

NUCLEAR MEDICINE IN CLINIC

# 臨床核医学

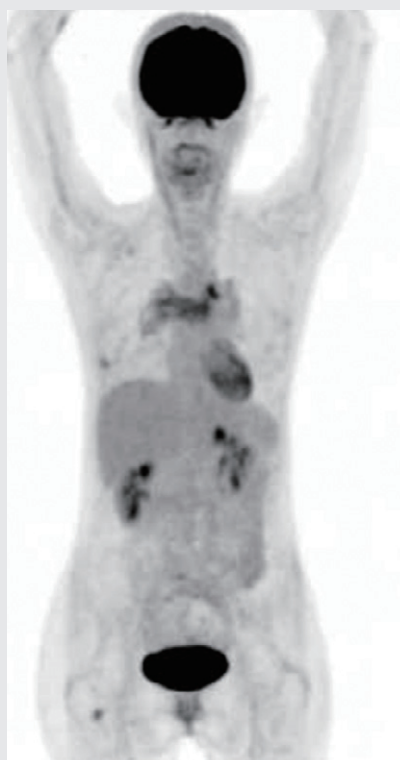
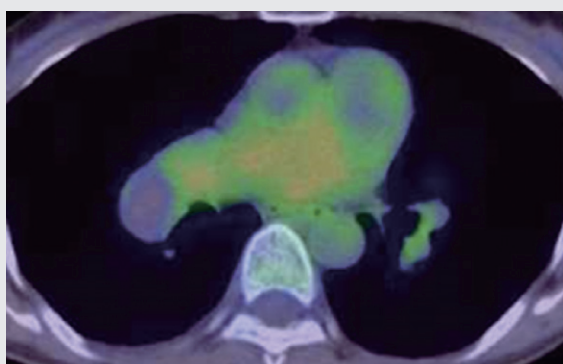
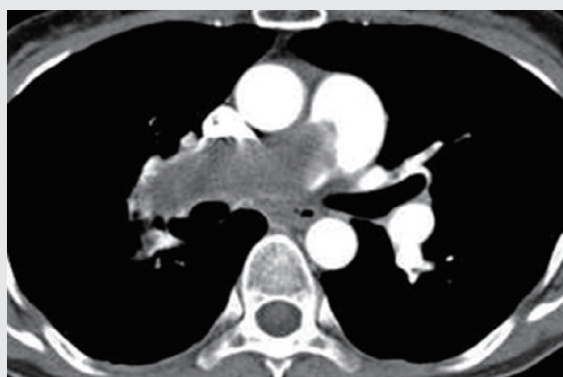
2014

Vol.47 No.4

7月号 49～64頁

放射線診療研究会

1968年創刊通算220号(奇数月刊行)

<http://www.meteo-intergate.com>(本誌論文検索用)*See Page 58*

|         |                                                  |    |
|---------|--------------------------------------------------|----|
| [リレー講座] | 核医学技術の基礎「心臓画像再構成の基礎」                             | 50 |
| [リレー講座] | 診療に役立つ核医学の基本—専門医試験も見据え—<br>「医薬品・検査」              | 54 |
| [症例クイズ] | 出題編(平成26年3月の症例検討会から)                             | 58 |
| [印象記]   | 「世界のエネルギー需給の潮流と我が国及びアジアへのインプリケーション」<br>セミナーに参加して | 60 |

## リレー講座

核医学技術の基礎  
「心臓画像再構成の基礎」

石井 亘友 ISHII Nobutomo

## 《はじめに》

心臓核医学において、最も多く行われている SPECT 検査では、投影データから SPECT 画像を作成するまでに様々な画像処理が行われている。図 1 に最も一般的な SPECT 解析フローチャートを示す。本稿では、この中でも主要な処理といえる前処理(ノイズ低減)フィルタ、画像再構成、断面変換について心臓という臓器に焦点を置き、検査・診断を行う上での基礎的要点を述べる。

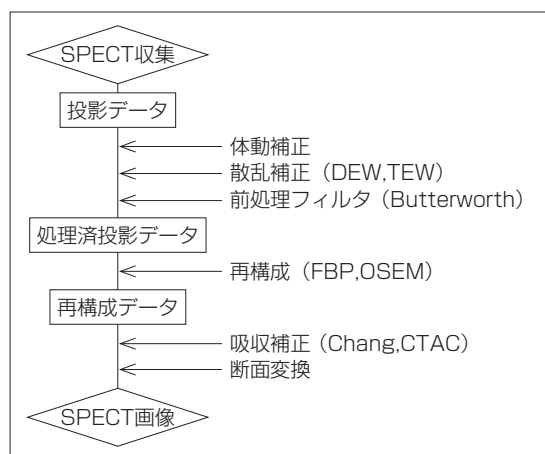


図1：心臓SPECTの基本的画像処理過程。画像再構成方法をOSEMとした場合、減弱・散乱・分解能などの各種補正が再構成時に同時に行われることも可能となるため、フローチャートが変化する場合がある。

## 《前処理フィルタ》

SPECT 収集で得られる投影データに含まれるノイズを低減するために、低周波通過型フィルタや、平滑化フィルタが用いられる。また、このような処理を再構成前に行う場合、使用するフィル

タを前処理フィルタと呼ぶ。臨床で最もよく使用されるのは、Butterworth フィルタである。このフィルタは、画像を周波数空間でとらえた場合、高周波ほどノイズが多く含まれているという事を利用して、特定の周波数(遮断周波数)を基準に徐々に高周波成分を抑制する処理を行う。フィルタの効果を調整するパラメータとしてオーダー(次数)： $n$ とカットオフ(遮断)周波数： $cf$ がある。 $cf$ の変化は、 $n$ よりも画像に与える影響が大きいため、 $n$ を固定し、 $cf$ のみを調節して使用することが一般的である。また、Butterworth フィルタの式は、メーカーによって若干異なり、同じパラメータを用いても効果に差が出る。

心筋 SPECT においては、 $cf$ を低くするとノイズの割合を抑えられるがボケを生じるため、心筋厚が増大し、内腔や欠損部位が狭く見える。 $cf$ を高くすると心筋厚は、薄くなりより小さな欠損部位を描出できるようになるが、ノイズの割合が増えるため、画像全体に細かな凹凸が生じ、偽欠損のように見える場合がある。装置ごとの分解能の差をはじめとし、撮像データごとに心筋に集まるトレーサ濃度や散乱条件(体格など)の違いによる信号およびノイズ量の変化を考慮すると、 $cf$ は、決まった値を使用するのではなく、状況に応じて調整する必要があるが、解析者間差が生じる事に注意しなければならない。心電図同期をかけないデータにおける実際の設定の仕方は、まず、読影者と解析者が、画質に対して一定の基準を設けて視覚的に複数例の評価を行い、検査条件(薬品、投与量、負荷の有無、撮像タイミングなど)毎に使用する  $cf$  の設定範囲を決める。解析担当者が

