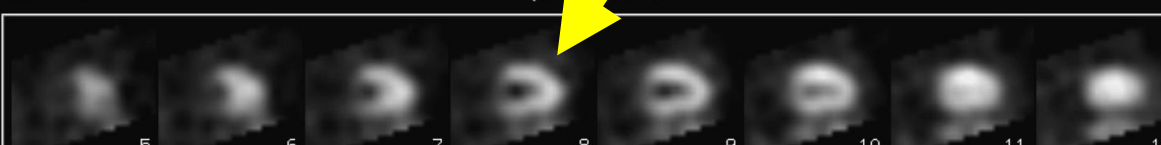
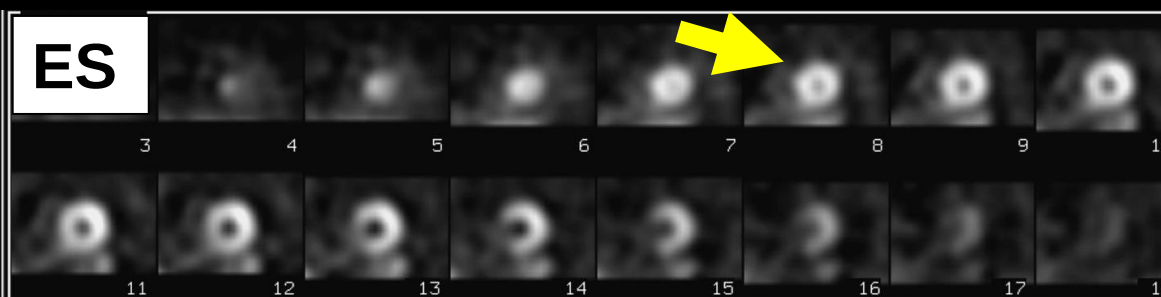
**ED** **$^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT****心電図同期収集****拡張末期像**

(ED; End Diastolic)で、  
心尖部の前壁中隔  
(apical anteroseptal)  
に、軽度血流低下あり。

**収縮末期像**

(ES; End Systolic)で、  
同部位に描画低下なく、  
心筋収縮能は保たれて  
いる。

軽度血流低下はあるが  
心筋は機能している。

**ED****ES**

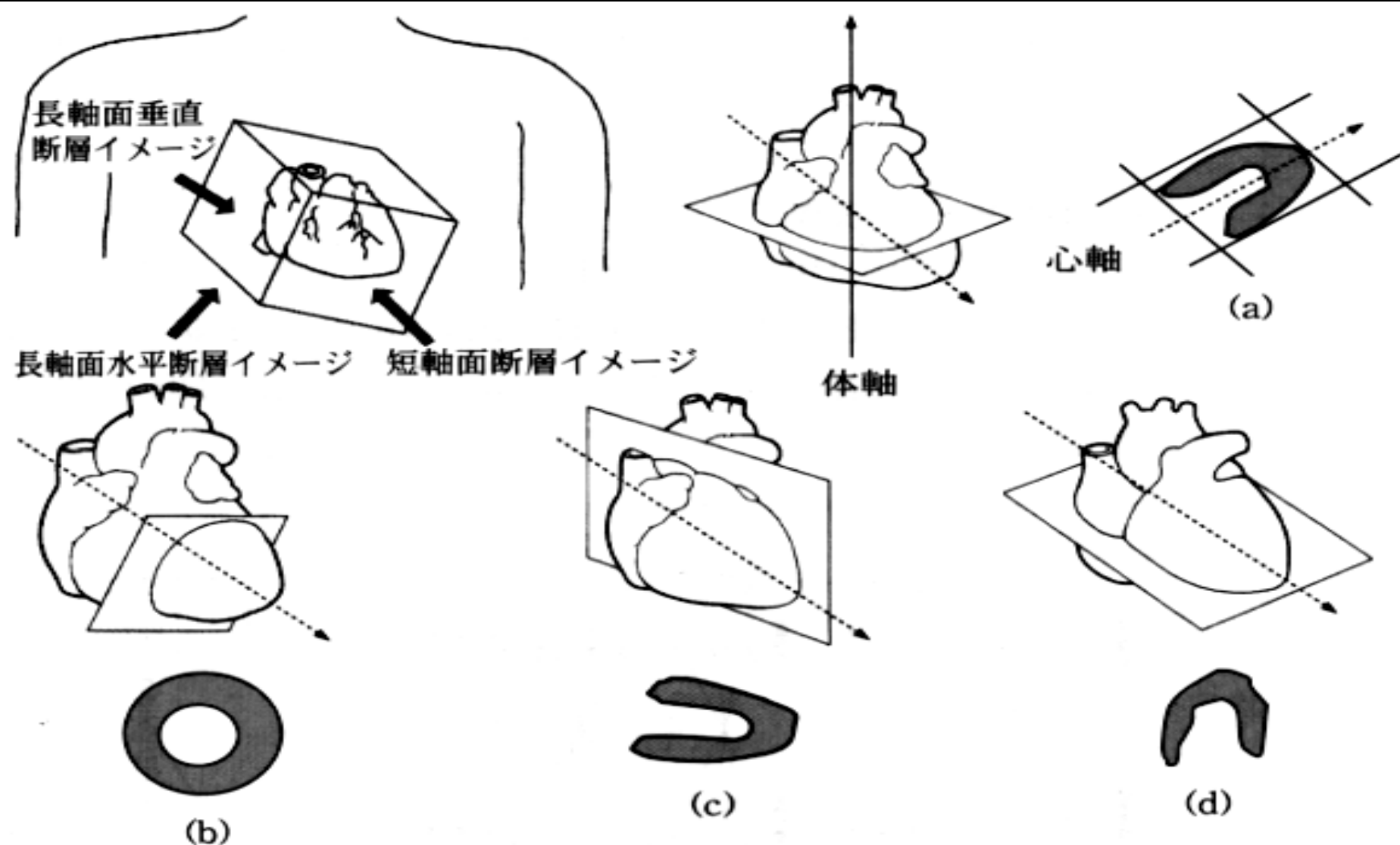


図 4・32 心筋 SPECT における各断面画像

- (a) 横断面断層像 (transaxial)
- (b) 短軸断層像 (short axis)
- (c) 長軸面垂直断層像 (vertical long axis)
- (d) 長軸面水平断層像 (horizontal long axis)



### 運動のきつさ

0. 全くなんでもない
1. 非常に軽い
2. 軽い
3. 中等度
4. ややきつい
5. きつい
- 6.
7. 非常にきつい
- 8.
- 9.
10. もうだめ



