

核医学研究会（第34回 核医学夢工房）

島根県立中央病院

矢田 俊介 先生

日時：2015年7月5日（日） 10時～15時

・SPECT/CT 「Fusion から新たな代謝画像への
展望」

場所：岡山大学鹿田キャンパス

Junko Fukutake Hall (J- Hall)

大阪大学医学部附属病院

神谷 貴史 先生

【午前の部】（10:00～11:50）

1. 症例報告（核医学検査でわかる典型的な症例
および珍しい症例）10:00～11:00

～ 世話人会（12:00～13:00） ～

座長：済生会山口総合病院

【午後の部】（13:00～15:00）

檀村 紳也

3. 核医学初心者のための基礎的講演 I（SPECT お
よび SPECT/CT の基礎と技術） 13:00～13:50

- ・FDG-PET において振戦による体動がもたらした高集積症例

松江赤十字病院

座長：広島県立病院 見田 秀次

川副 敏晴 先生

「ここがポイント！ SPECT の基本」

- ・頸部と脾臓に FDG の高集積が認められた典型的な IgG4 関連疾患

倉敷中央病院 松友 紀和 先生

川崎医科大学附属病院

4. 核医学初心者のための基礎的講演 II（PET/CT
の基礎と技術）14:00～15:00

佐伯 悠介 先生

座長：川崎医科大学附属病院 甲谷 理温

- ・PET における心サルコイドーシス

鳥取大学医学部附属病院

「PET/CT の基礎と技術」

崎本 翔太 先生

九州大学大学院医学研究院保健学部門

- ・手術直後の脳血流 SPECT 検査が過灌流評価に有効であった症例

医用量子線科学分野 三輪 建太 先生

山口大学医学部附属病院

【症例報告】

藤本 裕樹 先生

「FDG-PET において振戦による体動がもたらした高集積症例」

- ・心アミロイドーシス診断における ^{99m}Tc -HMDP
と ^{201}Tl による2核種同時収集シンチグラフィ
検査

松江赤十字病院 放射線科部 川副 敏晴

愛媛大学医学部附属病院

血液内科の76歳男性。悪性リンパ腫（びまん性B細胞性悪性リンパ腫）で化学療法にて寛解となった患者である。最近腫瘍マーカー（sIL2レセプター）の上昇(647)がみられ再発を疑いFDG-PET/CT検査を行った。PET画像にて右前腕部のみに非常に強いFDG集積が見られた。

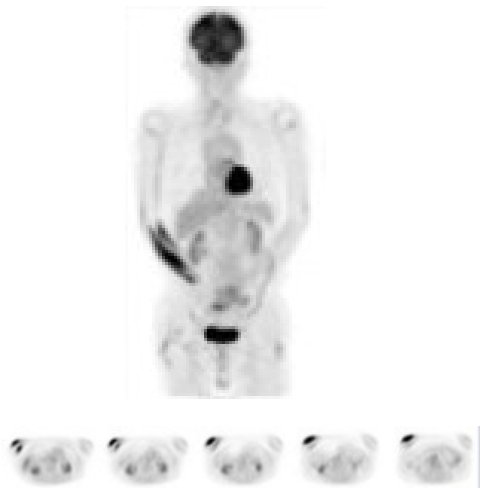
石村 隼人 先生

2. SPECT, PET 最新情報 11:00～12:00

座長：高知大学医学部附属病院

原田 亜希子

- ・PET/CT 「Biograph mCT Flow の使用経験」



集積の度合いから前腕部への再発、また注射漏れ等も疑われたが、患者を問診したところ持続的に右手の振戦が見受けられた。もともとパーキンソン病がある患者で、PET 検査前に特定の骨格筋を使う状態、いわゆる overuse が続き、その部分のみに FDG の高集積が起こってしまっていた。

原因が分かると当然の結果であるが、FDG の集積には疾患特異性がないため悪性腫瘍のみならず一部の良性疾患でも陽性となることがあり、病変と紛らわしいアーチファクトにも注意が必要である。画像だけを見るとその原因をつかむことが難しく、患者への問診が重要であった一例であった。他の例を以下に示す。

(例) 原因 → 集積亢進部分

- 1) シャベリ過ぎ → 口唇・舌・声帯
- 2) PET 検査への不安などによる歯の食いしばり → 咬筋
- 3) 注射痕を長く押さえていた → 母指球
- 4) 前日の激しい運動 → 全身骨格筋
- 5) 片側反回神経麻痺 → 対側声帯

参考文献

デリバリーPETの基礎と臨床

(日本メジフィジックス株式会社)