東邦大学医療センター大森病院 中央放射線部

〒143-8541 東京都大田区大森西 6-11-1

TEL：03-3762-4151 内線3421 FAX：03-5763-9377 E-mail：nobutomo@med.toho-u.ac.jp

Toho University Omori Medical Center

複数いる場合は、全員が画質基準を念頭に置き、決められた範囲内で設定を行うという方法を推奨する。このような方法をとる事で個人差をおさえ、データ毎に施設内基準に沿った設定値を適宜調節する事が可能となる。また、心電図同期SPECTデータは、QGSに代表される心筋輪郭抽出、内腔容積解析ソフトに使用されるが、この時算出される内腔容積は、Butterworthフィルタのcfにより変化する事が知られ、設定値がある程度高くなると真値に近づき収束する傾向がみられる(図2)。一般的には、0.40cycle/cm程度という報告が多いが<sup>1)2)</sup>、あまり高く設定しすぎるとノイズの影響で、定量値が変化するので注意が必要である。施設ごとにファントムを用いて、どの程度のcfで内腔容積が収束するか把握しておくことが必要である。

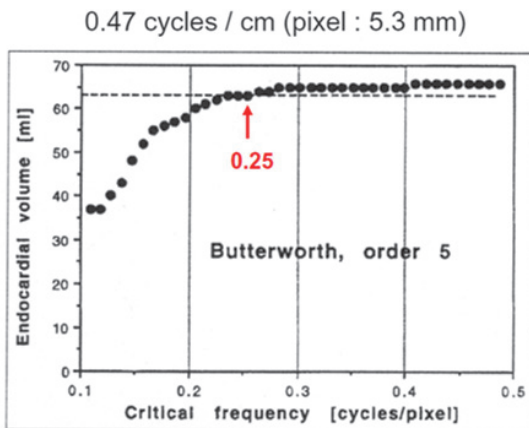


図2：QGSにおけるカットオフ周波数の設定<sup>1)</sup>。  
0.25/0.53=0.47でEDVが真値となる。

#### 《画像再構成》

画像再構成は、複数の方向から収集した2次元の投影データを用いて、3次元のSPECTデータを作成する処理である。代表的な手法としては、フィルタ逆投影法 (filtered back projection : FBP) と OS-EM (ordered subset expectation maximization) 法が挙げられる。両者の主な特徴を表に示す。FBPは一般的に再構成フィルタにRampフィルタが用いられ、パラメータ設定は必要がないが、OS-EMは、逐次近似の回数(iteration)と投影データをグループ分けする数(subset)の適正值を検討してから使用する必要がある。計算速度は、コンピュータの発達により両者の差は、縮小しているが、OS-EMは、パラメー

|              | FBP   | OSEM  |
|--------------|-------|-------|
| パラメータ設定      | 不要    | 必要    |
| 計算速度         | 速い    | やや遅い  |
| マイナス値        | 発生する  | 発生しない |
| ストリークアーチファクト | 生じやすい | 生じにくい |
| 各補正          | 組込不可  | 組込可   |

表：FBPとOS-EMの比較

タや補正の有無によって計算時間延長する場合がある。FBPは、本来存在しないはずのマイナスの値や、心筋外高カウント領域の影響でストリークアーチファクトが発生しやすい。OS-EMは、メリットとして、基本式に物理現象を考慮し、散乱・減弱・分解能補正が同時に行える事、低カウント領域での信号雑音比が良い事、不完全投影データに対応できるといった事が挙げられる。デメリットとしては、値の収束が低周波で早く、高周波で遅くなるという収束速度が空間周波数に依存する傾向があり、これに対してiterationを増やすとノイズの影響を受けやすくなるなど、パラメータにより画質や定量値が変動するが選択方法に明確な基準がない事、subsetの組み方や計算順番等に任意性があり、装置間誤差が発生するという事などが挙げられる<sup>3)6)</sup>。

臨床現場において、アンガー型カメラを用いて心筋SPECT検査を行っている施設では、以前からの慣例と原理および使い勝手がシンプルなため、FBPを使用している場合が多い。OS-EMの導入は、慎重に行う事が推奨されており、同一装置でもFBPとOS-EMのスケールファクタが異なる場合や、どちらかにのみ特殊な後処理が追加される場合もあることから<sup>4)</sup>、FBPで問題が生じた場合にのみ一時的にOS-EMを使用するといった事ではなく、適正なパラメータを検討し、健常例を含め様々な症例における傾向を理解したうえで使用する必要がある。一般的に更新回数(iteration×subset)が30以上、1サブセット内のデータ数が4以上あれば臨床的には大きな差はないといわれている<sup>3)</sup>。

心筋SPECT検査において、次のような場合には、OS-EMによる再構成が有用となる。

a. 再構成法に起因したアーチファクトを軽減し

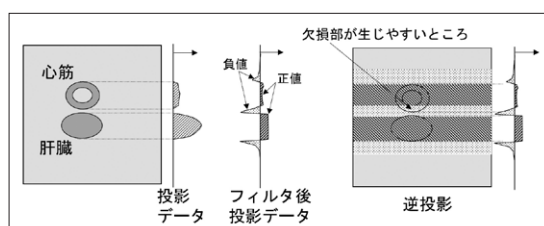


図3：心筋-肝臓距離が近づくことによるアーチファクト。高集積部の両側には、フィルタ後の投影データには大きな負の値が与えられるので、これを逆投影した際に、心筋下壁部のカウントが低下する<sup>5)</sup>。

#### たいとき

FBPでは<sup>99m</sup>Tc製剤などで肝臓・胆のう・小腸に集積が高い場合、①心筋と肝臓の距離が近いと下壁の集積が低下する②心筋外高集積によりストリーク（画線）が生じるといった2つの代表的なアーチファクトが発生する。

①は、フィルタ後の逆投影の際に、肝臓と心筋境界にマイナス値が発生する影響（図3）、

②は、高集積部位の逆投影データが残ってしまう影響である。OS-EMでは、①の現象は原理的に起こらず、②の影響も少ないため、アーチファクトを大幅に軽減できる。

#### b. 減弱・散乱・補正・分解能補正を組み込みたいとき

各補正は、画質・定量性を向上させる効果が期待できる。しかし、補正方法は、各社独自のアルゴリズムを組み込んでいるため、装置間で差があることを念頭に置き、処理内容を理解した上で使用する必要がある。