除細動器



トレッドミル



Stress

Rest

# 労作性狭心症(angina)

Stress像で

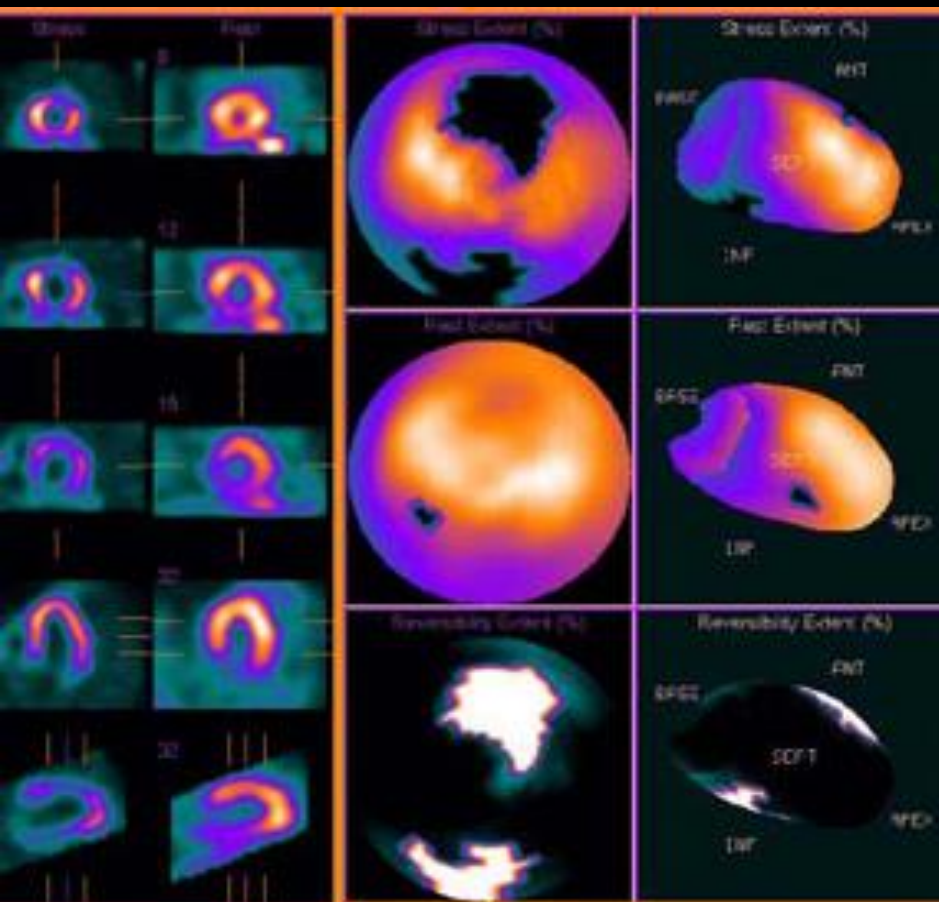
心尖部前壁(apical anterior)  
に局所的血流低下あり、

(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)



# **$^{131}\text{I}$ - Adosterol adrenal scintigraphy**

$^{131}\text{I}$  365KeV 高エネルギー用コリメータ HEGP

$^{131}\text{I}$  - Adosterol 18.5 MBq 静脈投与。

投与後、3日目と7日目くらいに、正面、背面プラナー像。

Adosterol は 約1週間かけてゆっくり副腎皮質に集まる。

**アドステロールは、コレステロールの類似物質。**

コレステロールは、副腎皮質ホルモン(コルチゾルなど)の材料なので $^{131}\text{I}$  - Adosterolは、**副腎皮質に集積**する。

脂質なので水に溶けない。エタノール溶液の薬剤。

**アルコールに弱い患者では、酒酔い症状**が出るので、生理的食塩水で2倍以上に希釈して数分かけて静脈投与。

$^{131}\text{I}$  標識薬剤なので、甲状腺ブロックの前処置が必要。

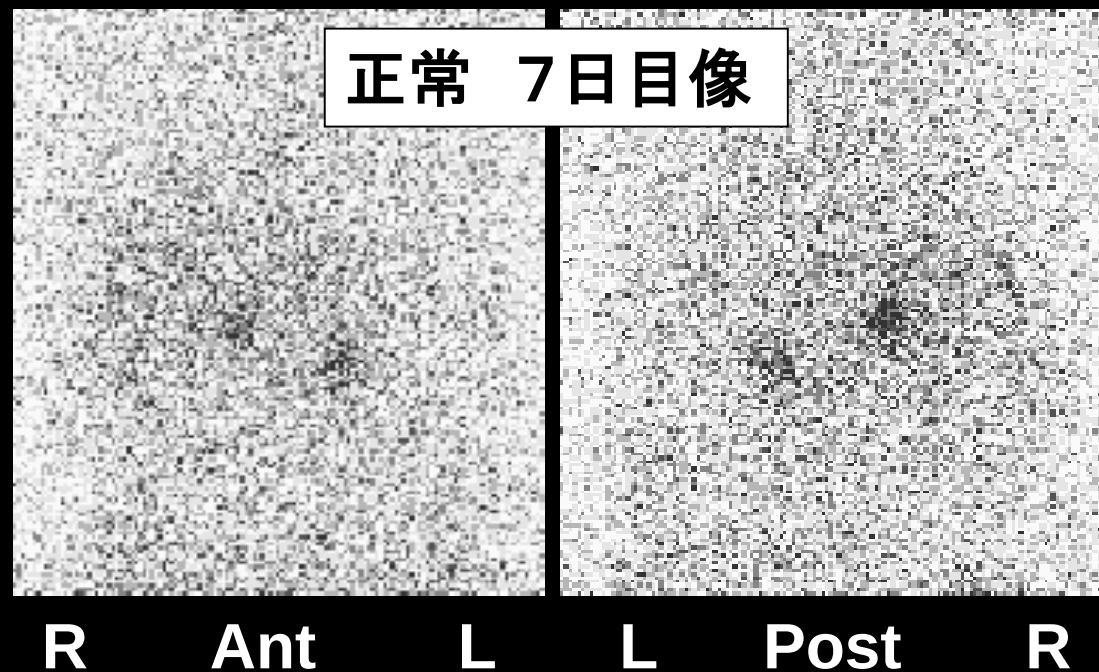
# <sup>131</sup>I-Adosterol Adrenal scintigraphy

副腎皮質への集積量は投与量の 0.4% 以下と低いので、撮像時間は長いほうが良い(30分程度)。

**上腹部の 正面と背面の planar像 を、必ず撮像する。**

肝が右にあるので、右副腎は左副腎より背側にある。  
そのため、背面像では右副腎の描画が高い場合が多いが、病的集積か正常集積か判断するには、**正面像も必要**。

(病的集積であれば  
正面、背面像ともに  
病側の描画が高い。)