「頸部と脾臓に FDG の高集積が認められた典型的な IgG4 関連疾患」

川崎医科大学附属病院 佐伯 悠介

IgG4 関連疾患は唾液腺炎や自己免疫性膵炎を 2 大病態とし、他にも涙腺炎、肺門部、縦隔リンパ節腫大や、間質性腎炎等の様々な臓器における全身性の炎症性疾患である。IgG4 関連疾患は、上記のうち複数個の症状を発症することが多いとされる。

また、IgG4 関連疾患は信州大の浜野らや都立駒込病院の神澤らが提唱した比較的新しい疾患概念である。

症例は 70 歳代女性、主訴は両顎下部の腫脹である。血液検査では IgG4 と sIL-2R (悪性リンパ腫の腫瘍マーカー) の異常高値が認められたため、IgG4 関連疾患と悪性リンパ腫が疑われた。

造影 CT が施行され、頸部 (唾液腺) の腫脹、肺門部のリンパ節腫大、尿管の拡張および壁肥厚が認められたが、診断の確定には至らなかった。

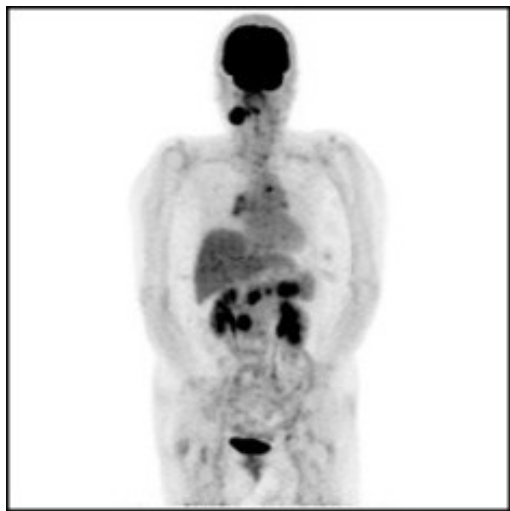
悪性リンパ腫と IgG4 関連疾患の鑑別のために FDG-PET/CT が施行された。PET では頸部と脾臓に FDG の高集積が認められ、肺門部・縦隔リンパ節にも FDG の集積が認められた。FDG-PET 画像では、IgG4 関連疾患の特徴的な集積パターンを示していたため、本症例は IgG4 関連疾患が強く疑われた。唾液腺の摘出術が行われ病理診断の結果、IgG4 関連疾患に特徴的なリンパ濾胞や形質細胞が多数確認された。また IgG 染色でも、IgG4/IgG 陽性形質細胞比が 70%以上であり、IgG4 関連疾患を強く疑う所見であった。

今回の結果は、2011 年の IgG4 関連疾患包括診断基準に合致していたため、IgG4 関連疾患と確定診断群された。

IgG4 関連疾患はステロイドで比較的控制良好な疾患である。本症例はプレドニン投与にて経過は良好であった。

今回われわれは IgG4 関連疾患の典型的な症例を提示した。本症例は FDG-PET/CT を施行したことで、複数臓器に IgG4 関連疾患の特徴的な FDG の高集積を示し、診断に寄与しただけでなく、複数の罹患臓器を把握することができた。

FDG-PET/CT は全身の各臓器の炎症疾患を検索できるため、IgG4 関連疾患の診断に有用であると考えられた。



「PET における心サルコイドーシス」

鳥取大学医学部附属病院 放射線部 崎本 翔太
心サルコイドーシスにおける FDG-PET の役割および当院の症例を報告した。

【心サルコイドーシスとは】

サルコイドーシスとは、肺、リンパ節、眼など、全身の臓器に乾酪壊死のない類上皮細胞肉芽腫が形成される疾患である。一般的には自然寛解し、予後良好である。しかし、心病変への合併は極めて予後不良で死因の大半を占める。そのため、早期診断とステロイド治療により心機能低下と重症不整脈の発生を抑えることが必要である。しかし生検による確定診断の陽性率は低く、他の検査も心筋の組織障害および刺激伝導障害に由来するため、疾患特異性が乏しい。その中で、心筋の活動炎症病変をイメージングする核医学検査、MRI は有用である。しかし FDG-PET 検査においては、心筋への生理的集積が特異度の低下につながる。

【前処置】

心筋の生理的集積を抑制するための前処置として、長時間の絶食、低糖食・高脂肪食、ヘパリン静注がガイドラインなどで提案されている。しかしいずれの前処置においても、具体的な方法が確立されていない。