#### c. 不完全投影データを再構成したいとき

装置の不具合や、検査終了間際で検査中断となってしまったことにより一部の角度の投影データが失われた不完全投影データを再構成する場合、FBPではアーチファクトを生じるが、OS-EMでは軽減される<sup>6)</sup>。

### 《断面変換》

断面変換は、再構成された3次元データのスライス面を、任意の角度で作成する方法である。心筋SPECTでは、断面変換により心軸設定を行う。この処理を手動で行う際には、解析者間および解析者内誤差が生じやすい。負荷時と安静時、早期像と後期像、フォローアップのための繰り返し検査時など、検査結果を正しく比較するためには、断面変換の再現性を担保する必要がある。特に、

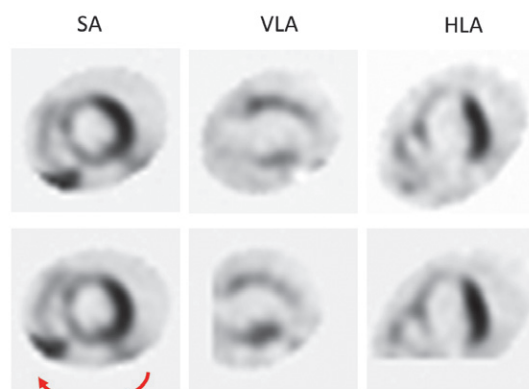


図4：2軸と3軸での設定に差が生じた例。上段は、2軸設定。中隔が傾いた画像となっている。下段は、SAを16°回転させて中隔を垂直とし、VLAとHLAを切りなおした3軸設定画像。

解析者が複数となる場合は、軸設定の一定の基準を設けておくことが必要である。最も基本的な考え方は、verticalおよびhorizontal long axis像の中心スライスを選択し、心尖を通り、側壁と中隔の中間点、全壁と後壁の中間点を結ぶ線をそれぞれ軸とする事である。このとき、horizontal long axisにおける中隔の心筋の長さが、通常、側壁にくらべて短い事を考慮して軸を設定すべきである。さらに、メーカーによっては、この2軸設定に加えてshort axis像における回転方向の軸設定を行える装置も存在する。この3番目の軸設定方法は、short axis像上で描出される右室に注目し、中隔が垂直になるように心筋を回転させる事である。これにより、短軸像のみならず、long axis像のスライス断面も正しく切り出される。2軸のみの設定しかできない場合、中隔が傾いてしまう症例も少なくからず存在するため（図4）、読影の際には、短軸像で左右の心室の位置関係を確認する必要がある。

### 《おわりに》

SPECT検査で主要な画像処理である、前処理フィルタ、画像再構成、断面変換について各処理の特徴と心臓特有の基礎的ポイントについて解説した。画像再構成においては、近年、逐次近似再構成に各補正を組み込んだ手法が発達し注目されている。このような新技術に対しても、施設ごとの条件で検証を行い、処理の理解度を深める事によりメーカーや上司からの指示通りといった受動的な解析・読影作業から、臨床の様々な状況下で

も有益な画像作成のための臨機応変な対応を行う能動的な解析作業が可能になると考える。

#### 《参考文献》

- 1) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al.: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med 1995; 36: 2138-2147.
- 2) 片岡哲朗, 西村圭弘, 西原隆生, 他: Gated 心筋 SPECT による心機能の定量的評価～QGSの有用性～. 映像情報(M) 1999; 31(6): 707-711.
- 3) 柳沢正道: 心筋 SPECT における定量化と標準化. 日放技学誌 2004; 60(5): 666-675.
- 4) 柳沢正道, 丸繁勘, 酒井良介, 他: 逐次近似再構成ソフトウェアの装置間誤差の検討, 核医学分科会誌 2003; 47, 11.
- 5) 尾川浩一: SPECT における画質劣化とその補正(7)(最終回)データ収集角と臓器の動き, 映像情報medical 2002; 34(13): 1260-1264.
- 6) 高橋康之: 第I部 第2章 画像再構成. 核医学画像処理, 日本核医学技術学会編, 山城印刷, 京都 2010; 37-45.

GE Healthcare

From  
Late  
Disease  
to  
Early  
Health



GEはEarly Health実現に向けてMolecular Imagingを使って世界の医療における変革を推進し、疾患が進行してからの医療(Late Disease)から早期診断・早期治療(Early Health)の確立を目指します。



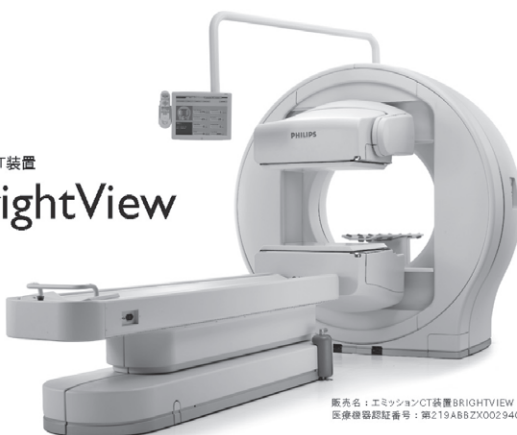
GE imagination at work

販売名称: X線CT組合せ型PET/CT装置 Optima PET/CT500/Discovery PET/CT 600  
 業事承認番号: 221ACBZX00029000  
 販売名称: 核医学診断用装置 Discovery NM/CT 670  
 業事承認番号: 222ACBZX00088000  
 販売名称: 放射性医薬品合成設備 FASTlab  
 業事承認番号: 223008ZX00445000

DOC1215724

SPECT装置

BrightView



販売名: エミッションCT装置 BRIGHTVIEW  
 医療機器承認番号: 第219A88ZX00294000号

**HITACHI**  
Inspire the Next

#### クローズアップテクノロジー

被検者との距離による空間分解能の劣化を低減し、高画質を得られます。

#### ワークフロー

先進的デジタル技術が、画像処理の高速化と優れた操作性を提供します。

#### ピンポイントディテクター

大視野・薄型設計と高い基本性能を実現、快適な検査環境を創りだします。

株式会社日立メディコ

URL [www.hitachi-medical.co.jp](http://www.hitachi-medical.co.jp) 〒101-0021 東京都千代田区外神田4-14-1 秋葉原UDX