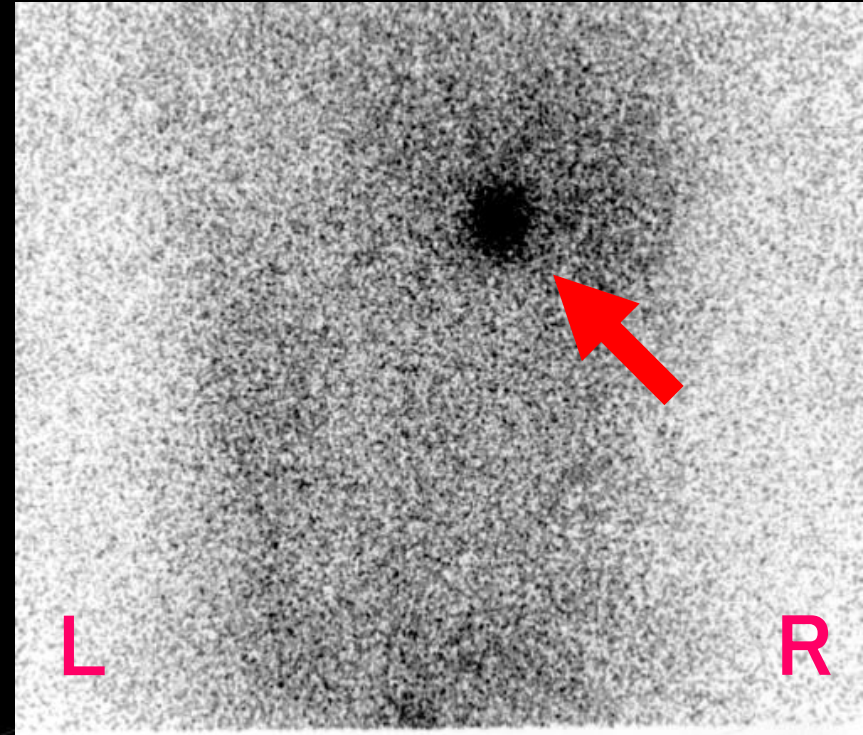
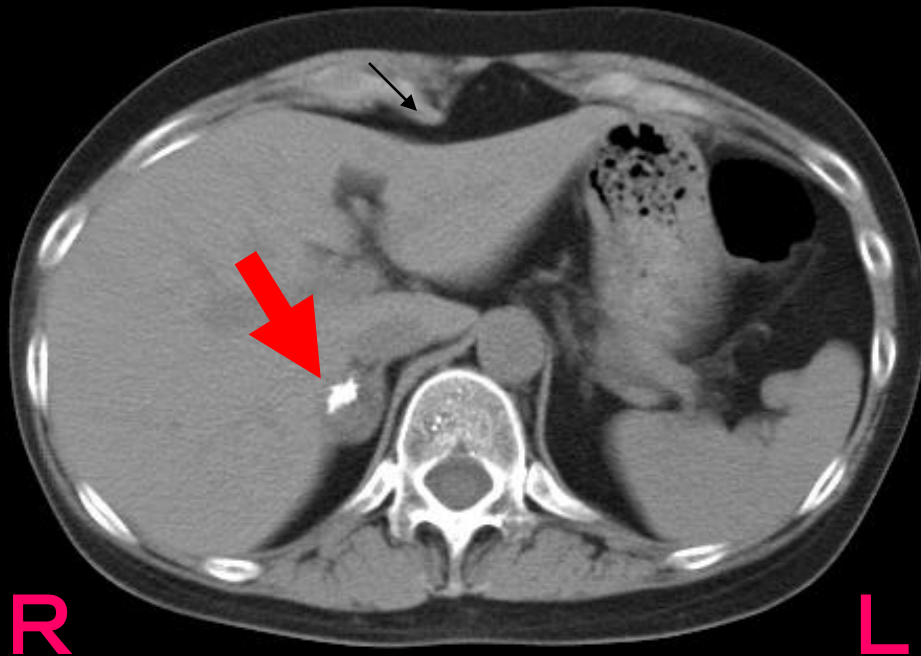
# クッシング症候群 Cushing syndrome

副腎皮質ホルモンを過剰産生する副腎皮質腺腫。

( functioning adrenal cortical adenoma )

副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) が減少するので  
健常側副腎への集積が低下する。

$^{131}\text{I}$  - Adosterol scintigraphy



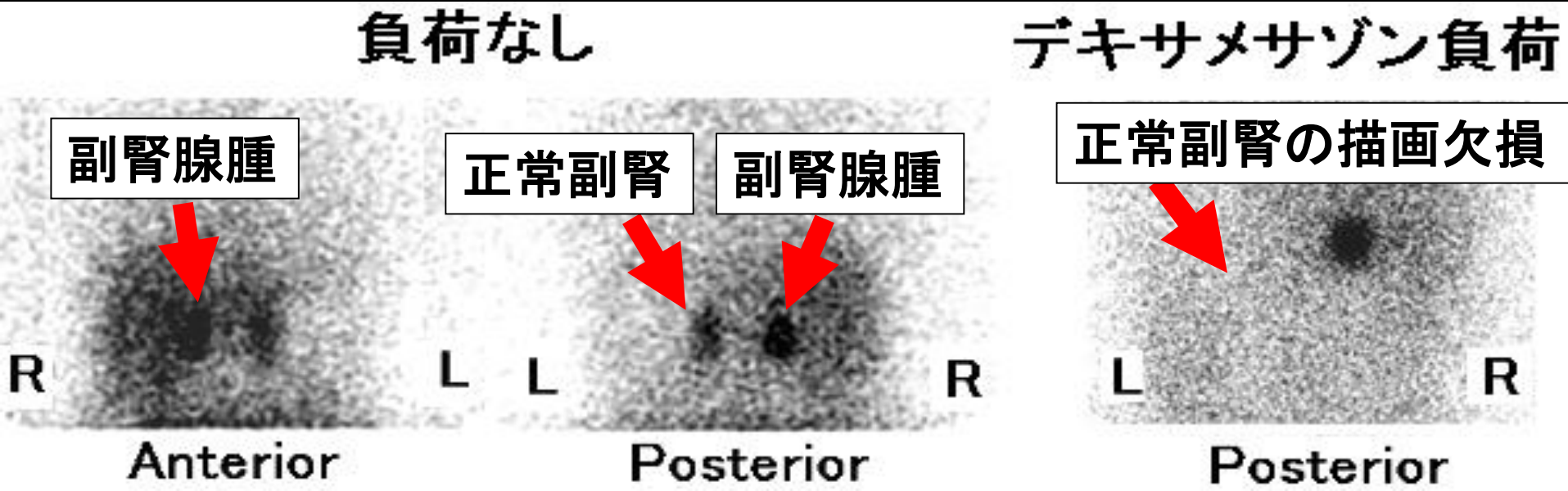
Post image

デキサメサゾン負荷によって 副腎皮質腺腫の鑑別ができる。  
コーチゾル産生腺腫（Cushing 症候群）か、  
アルドステロン産生腺腫（原発性アルドステロン症）か。