心筋集積抑制のための前処置

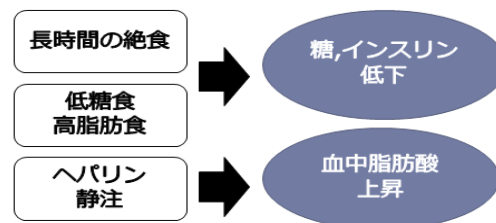


図 1.主な前処置とその効果

【注意点】

十分な前処置を行っている施設においても、生理的集積を見られたという報告がある。可能な限り理想的な前処置を試みるべきであるが、一方で患者への負担、侵襲性を増加させることも認識しておく必要がある。また現在の保険適用は「心サルコイドーシスにおける炎症部位の診断が必要とされる患者」となっている。つまり「肺など他臓器のサルコイドーシス患者で心臓に病変があるか」、「心筋症との鑑別のため」などを目的とした検査は適用外となる。

【MRI VS PET】

心サルコイドーシスの一部の患者では、心臓ペースメーカーを使用している。以前は、MRI で禁忌であったが、制限付きMRI 対応ペースメーカーの登場により、検査可能となった。しかし、まだまだ問題点も多く、重大な事故につながりかねない。またそれぞれのメリットを以下に示す。

MRI	PET
▶ 多彩なシーケンス T₂ Cine, 造影, 冠動脈 他の疾患 ▶ 被曝がない ▶ 安価	▶ 全身撮像 他部位 ▶ 騒音がない ▶ 閉所恐怖症 ▶ 腎機能
T2画像の感度が十分でない 遅延造影に心筋壊死が含まれる	
FDG-PET所見と乖離	

図 2.MRI と PET の比較

【当院の症例】

- ① ヘパリン投与、絶食 15 時間の前処置を行ったものの、全周性に生理的集積を認め診断が困難であった。

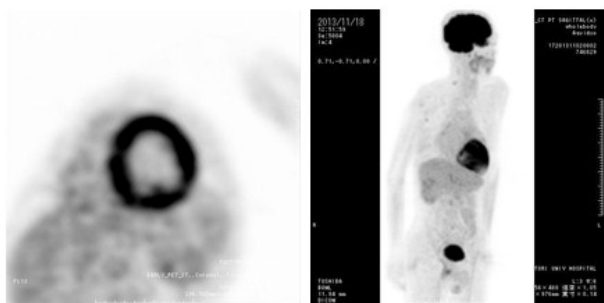


図 3.生理的集積が生じた症例

- ② FDG-PET にて、左室側壁に diffuse な高集積を認めた。他の検査で診断困難であったが、早期のステロイド治療により予後良好となった症例。

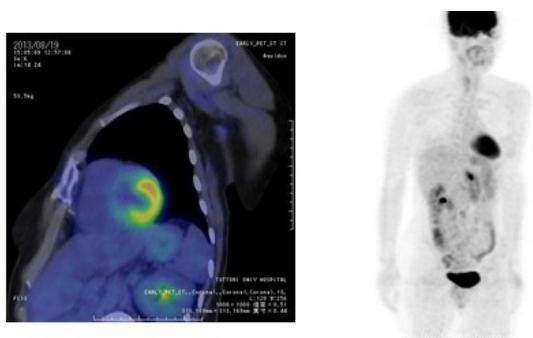
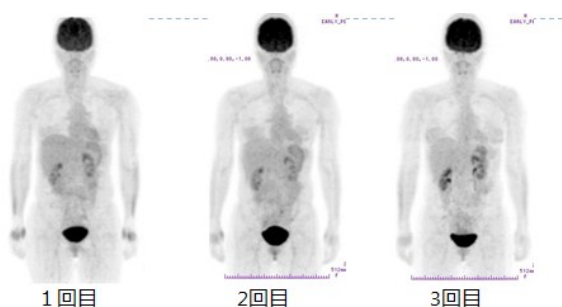


図 4. 心サルコイドーシスにより左室側壁に高集積が見られた症例



活動性病変を疑う集積は認めません

図 5.ステロイド治療後の経過観察

【結論】

心サルコイドーシスを対象とした FDG PET は他の検査に比べ感度が高く、生理的集積による特異度の低下を考慮しても十分有用であると考え。今後は前処置方法、他の検査との比較などさらなるエビデンスの構築が必要である。