## リレー講座

診療に役立つ核医学の基本—専門医試験も見据え—  
「医薬品・検査」

小須田 茂 KOSUDA Shigeru

## 《はじめに》

核医学専門医試験問題の領域には、「2. 放射性医薬品の基礎知識(製造, 集積機序, 体内動態, 代謝)」、「3. 放射性医薬品の安全取扱」が含まれており, 毎年出題数が多く重要な領域である。また, 「6. 核医学検査の実践に必要な基礎知識」の1項目には, 「(1)放射性医薬品の選択」が掲載されている。「7. 核医学内用療法の実践に必要な基礎知識」には, 「(1)原理と放射性医薬品」の記載がある。放射性医薬品のほか, 負荷試験に使用されるアセタゾラミド(ダイアモックス)などの常用医薬品も出題される。

当然ながら, 放射性医薬品とそれに関連した核医学検査の種類も把握しておかねばならない。

以下に, 最近の日本核医学会専門医試験(第8回, 第9回核医学専門医試験), 医薬品・検査関連問題を中心に概説する。多領域, 多臓器にわたる問題をなるべく選択し, 1臓器に限定した問題は各臓器別リレー講座に委ねることとした。リレー講座「安全取り扱い・関連法規・被曝」と一部重複するかもしれない。

これから受験を予定されている先生方にとって少しでも役立てば幸いである。

なお, 文献は主に以下のテキストを用いた。

1. 宇都宮啓太, 河野由美子. 診断・治療用放射性医薬品. 植林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp144-150.
2. 小須田 茂. 核医学検査・SPECT (single photon emission computed tomography) .

植林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp151-159.

3. 最新臨床核医学 改訂第3版, 利波紀久, 久保敦司編, 金原出版, 東京, 1999.

**問題1** 放射性医薬品に用いる核種として, サイクロトロンで製造されるのはどれか。2つ選べ。

- a.  $^{123}\text{I}$       b.  $^{125}\text{I}$       c.  $^{131}\text{I}$   
d.  $^{133}\text{Xe}$       e.  $^{201}\text{Tl}$

正解 : a, e

## 解説

福島原発事故で当初,  $^{131}\text{I}$ が問題になったことは記憶に新しい。現在は半減期30年の $^{137}\text{Cs}$ が環境汚染との関連で最も社会の関心が高い。原子炉では多くの核種が副産物として生成され, 安価に入手可能である。 $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ の他, 原子炉から得られる核種は $^{125}\text{I}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ がある。サイクロトロンにて製造される核種には $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ がある。

わが国では,  $^{99}\text{Mo}$ を100%海外からの輸入に依存しているため,  $^{99}\text{Mo}$ の供給不足が大きな問題となっている。最近の $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 供給不足に対し,  $^{100}\text{Mo} (n, 2n) ^{99}\text{Mo}$ により,  $^{99}\text{Mo}$ をサイクロトロンで国内製造しようとする動きがある。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 供給不足時期では心筋血流製剤である $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc-tetrofosmin}$ に代わり,  $^{201}\text{Tl}$ が用いられた。

## 文献

1. 宇都宮啓太, 河野由美子. 診断・治療用放射性医薬品. 植林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山

憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp144-150.

**問題2** ジェネレータから取り出される核種はどれか。1つ選べ。

- a.  $^{67}\text{Ga}$       b.  $^{81\text{m}}\text{Kr}$       c.  $^{111}\text{In}$   
d.  $^{123}\text{I}$       e.  $^{201}\text{Tl}$

正解 : b

### 解説

ジェネレータ(カウ)とミルキングは知っておかねばならない。 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{62}\text{Zn}/^{62}\text{Cu}$ ,  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  などがある。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{81\text{m}}\text{Kr}$  はSPECT製剤で保険適用である。 $^{62}\text{Cu}$ ,  $^{68}\text{Ga}$  はポジトロン核種で前者の物理学的半減期は9.7分、後者のそれは68分である。質量数と同じで覚えやすい。

### 文献

1. 宇都宮啓太, 河野由美子. 診断・治療用放射性医薬品. 榎林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp145-146.

**問題3** ポジトロン放出核種の中で最も物理学的半減期の短いのはどれか。1つ選べ。

- a.  $^{11}\text{C}$       b.  $^{13}\text{N}$       c.  $^{15}\text{O}$   
d.  $^{18}\text{F}$       e.  $^{68}\text{Ga}$

正解 : c

### 解説

ポジトロン核種は物理学的半減期が短いのが特徴であるが、問題2でも記載したように $^{68}\text{Ga}$ の物理学的半減期は68分、 $^{18}\text{F}$ のそれは110分と比較的長い。 $^{15}\text{O}$  : 2分,  $^{13}\text{N}$  : 10分,  $^{11}\text{C}$  : 20分で、院内製造用サイクロトロンが必要となってくる。

### 文献

2. 宇都宮啓太, 河野由美子. 診断・治療用放射性医薬品. 榎林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp147.

**問題4**  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤について誤っているのはどれか。2つ選べ。

- a.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識時には空気の混入をさける。  
b. 標識はパーテクネートを酸化することで

行う。

- c.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECDは標識調製後30分以内に使用せねばならない。  
d.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>は標識時に加熱を要する。  
e.  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ は平衡状態に達するまで約24時間かかる。

正解 : b, c

### 解説

空気中には細菌を含む浮遊物, チリなどが多く, 患者に投与する薬剤は当然, 空気の混入を避けるよう心がける。

$^{99}\text{Mo}$ は半減期66時間で $\beta$ 壊変により86%が $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , 14%が直接 $^{99}\text{Tc}$ (物理学的半減期:  $2.14 \times 10^5$ 年)となる。 $^{99}\text{Mo}$ と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は過渡平衡関係にあり,  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータより $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を溶出した後, 約23時間( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の物理学的半減期の4倍)で $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能は最大となり, 親核種 $^{99}\text{Mo}$ の放射能の68%にあたる $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が得られる。

$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ は7価(7+)で反応性が低く, 標識するには還元する必要がある。例えば,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPAでは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は4価になっている。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECDの放射化学的純度は調整後徐々に上昇し, 30分以降は97%~98%とプラトーに達する。24時間後においても劣化しない。一方,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAOでは24時間以内に溶出したジェネレータを用いる。溶出後2時間以内にキットの調整を行う。調整に際して放射能濃度を1.11GBq/5ml以下とする。調整後は30分以内に患者に投与する, といった難点がある。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>の標識は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -酒石酸+MAG<sub>3</sub>から, 75~100℃の加熱で $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>+酒石酸となる。標識時に加熱を要するのは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>の他,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBIがある。

### 文献

1. 最新臨床核医学 改訂第3版, 利波紀久, 久保敦司編, 金原出版, 東京, 1999, p32, 39, 40, 198, 467.