負荷なしの画像では右副腎の集積が明らかに高いので、  
左側の正常副腎への集積が正常か低下しているか判断困難。

デキサメサゾン負荷で ACTH が抑制され、左副腎の集積が低下した。  
はじめから ACTH が抑制されている コーチゾル産生腺腫ではない。

右副腎皮質の アルドステロン産生腫瘍 と診断。



**デキサメサゾン負荷によって 副腎病変が  
腫瘍(Tumor)か 過形成(Hyperplasia)か  
鑑別できる。**

CTで左右副腎の腫大を認めるが、  
右副腎に局所的腫大を示す。これは腫瘍か。

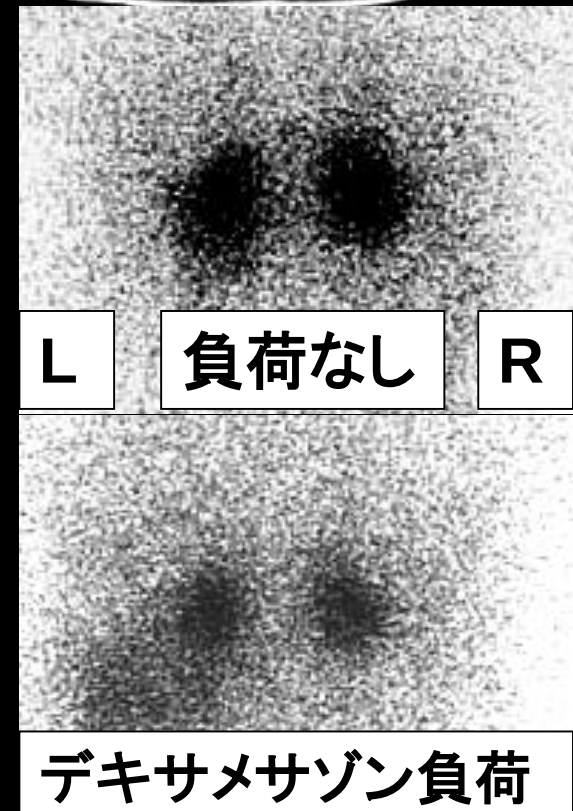
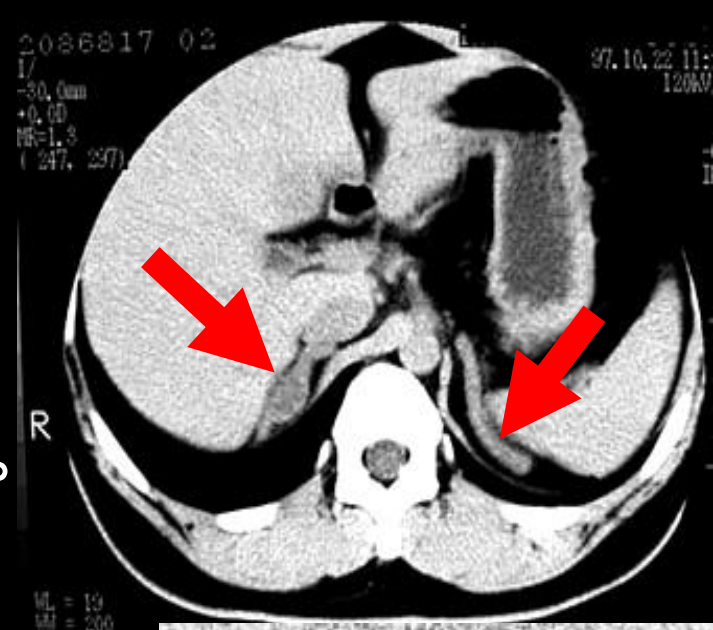
負荷なしの Adosterol 分布は、左右副腎に  
びまん性の強い集積を示す。

**デキサメサゾン負荷で、びまん性に分布が  
低下するので、全て正常副腎皮質。**

右副腎の局所腫大部位に一致した病的集積  
亢進は認めない (ACTHの制御を受ける病変)。  
(もし集積亢進があれば、副腎腺腫)

副腎過形成

Adrenal Hyperplasia





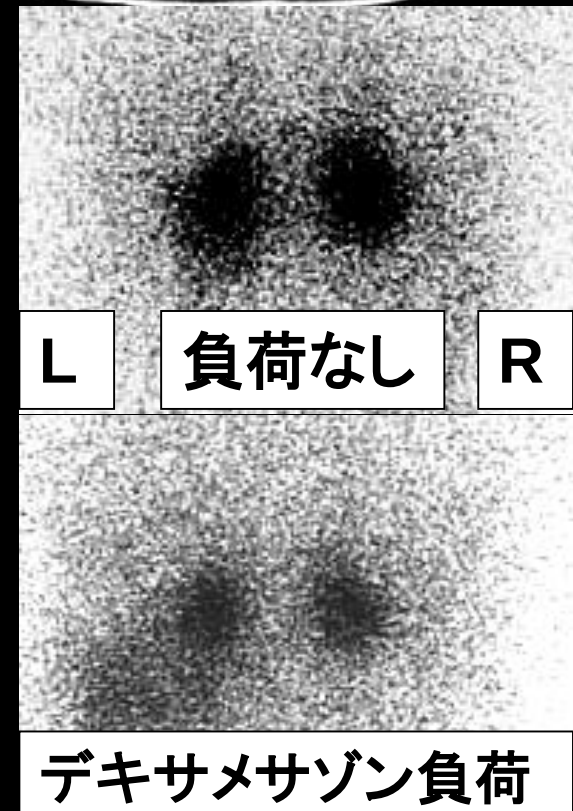
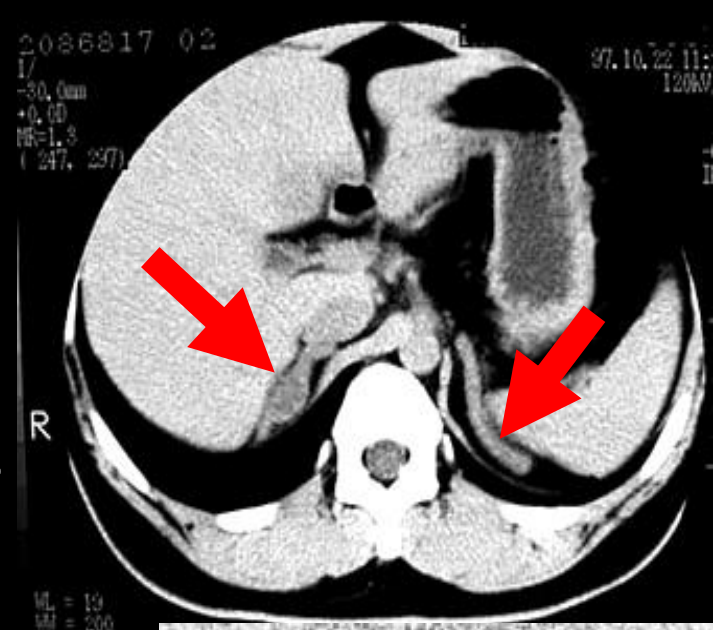
デキサメサゾン負荷によって 副腎過形成が  
先天性か、ACTH 産生腫瘍（Cushing）  
によるものか 鑑別できる。

左右副腎の腫大を認める疾患は、  
先天性副腎過形成 または ACTH産生腫瘍。

デキサメサゾン負荷で、びまん性に分布が  
低下するので、ACTH 産生腫瘍は ない。

デキサメサゾン負荷で集積低下しているので、  
ACTH は 正常な脳下垂体から出ている。  
ACTH 産生腫瘍は、血中コーチゾルの量とは  
無関係に、常に ACTH を過剰に産生し、  
デキサメサゾン負荷に制御されない。

先天性副腎過形成  
Congenital Adrenal Hyperplasia



**デキサメサゾン**（デキサメタゾン） **Dexamethasone**

**薬品名 デカドロン 合成コーチゾル内服薬**

デキサメサゾンを多量に内服すると、脳下垂体が副腎皮質の  
コーチゾル産生過剰と判断して、**ACTH分泌を下げる。**  
ACTHが減ると**正常副腎皮質のコレステロール摂取が減る。**

**デキサメサゾン負荷 Adosterol scintigraphy**

**<sup>131</sup>I-Adosterol 静注の 3日前から撮像最終日(7日後)まで  
10日間、毎日 デキサメサゾンを 4mg 内服。**  
**正常な副腎皮質の Adosterol 集積が低下する。**



## 副腎皮質ホルモン（ステロイドホルモン）

副腎皮質は、**コレステロール**を原料にして、**ステロイドホルモン**を数種類分泌する。

主なものは、**コルチゾル**と**アルドステロン**。  
それぞれ、副腎皮質内の異なる組織で産生される。

**コルチゾル**は、蛋白質や脂肪の代謝を促す。  
過剰になると免疫低下、高血糖、骨粗しょう症、体幹部肥満、満月様顔貌、興奮、うつ病などの症状（**クッシング症状**）。

**アルドステロン**は、腎尿細管の Na 再吸収と K 排泄を促す。  
過剰になると、Na過剰による血液増加、高血圧、低K血症。

**コルチゾル**の分泌量は、脳下垂体と副腎皮質との間で制御されている。

血中コルチゾルが不足すると、**脳下垂体から 副腎皮質刺激ホルモン**（ **ACTH** ; Adreno CorticoTropic Hormone ）の分泌が増加して、副腎のコルチゾル産生が増加する。