**問題5** 心筋イメージング剤について正しいのはどれか。2つ選べ。

- a.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pyrophosphateはNa-Kポンプにより摂取される。  
b.  $^{111}\text{In}$ -抗ミオシン抗体は壊死心筋に集積する。  
c.  $^{201}\text{TlCl}$ は水溶性である。

- d.  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBIは $^{201}\text{TlCl}$ より心筋摂取率が高い。  
e.  $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosminは調製に加熱が必要である。

正解：b, c

### 解説

$^{99m}\text{Tc}$ -pyrophosphateは骨シンチグラフィ製剤として用いられた時期があり、ハイドロキシアパタイト結晶との親和性がある。急性心筋梗塞の壊死心筋細胞にカルシウムイオンと同様な挙動を示してミトコンドリア内のハイドロキシアパタイト結晶へ集積する。Na-Kポンプにより摂取されるのは $^{201}\text{Tl}$ である。 $^{201}\text{Tl}$ は1価の陽イオンでカリウムと同様の体内挙動を示す。

$^{111}\text{In}$ -抗ミオシン抗体は最近、ほとんど用いられていないが、壊死心筋に集積する。

$^{99m}\text{Tc}$ -MIBIは $^{201}\text{TlCl}$ より心筋摂取率が低い。心筋摂取率は、 $^{201}\text{Tl}$  4%,  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBIは1.8%以下である。加熱を要するのは $^{99m}\text{Tc}$ -MIBIである。 $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosminは調製に加熱は不要である。

### 文献

- 最新臨床核医学 改訂第3版, 利波紀久, 久保敦司編, 金原出版, 東京, 1999, p184, 196, 212-213, 218.

### 問題6 標識操作に加熱を要するのはどれか。

1つ選べ。

- a.  $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosmin      b.  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA  
c.  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP              d.  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD  
e.  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI

正解：e

### 解説

問題4, 問題5にも出題された。加熱を要するのは $^{99m}\text{Tc}$ -MIBIである。この難点を補う意味で加熱が不要の $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosminが開発された。MIBIは欧米ではsestamibiと言われる。 $^{201}\text{Tl}$ は腎臓から排泄されるのに対して、 $^{99m}\text{Tc}$ -MIBIは肝臓から排泄される。

$^{99m}\text{Tc}$ -ECDは通常、市販されるシリンジタイプを使用している。標識には $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA + ECD =  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD + DTPAで生成されるが、通常は室温で行う。

### 文献

- 最新臨床核医学 改訂第3版, 利波紀久, 久保敦司編, 金原出版, 東京, 1999, p39-40.

### 問題7 放射性医薬品と測定対象の組み合わせが正しいのはどれか。2つ選べ。

- a.  $^{18}\text{F}$ -FDG ————— 脳血流量  
b.  $^{15}\text{O}$ -CO<sub>2</sub> ————— 脳血液量  
c.  $^{99m}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub> ————— 腎血漿流量  
d.  $^{123}\text{I}$ -BMIPP ————— 心筋脂肪酸代謝  
e.  $^{123}\text{I}$ -IMP ————— 心筋血流量

正解：c, d

### 解説

平易な問題と思われる。

$^{18}\text{F}$ -FDGは糖代謝であることはよく知られている。 $^{15}\text{O}$ -CO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>は、水、すなわち血液中の水成分に多くが溶解するため、脳血液量ではなく脳血流量である。

$^{99m}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>は腎血漿流量であり、 $^{99m}\text{Tc}$ -DTPAは糸球体濾過量が分かる。 $^{23}\text{I}$ -BMIPPは心筋脂肪酸代謝製剤と知られており、 $^{123}\text{I}$ -IMPはSPECT製剤の中では最も正確な脳血流量測定に用いられる。

### 文献

- 宇都宮啓太, 河野由美子, 診断・治療用放射性医薬品, 植林 勇, 杉村和朗, 監修, 富山憲幸, 中川恵一, 編, 放射線医学 放射線医学総論, 金芳堂, 京都, 2012, pp144-150.
- 小須田 茂, 核医学検査・SPECT (single photon emission computed tomography), 植林 勇, 杉村和朗, 監修, 富山憲幸, 中川恵一, 編, 放射線医学 放射線医学総論, 金芳堂, 京都, 2012, pp151-159.

### 問題8 $^{99m}\text{Tc}$ キット製剤の調整において誤っているのはどれか。1つ選べ。

- a.  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ジェネレータの回目の溶出時からの間隔が長くなるに従い、 $^{99}\text{Tc}$ の濃度が増加して、標識率が向上する。  
b. 放射能が同じである場合は、市販の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 溶液の方がジェネレータより溶出してすぐの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ より多くの $^{99}\text{Tc}$ を含む。  
c. 添付文書等の記載量よりも多くの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ をキットに加えると、配位子や還元剤濃度が低下して標識率が低下することがある。  
d. 調製後の溶液を希釈すると放射性医薬品が分解して、その放射化学的純度が低下することがある。

- e. 通常は常温で標識を行うので、キットのバイアルは使用する5～15分前には冷蔵庫から取り出し、常温に戻す。

正解：a

## 解説

標識するのは $^{99m}\text{Tc}$ であって $^{99}\text{Tc}$ ではない。したがって、 $^{99m}\text{Tc}$ のみ存在することが理想である。 $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ジェネレータの前回の溶出時からの間隔が長くなるに従い、 $^{99}\text{Tc}$ の濃度が増加して、標識率が劣化する。

放射能が同じである場合は、市販の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 溶液の方がジェネレータより溶出してすぐの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ より多くの $^{99}\text{Tc}$ を含むという難点がある。最近はシリンジタイプ(標識済み放射性医薬品)ですべてを運用している施設が増加し、 $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ジェネレータを常設していない病院が多い。緊急検査、小児投与を考慮すると $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ジェネレータ設置が望ましい。また、骨シンチグラフィ1件あたり、約1900円の利益増収をもたらす。

添付文書等の記載量よりも多くの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ をキットに加えると、配位子や還元剤濃度が低下して標識率が低下し、誤診につながる。例えば、

$^{99m}\text{Tc}$ -MAA肺血流シンチグラフィでは $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が増加することで腎が描出され右左シャントの存在が疑われることになる。

調製後の溶液を希釈すると放射性医薬品が分解して、その放射化学的純度が低下することがあり、少量でも希釈せず三方活栓から生食でフラッシュする。

通常は常温で標識を行うので、キットのバイアルは使用する5～15分前には冷蔵庫から取り出し、常温に戻す。とくに、MAAキットは冷凍庫保存のため溶解するまでにかかり時間がかかる。

## 文献

1. 宇都宮啓太, 河野由美子. 診断・治療用放射性医薬品. 植林 勇, 杉村和朗, 監修. 富山憲幸, 中川恵一, 編. 放射線医学 放射線医学総論. 金芳堂, 京都, 2012, pp144-150.
2. 木下 亮, ほか.  $^{99m}\text{Tc}$ 供給不足終了後のSPECT検査数に関するアンケート調査と $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ジェネレータ運用収支に関するモデル解析. RADIOISOTOPES 2012; 61: 613-618.