血中コルチゾルが過剰になると、ACTH分泌が低下して、副腎のコルチゾル産生が低下する。

**アルドステロンの分泌量は、ACTH の制御を受けない。**

（アルドステロンは、アンジオテンシンⅡで制御される。）

（腎血流低下 → レニン増加 → アンジオテンシンⅡ増加  
→ アルドステロン増加 → 血液増加）

# クッシング症候群 Cushing Syndrome

血中コルチゾルが過剰で、Cushing症状を示す疾患の総称

## 副腎性 Cushing 症候群 ( Functioning Cortical Adenoma )

副腎皮質にコルチゾル を過剰分泌する 腺腫がある。

ACTH は減少して、正常副腎の機能は低下する。

## ACTH 産生腫瘍 ACTHが過剰で、左右副腎が腫大する。

## 下垂体性 Cushing 症候群 ( Cushing 病 )

脳下垂体に ACTH を過剰産生する 腺腫がある。

## 異所性 ACTH 症候群 ( Ectopic ACTH Syndrome )

肺癌、胸腺腫瘍、卵巣腫瘍などが ACTH を産生する。

# $^{123}\text{I}$ thyroid scintigraphy

$^{123}\text{I}$   $\gamma$ 線 159KeV 半減期 13時間

LEHRコリメータ または  $^{123}\text{I}$  専用コリメータ

$^{123}\text{I}$  は、内服薬 (NaI)。3.7~7.4 MBq内服

内服前に、薬を頸部ファントムに入れて撮像。  
(最近では内服薬をガンマカメラで撮像して  
投与カウントを測定する簡便法が多い。)

内服3時間後と24時間後にプラーナー撮像。  
3時間後と24時間後の画像から  
甲状腺ヨード摂取率を算出する。  
正常値(24時間) 10~40%

検査1~2週間前から、ヨード制限食の前処置が  
必要。甲状腺治療薬を内服している場合は  
内服を検査1~2週間前から中止する。



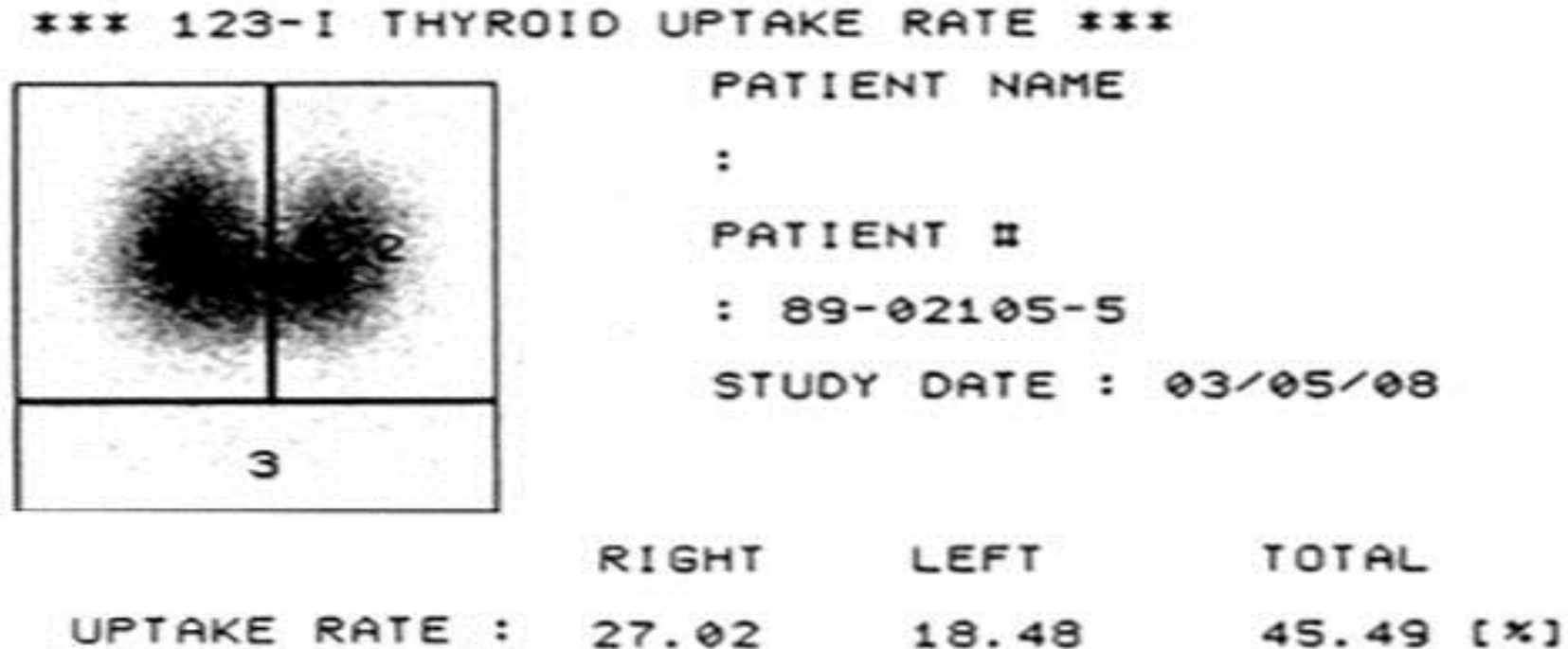
甲状腺ヨード摂取率試験 (現在はガンマカメラで撮った画像で行う)

$^{123}\text{I}$  を内服 (現在では $^{131}\text{I}$ は甲状腺ヨード摂取率試験には使わない)

24時間後(必要あれば3時間後も)に甲状腺への $^{123}\text{I}$ 摂取量を測定。

内服した放射能の**10～40%が正常**。24時間値が3時間値より高いのが正常。(逆なら甲状腺ホルモン産生障害(ヨード有機化障害))

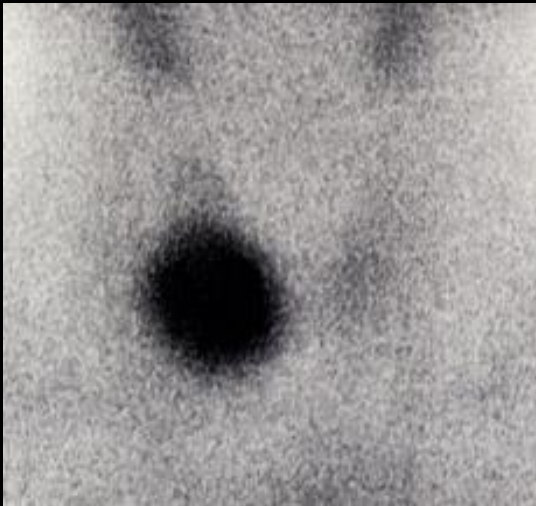
**検査の前処置として1～2週間のヨード制限食が必要。**





# 甲状腺機能亢進症の鑑別 ( $^{123}\text{I}$ または $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ ) (血液中の甲状腺ホルモンが過剰な疾患)

局所的な亢進

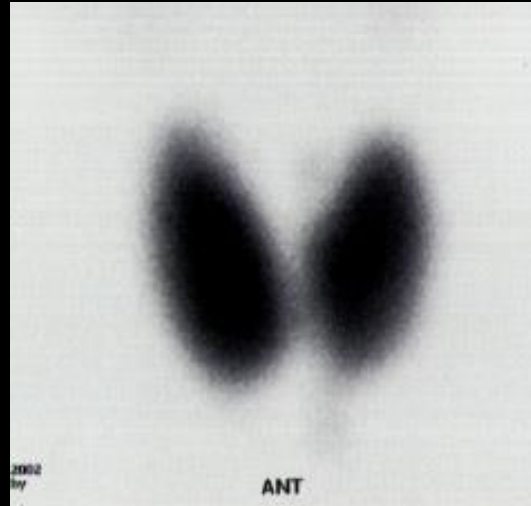


## プランマー病

ホルモン産生機能をもつ良性腺腫

TSHが低下するので  
正常甲状腺は機能低下。

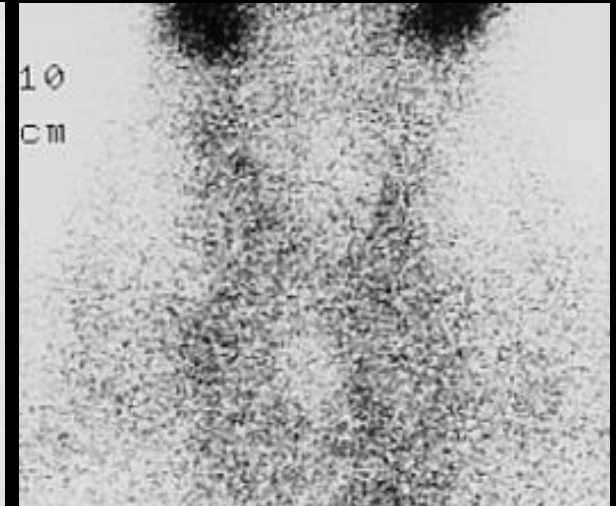
びまん性亢進



## バセドウ病

甲状腺が  
びまん性に  
機能亢進

びまん性低下



## 亜急性甲状腺炎

ウイルス感染で炎症が生じ  
甲状腺組織が破壊され  
血液中にホルモンが過剰放出(一過性)

# バセドウ病    Basedow's Disease    Graves' Disease

甲状腺組織は 血中のTSH を受取って甲状腺ホルモン産生量を調節する、TSHを受取る場所(**TSH受容体**)を邪魔する蛋白質(**TSH受容体抗体**)が血液中に多く存在すると、TSHとは無関係に、TSH受容体が刺激され甲状腺組織の機能亢進が続き、腫大してホルモンを過剰に産生する。

治療には、甲状腺の機能を抑制する内服薬(メルカゾール)を数年間飲み続ける。**内服薬を中止しても良いと判断する検査**として、T3抑制試験を行う。

**T3負荷で、TSHは下がる。**TSH低下に従ってヨード摂取率が下がれば、

TSH受容体を邪魔していた**TSH受容体抗体が減少した**と判断できる。

放射性ヨード( $^{131}\text{I}$ )を用いた甲状腺疾患の治療

RI 検査は、疾患の治療も行うことができる。

甲状腺組織はヨードを積極的に取り込む性質を持つ。

(甲状腺ホルモンの成分としてヨードが必要なため)

癌化、肥大化した甲状腺組織もヨードを積極的に取り込む性質を持つ。

$^{131}\text{I}$ は、ガンマ線のほかに電子線を放出するので被曝の効果が大きく、甲状腺組織が破壊される。

バセドウ病(甲状腺機能亢進症)に対して $^{131}\text{I}$ 内服外来治療

甲状腺癌に対して $^{131}\text{I}$ 内服入院治療

**$^{99m}\text{Tc}$ -GSA 肝シンチグラフィ（アジアロ肝シンチ）**

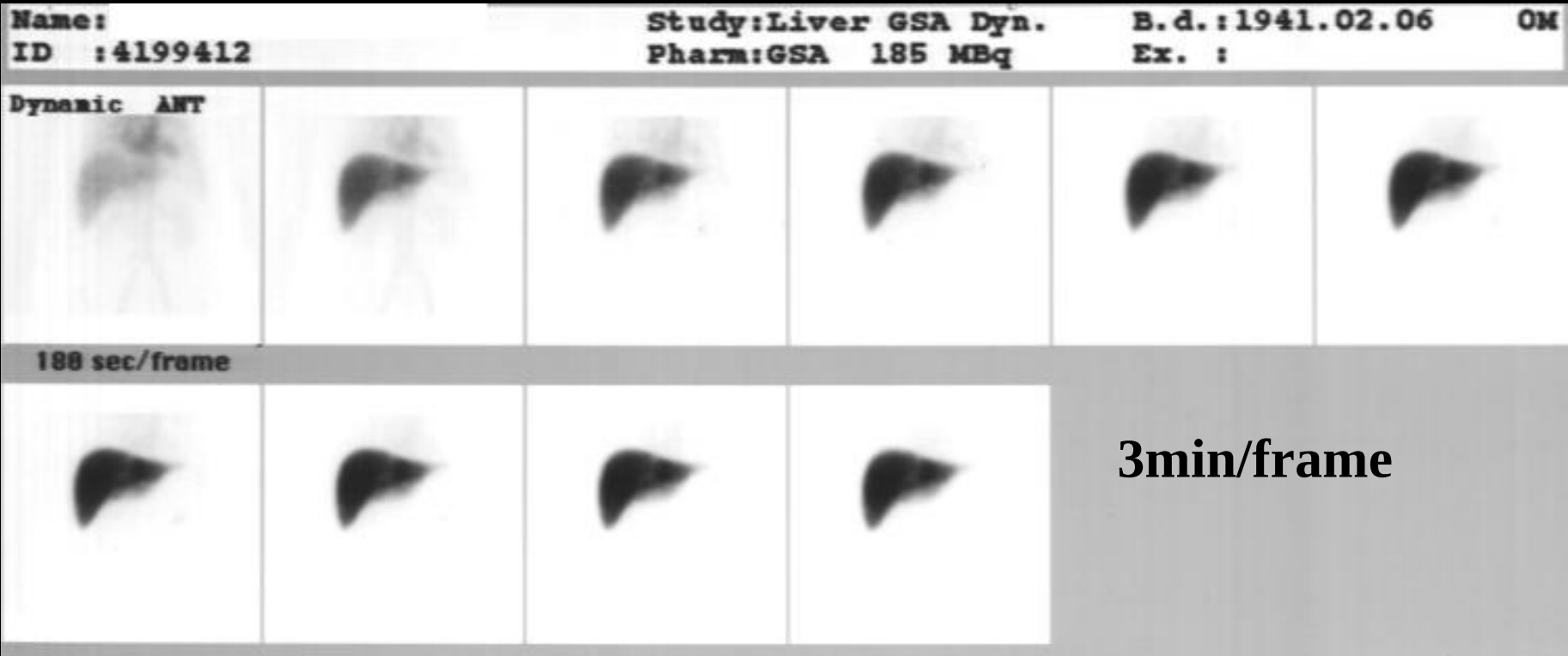
• $^{99m}\text{Tc}$  141 keV、コリメータ LEHR。

**前処置： 5時間の絶食。 空腹時に行う。**

$^{99m}\text{Tc}$ -GSA 185MBq（GSA 3mg）静脈注射と同時に、  
20分以上の心臓、肝臓の正面ダイナミック収集  
（128x128マトリックス）。 その後、SPECT撮像。