薬価基準収載

放射性医薬品・骨疾患診断薬

処方せん(医薬品注) **クリアボーン®** 注

放射性医薬品基準ヒドロキシメチレンジホスホン酸テクネチウム( $^{99m}\text{Tc}$ )注射液

## 骨シンチグラフィに。

■効能又は効果

骨シンチグラムによる骨疾患の診断

■用法及び用量

通常、成人には555～740MBqを肘静脈内に注射し、1～2時間の経過を待って被検部の骨シンチグラムをとる。  
年齢、体重により適宜増減する。

■使用上の注意

1. 重要な基本的注意：診断上の有益性が被曝による不利益を上回ると判断される場合にのみ投与することとし、投与量は最少限度にとどめること。

2. 副作用：臨床試験及び使用成績調査(全12401例)において副作用が認められた例はなかった(再審査終了時)。

注) 注意—医師等の処方せんにより使用すること。  
詳しくは添付文書をご参照下さい。

®：登録商標

## その他の副作用

|       | 頻度不明*                   |
|-------|-------------------------|
| 過敏症   | 発疹、そう痒感、顔面潮紅、発赤         |
| 消化器   | 嘔吐、悪心、食欲不振              |
| 循環器   | チアノーゼ、血圧低下、徐脈、動悸        |
| 精神神経系 | てんかん様発作、耳閉感、頭痛、めまい、ふらつき |
| その他   | 発熱、気分不良、冷汗、四肢しびれ        |

※自発報告につき頻度不明

3. 高齢者への投与：一般に高齢者では生理機能が低下しているので、患者の状態を十分に観察しながら慎重に投与すること。
4. 妊婦・産婦、授乳婦等への投与：妊婦又は妊娠している可能性のある婦人及び授乳中の婦人には、原則として投与しないことが望ましいが、診断上の有益性が被曝による不利益を上回ると判断される場合にのみ投与すること。
5. 小児等への投与：小児等に対する安全性は確立していない(現在までのところ、十分な臨床成績が得られていない)。
6. 適用上の注意：骨盤部読影の妨害となる膀胱の描出を避けるため及び膀胱部の被曝を軽減させるため、撮像前後できるだけ排尿させること。
7. その他の注意：(社)日本アイソトープ協会医学・薬学部会放射性医薬品安全性専門委員会の「放射性医薬品副作用事例調査報告」において、まれにアレルギー反応(発赤)、その他(悪心、発汗など)があらわれることがあると報告されている。

2011年2月 改訂



資料請求先

日本メジフィジックス株式会社 [製品に関するお問い合わせ先]  
〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号 ☎ 0120-076941  
<http://www.nmp.co.jp/>

## 症例クイズ

## 出題編(平成26年3月の症例検討会から)

橋本 禎介<sup>1)</sup> HASHIMOTO Teisuke小泉 潔<sup>2)</sup> KOIZUMI Kiyoshi

放射線診療研究会で恒例となっている年度末の症例検討会が、今回は平成26年3月10日(月)に東京住友ビル47階で開催されました。

今回は次の6施設から症例提示がありました。東京女子医大の中嶋怜子先生、昭和大病院の須山淳平先生、埼玉医大総合医療センターの清水祐次先生、北里大学病院の浅野雄二先生、千葉県がんセンターの田口英俊先生、防衛医大の吉松真也先生、以上の6施設です。

それぞれの症例は貴重で興味ある内容ばかりで、司会者はじめ会場の参加者は核医学の有用性や醍

醐味に感じ入りました。以上の症例提示のうち次の2施設の症例につき誌上検討会を行うこととなりました。

皆様方のご応募をお待ちしております。なお、解答を送っていただいた方には参加賞を、正解者には、優秀賞を放射線診療研究会、臨床核医学編集委員会より贈呈します。小泉 潔までメールあるいはファックスにて8月末までにお願いします。ただし、当該の研究会に出席されすでに解答をご存じの方はご遠慮下さい。

## 《症例1》昭和大病院 須山淳平先生 出題

症例：40歳代、女性

主訴：呼吸苦

現病歴：

肺炎で入院した際、施行された超音波検査にて肺腫瘍が発見された。精査目的で施行された造影CTの所見にもとづき抗凝固療法が施行されていた。3か月後に経過観察目的で造影CTが行われ、精査目的で<sup>18</sup>F-FDG PETが施行された。既往症は特にない。

初回造影CTを図1に示す。

3か月後造影CTを図2に示す。

<sup>18</sup>F-FDG PET/CTを図3(a全身像 b胸部fusion像)に示す。なおSUVmax 5.86 → 9.73であった。

(設問1) 最も考えられる疾患はどれか。

1. 急性肺動脈血栓症
2. 慢性肺動脈血栓症
3. 感染性肺動脈血栓症
4. 肺動脈肉腫
5. 高安病



図1

1) 獨協医大 放射線科 〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林880  
TEL: 0282-86-1111

2) 東京医科大学八王子医療センター 放射線科 〒193-0998 八王子市館町1163  
TEL: 042-665-5611 FAX: 042-665-1796 E-mail: kkoi@tokyo-med.ac.jp



図2

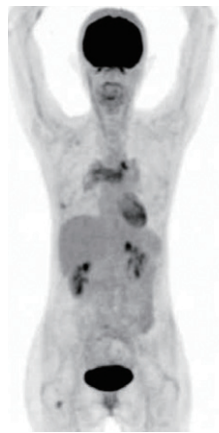


図3a

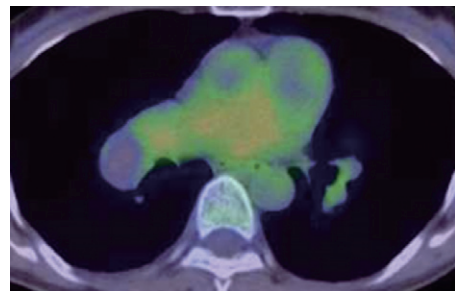


図3b

### 《症例2》

千葉県がんセンター 田口英俊, 戸川貴史, 久山順平先生 出題

症例：50歳代, 女性

主訴：なし

現病歴：

3年前, 右乳癌の診断にて右乳房全摘術を受け, 病理診断はpT1cN1M0であった。その後外来で経過観察していたが, 腹部超音波検査・腹部造影CTで異常所見を指摘された。さらに精査目的で,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 検査を施行した。

既往歴：特記すべき事項なし

家族歴：特記すべき事項なし

嗜好：喫煙歴・飲酒の習慣はいずれもない。

腹部造影CT(図4),  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 検査 MIP 像(図

5),  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT(早期像, 図6)を供覧する。

(設問2) 最も考えられるのはどれか。

1. 副腎腺腫
2. 転移性腫瘍
3. 悪性リンパ腫
4. 神経鞘腫

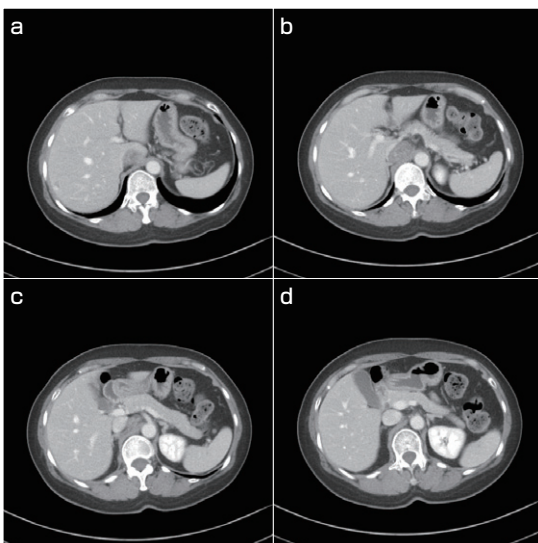


図4

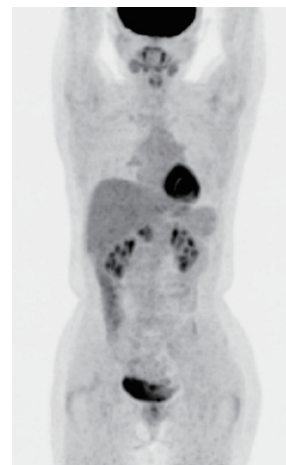


図5

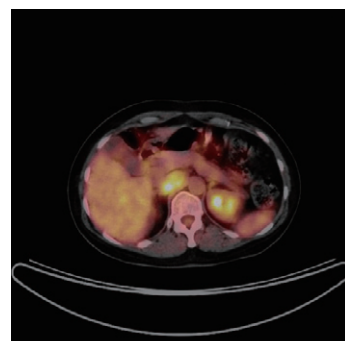


図6

## 印象記

# 「世界のエネルギー需給の潮流と我が国及びアジアへのインプリケーション」セミナーに参加して

飯沼 武 IINUMA Takeshi

### 《はじめに》

4月21日(月)、東京大学本郷キャンパスにおいて、上記のセミナーが開催されました。

筆者は本誌の5月号で、「福島原発事故後の日本のエネルギー政策の将来—ドイツとフランスを比較して」と題するエッセイを発表させていただきましたが、引き続き、日本のエネルギー問題の将来について、再び私見を述べさせていただきます。この問題は我々、放射線を扱う医療関係者にとって避けて通れないテーマであり、是非、ご議論をお願い申し上げます。

### 《本セミナーの概要》

本セミナーのプログラムは以下の通りです。

- 1) 講演「世界のエネルギー需給の潮流と我が国及びアジアへのインプリケーション」

Dr. Fatih Birol International Energy Agency(IEA)

- 2) パネル討論会

Fatih Birol(IEA)

城山英明(東京大学公共政策大学院)

松橋隆治(東京大学大学院工学研究科)

【日時】2014年4月21日(月)13:30-15:00

【場所】東京大学伊東国際学術研究センター  
ホール

東日本大震災やその後の福島第一原子力発電所事故から3年を経て、グローバルなエネルギーをめぐる環境は大きく変化しております。とくに「シェール革命」がエネルギーの需給関係を大きく変えつつあり、再生可能エネルギーの市場は大きくなりました。

また、「アラブの春」など中東をはじめとする世界の地政学も大きく変わりつつあります。世界

経済の先行きには、不透明感が増しているものの、引き続きアジア地域が世界の経済成長・エネルギー需要の伸びを牽引するであろうことには疑いがないと思われます。

折しも、わが国では「エネルギー基本計画」の政府案が示され、改めてわが国のエネルギー政策全体に関する議論が盛り上がりつつあります。そこで国内資源の乏しい我が国にとって、エネルギー問題をグローバルな視点から検討することはきわめて重要であります。

### 《筆者の印象》

前日も日本のエネルギー問題の将来について、自論を述べさせていただきましたが、今回も別の観点から世界のエネルギー需給に関する課題を論ずるセミナーに参加しましたので、再び本誌に投稿させていただきました。ご意見がありましたら、是非、下記のアドレスのメールをいただけたら幸いです。

まず、IEAのBirol博士は、世界のエネルギー需給がアメリカのシェールオイルの産出により革命的な変化が起こりつつあることを述べられました。アメリカは中東から石油を大量に輸入しておりました。シェールオイルが大量に発掘され、逆にエネルギーの輸出国になるようであります。日本も近い将来にアメリカからシェールオイルを輸入することになるという話です。これは大きな変化であり、世界のエネルギー需要に革命をもたらすものです。

日本にとってはアメリカからの比較的安価のシェールオイルを輸入できることは国の安全保障にとってプラスですね。

一方で、Birol博士は原子力発電に関しては、日本はエネルギー資源の確保の点から安全性に配

慮しつつ、一定の割合で保持すべきであるとも述べられました。私の主張と完全に一致しており、嬉しかったです。

パネル討論会では2人の演者から、再生可能エネルギーの活用も含めた日本のエネルギーの在り方につき提案がありました。いずれも原子力発電も選択肢の一つとして残すべきであり、今後は地球温暖化対策ももっと考慮する必要があることを強調されました。

私の考えは、前回の本誌のエッセイでも述べましたように、我が国は原発を一定の割合で残すべきであるということです。放射能の恐怖から、原発に反対することが間違いです。

勿論、地震や津波に対する可能な限りの安全策は講ずるべきですが、万が一、事故が起こって放射能が放出されたとしても、その量をモニターしながら避難をするか否か、冷静に判断すべきです。避難する必要がないことも考えられます。