**GSA（ガラクトシル血清アルブミン）が 肝細胞表面の  
アジアロ糖タンパクに結合し、肝細胞の分布を画像化する。**

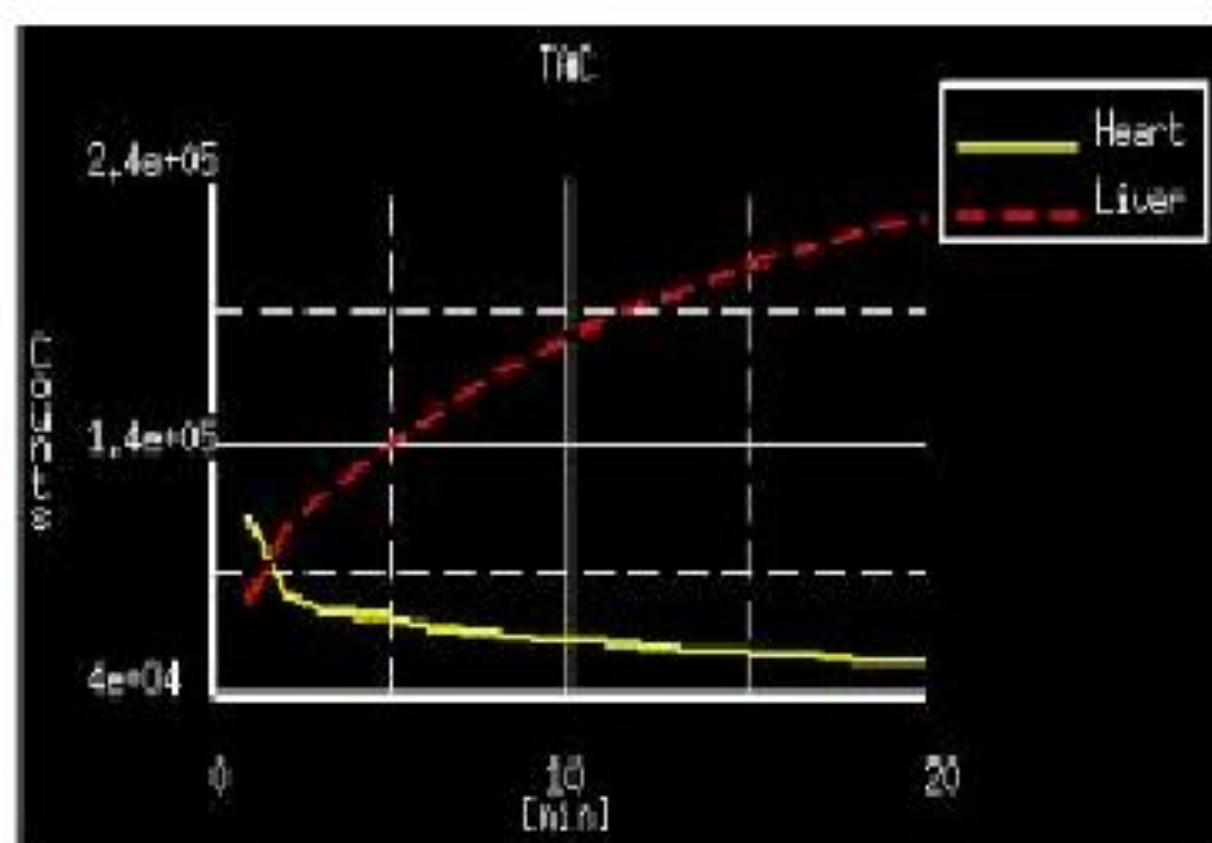
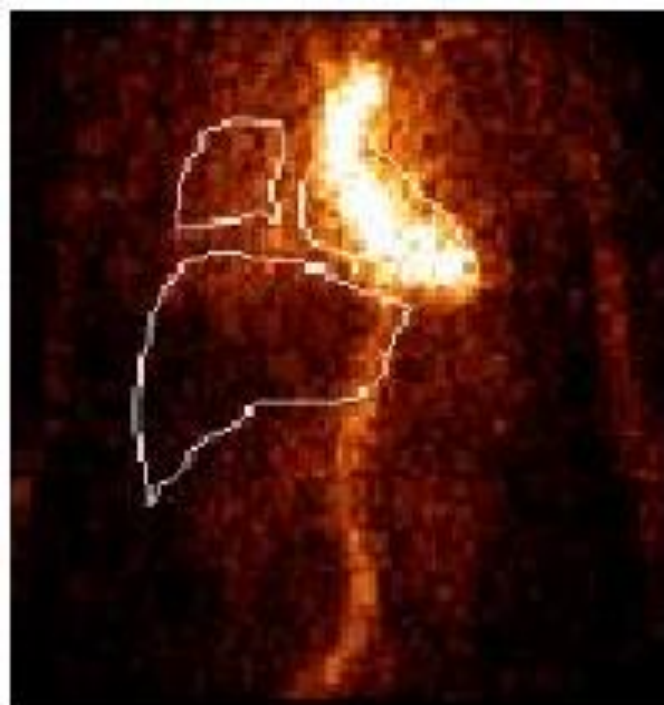
**肝の局所的評価および肝予備能評価に用いられる。**



ダイナミック収集画像。  
心臓と肝臓全体が  
撮像範囲に入ることが重要。  
(外れても3分以内に直せばOK)







### Results

Receptor Index (LH15) :  
 $L15/(H15+L15) = 0.70$

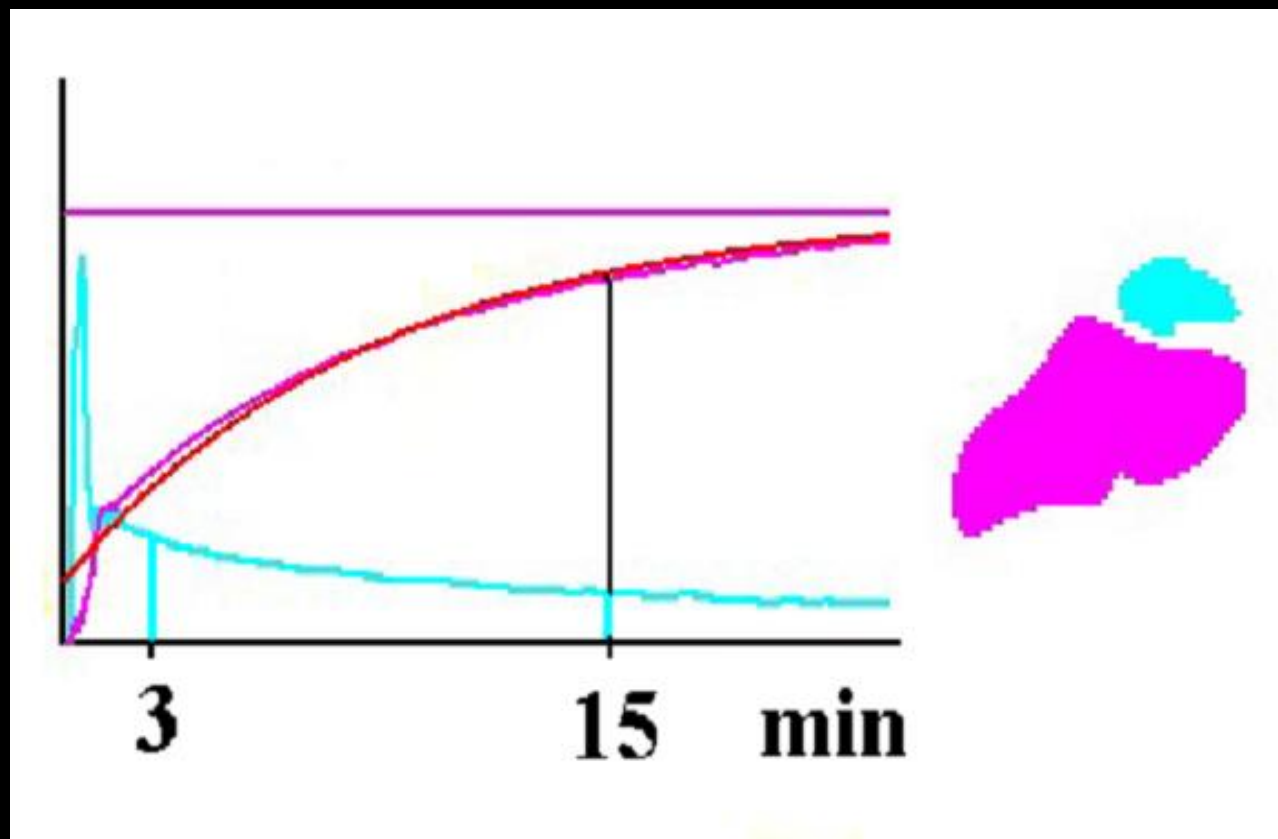
Clearance Index (HH15) :  
 $H15/H3 = 0.78$