今回のセミナーでも、講師の皆様のご意見は私の従来の考えが誤りでないことを保証してくれたように思います。

読者の皆さまは放射線の医療への応用の専門家でありますので、是非、理性的なご判断に基づき我が国のエネルギーの将来について発言することを期待します。

## 核医学装置QC用線源

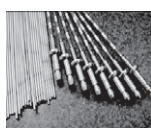
装置のデータ精度に心配ありませんか？

ガンマカメラ検出器  
精度管理用線源



$^{57}\text{Co}$  370MBq

PET検出器用校正線源



$^{68}\text{Ge}$

ドーズキャリブレーション用  
チェック線源



$^{68}\text{Ge}$  37MBq

お問合せ・ご注文は



公益社団法人

日本アイソトープ協会

Japan Radiotope Association

医薬品・アイソトープ部 放射線源課

〒113-8941

東京都文京区本駒込2-28-45

TEL: 03-5395-8031 FAX: 03-5395-8055

製品輸入元

株式会社 千代田テクノル

アイソトープ営業部

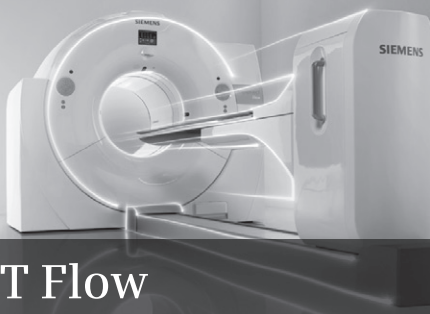
〒113-8681

東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

TEL: 03-3816-5273 FAX: 03-5803-1938

URL: <http://www.c-technol.co.jp>

SIEMENS



Biograph mCT Flow

PET・CT

X線CT組合わせ型ボルトンCT装置 バイオグラフmCT  
認証番号: 221A08ZX00015000

Answers for life.

for one more smile



遺伝子組換えヒト型甲状腺刺激ホルモン製剤 薬価基準収載

## タイロゲン<sup>®</sup> 筋注用 0.9mg

ヒトチロトロピン アルファ(遺伝子組換え)筋注用凍結乾燥製剤  
生物由来製品／処方せん医薬品<sup>注)</sup>

注) 注意一医師等の処方せんにより使用すること

効能・効果、用法・用量、禁忌を含む使用上の注意等については、  
添付文書をご参照ください。

 **Thyrogen<sup>®</sup>**  
thyrotropin alfa for injection

【製造販売元・資料請求元】

**genzyme** ジェンザイム・ジャパン株式会社 くすり相談室

A SANOFI COMPANY 〒163-1488 東京都新宿区西新宿三丁目20番2号 TEL:0120-255-011 FAX:03-6301-4045 <http://www.genzyme.co.jp/>

2013年4月作成

# FUJIFILM



放射性医薬品／  
心交感神経診断薬・神経芽腫診断薬・褐色細胞腫診断薬  
処方せん医薬品<sup>(注)</sup>

## ミオ<sup>®</sup>MIBG-1123注射液

放薬基：3-ヨードベンジルグアニジン(<sup>123</sup>I)注射液 薬価基準収載

放射性医薬品／  
心臓疾患診断薬・心機能診断薬・副甲状腺疾患診断薬  
毒薬<sup>\*</sup>・処方せん医薬品<sup>(注)</sup>（※：「カーディオライト<sup>®</sup>第一」のみ）

## カーディオライト<sup>®</sup> 第一/注射液 第一

放薬基：ヘキサキス(2-メトキシイソブチルイソニトリル)テクネチウム(<sup>99m</sup>Tc)注射液 調製用/注射液 薬価基準収載

放射性医薬品／  
心臓疾患診断薬・腫瘍(脳、甲状腺、肺、骨・軟部、縦隔)  
診断薬・副甲状腺疾患診断薬  
処方せん医薬品<sup>(注)</sup>

## 塩化タリウム-Tl201注射液

日局：塩化タリウム(<sup>201</sup>Tl)注射液 薬価基準収載

注) 注意・医師等の処方せんにより使用すること

★「効能又は効果」、「用法及び用量」、「使用上の注意」等  
については添付文書をご参照ください。

製造販売元

富士フイルム RIファーマ株式会社

資料請求先：〒104-0031 東京都中央区京橋2-14-1 兼松ビル  
ホームページ：<http://fri.fujifilm.co.jp>

TEL 03(5250)2620

TOSHIBA

Celesteion

より鮮やか

**TOF**

450ps以下の  
TOF時間分解能

反対方向に放出される2つのガンマ線を検出するPET装置。  
この2つのガンマ線が入射する時間差を測定する技術がTOFです。  
CelesteionのTOFは時間分解能450ピコ秒以下を達成。  
より鮮やかなPET画像を生み出します。

より広い

**Large Bore**

ガントリ開口径900mm(CT)  
最大FOV700mm

CT部900mm、PET部880mmの開口は広々とした  
快適な検査環境を実現するだけでなく、  
固定具を利用できるなど検査の幅を広げます。  
また、700mmのFOVは上肢を下げた体位、  
大柄な被検者の検査にも十分対応できます。

より低被ばく

**AIDR 3D**

最大50%ノイズ低減、  
75%の被ばく低減効果

AIDR 3Dは収集された投影データ上で、  
統計学的ノイズモデル、スキャナーモデルを  
用いてノイズを低減します。  
さらに、アナトミカルモデルを用い、画像再構成の中で  
ノイズ成分のみを抽出して繰り返し除去します。

## 求められるPET-CTを、ここに。

本当に医療の現場で必要とされるPET-CT装置とは何か…。

東芝は、世界初のガントリ移動方式PET-CT装置を世に送り出して以来、これを常に模索し  
続けてきました。そして、TOFとLarge Boreを採用することで、より鮮明に、より快適に、  
より広範囲を正確に検査できるPET-CTが誕生しました。

Celesteion —— ベストフィットを追求したPET-CTを、ここに。



Large Bore PET-CTシステム

**Celesteion**<sup>TM</sup>

東芝メディカルシステムズ株式会社

本社 〒324-8550 栃木県大田原市下石上1385番地

<http://www.toshiba-medical.co.jp>

東芝スキャナ Celesteion PCA-9000A  
認証番号:226ADBZX00032000

放射線診療研究会会長

小須田 茂

研究会事務 林 克己

〒359-8513 埼玉県所沢市並木3-2 防衛医科大学校 放射線医学講座

臨床核医学編集委員長

小泉 潔 (発行者、投稿先)

〒193-0998 東京都八王子市館町1163 東京医科大学八王子医療センター放射線科

TEL. 042-665-5611 FAX. 042-665-1796 E-mail: [kkoi@tokyo-med.ac.jp](mailto:kkoi@tokyo-med.ac.jp)

臨床核医学編集委員

百瀬 満(副編集委員長)、汲田伸一郎、小須田 茂、戸川貴史、本田憲業、百瀬敏光

2014年7月20日発行