## GSAの肝予備能の指標

HH15 : 3分後に対する15分後の心カウント比.

GSAの血中消失率

LHL15 : 15分後における(心+肝)に対する  
肝カウント比. GSAの肝摂取率



# HH15, LHL15 と 慢性肝疾患重症度との関係

| 重症度 | HH15            | LHL15           |
|-----|-----------------|-----------------|
| 正常  | $0.54 \pm 0.04$ | $0.94 \pm 0.02$ |
| 軽度  | $0.63 \pm 0.08$ | $0.91 \pm 0.04$ |
| 中等度 | $0.74 \pm 0.08$ | $0.84 \pm 0.07$ |
| 重症  | $0.83 \pm 0.05$ | $0.71 \pm 0.11$ |

3分と15分の正面像があれば算出可能

# 放射線障害予防規程

# 放射線障害防止法

## 第21条

放射性同位元素取扱期間中は、作業従事者は**3カ月**をこえない期間ごとに、管理区域随時立入者は**6カ月**をこえない期間ごとに健康診断を受けるものとする。

## 第22条

健康診断は、**皮膚、眼の診察、および末梢血液中の白血球、赤血球の数量、血球素量、末しょう血液像**とする。

## 第23条

放射性同位元素を誤って飲み込んだとき、**最大許容被爆線量をこえて放射線に被爆したとき**、その他放射線障害を受けたおそれのあるときは**直ちに健康診断を受けるものとする。**

# 線量－効果関係

## しきい値のある障害

(非確率的影響、確定的影響)

非確率的影響は、細胞死によって生じる。

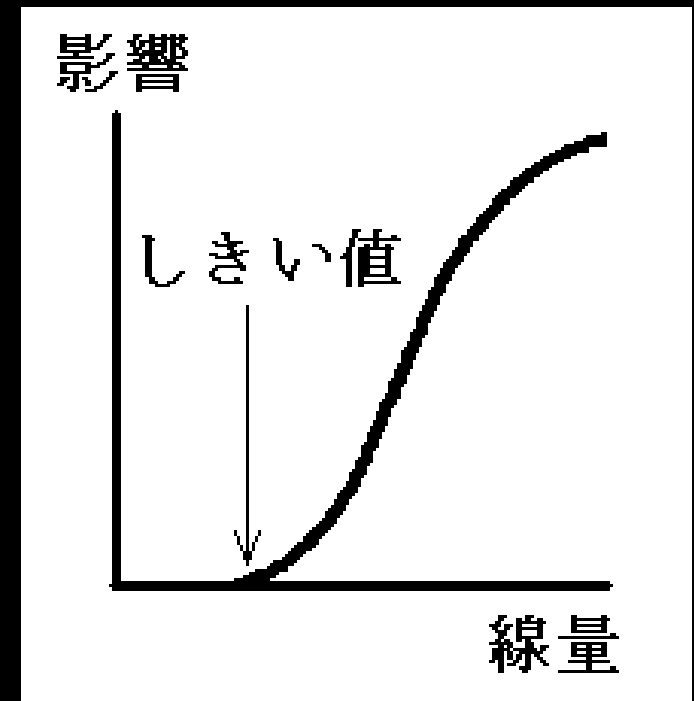
細胞死が多量に生じない線量では、生存している細胞が組織や臓器の機能を代償し、症状として現れない。



非確率的影響は、しきい値以下の被曝線量であれば  
障害(症状)は発生しない。

例:

白内障(水晶体上皮細胞の損傷、繊維化)、  
皮膚、生殖細胞、骨髄細胞の損傷など



各組織の**幹細胞**は分裂を繰り返し、  
分化度の高い**機能細胞**になる。

組織や臓器の機能を担っている機能細胞は  
細胞分裂せず、一定期間の寿命を経て死滅する。

**機能細胞**の放射線感受性は低い。

（ただしリンパ球は例外。）

**幹細胞**の放射線感受性が、組織や臓器の  
放射線感受性を決定する。

機能細胞の放射線感受性は低いので、  
被曝を受けた直後は  
組織や臓器の機能は保たれており、  
症状は出ない。

被曝後の幹細胞の死滅に伴い、  
数日～数ヶ月後に機能細胞が不足し、  
症状が出現する。

# 非確率的影響の しきい値 (閾値 Threshold)

最高

リンパ球、骨髓、腸、精巣、卵巣

高

水晶体、皮膚、口腔、食道、胃、尿管

中

成長期の骨および軟骨、結合組織

低

骨、肺、腎、肝、脾、甲状腺、副腎

最低

神経、筋肉

# 平成30年2月 検査国家試験問題 解答 2

放射線に対する組織・臓器の相対的な感受性(組織加重係数)が最も小さいのはどれか。

- |       |        |
|-------|--------|
| 1. 胃  | 4. 乳房  |
| 2. 脳  | 5. 甲状腺 |
| 3. 骨髄 |        |

組織加重係数 人体の各組織に対する放射線の影響を表す係数。受けた放射線の量が同じでも、影響の程度は組織によって異なる。

骨髄・結腸・肺・胃・乳房が被ばく影響が大きく、各0.12、  
膀胱・肝臓・食道・甲状腺は、各0.04、  
皮膚・骨皮質・脳神経は被ばく影響が小さく、各0.01。



# 晩発障害

しきい値のない障害（確率的影響）

晩発障害は急性障害に耐えたもの、  
あるいは比較的低線量の1回または  
分割照射を受けた後、  
数年～数十年の潜伏期を経て現れる。

1. 放射線発癌
2. 遺伝的影響

# しきい値のない障害（確率的影響）

確率的影響は、突然変異細胞によって生じる。

突然変異細胞がたとえ1個でも発生すれば、  
発癌や遺伝的影響の可能性が生じる。

被曝線量が増えると影響発現の確率は増加する。

確率的影響は、低線量被曝に対しても  
安全を保障できないことを意味する。

例：発がん、遺伝的影響

正しいのはどれか。2つ選べ。

1. 造血臓器は放射線感受性が高い。
2. 距離は放射線被曝防護の3原則の一つである。
3. 放射線作業従事者は年に1回健康診断を行う。
4. 放射線障害のうち、発がんは非確率的影響の代表である。
5. 放射性同位元素は半減期を過ぎれば放射性障害を生じない。