「手術直後の脳血流 SPECT 検査が過灌流評価に有効であった症例」

山口大学医学部附属病院 放射線部 藤本裕樹

当院で経験した、手術直後の脳血流 SPECT 検査が過灌流所見を早期に確認できた症例を報告した。

頸動脈ステント留置術 (carotid artery stenting: CAS) や浅側頭動脈・中大脳動脈 (STA-MCA) 吻合術は、脳虚血を改善する有効な治療法として用いられているが、術後合併症として起こる危険性が高いもので、術後過灌流や過灌流症候群というものがある。これらは、早期に発見し、早期に治療することが非常に重要となる。当院では、CAS やバイパス術直後の脳血流 SPECT 検査は必須である。

症例は、73 才男性。主訴は、左内頸動脈閉塞および右内頸動脈狭窄であり、一過性脳虚血発作 (transient ischemic attacks: TIA) を起こした。現病歴は、急性冠症候群と不安定狭心症のため、心臓カテーテル検査目的で入院していたが、入院中に TIA を起こしたため、脳神経外科に紹介となった。

検査方法は、DualTableARG (DTARG) 法を基本として、手術直後は、DTARG 法の安静のみ検査を施行した。

Fig. 1 に術前画像、Fig. 2 に術後画像、Fig. 3 に術前と術後の定量値をそれぞれ示す。

Fig. 1 より左側の血流低下が確認できる。定量値 (Fig. 3) から同様の所見が確認できる。

Fig. 2 より術前の画像 (Fig. 1) と比較すると、左右差がはっきりせず、左側の大脳半球に半球性の血流増加が確認できる。

術後の脳血流 SPECT 検査の結果、過灌流所見であると判断され、鎮静化による術後管理が行われた。

バイパス術後過灌流症候群の発症時期は、術後

半日から6日で平均3日といわれている。術後早期に脳血流 SPECT 検査を施行し過灌流所見を確認した場合、早期より人為的降圧を行うことで、神経学的脱落症状の出現は一過性であり、少なくとも重篤となりうる頭蓋内出血は防ぐことが可能である。

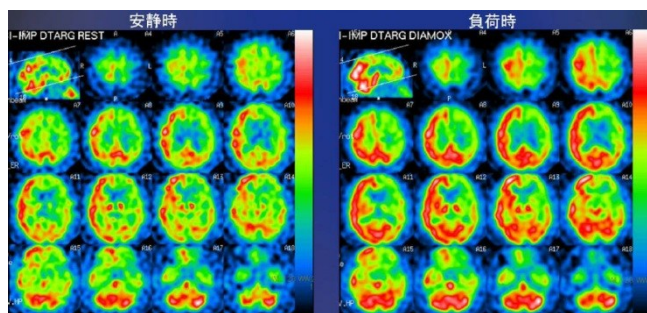


Fig. 1 術前画像

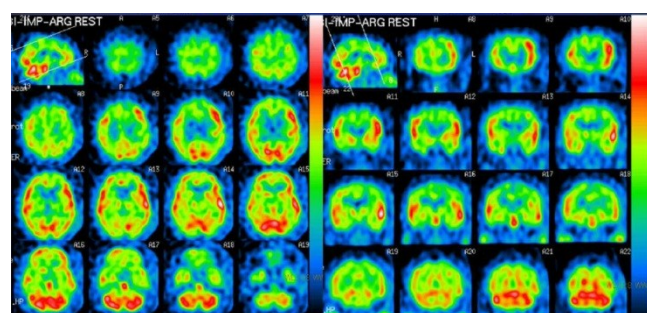


Fig. 2 術直後画像

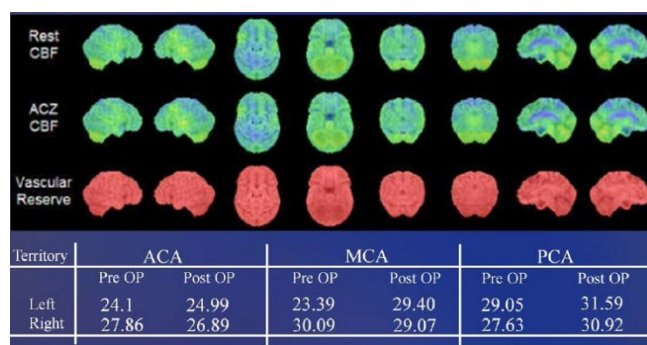


Fig. 3 術前および術後の定量値

「心アミロイドーシス診断における^{99m}Tc-HMDPと²⁰¹Tlによる2核種同時収集シンチグラフィ」

愛媛大学医学部附属病院

診療放射線技術部門 石村 隼人

【背景】

アミロイドーシスは全身性にアミロイド沈着を伴う家族性・遺伝性疾患であり、原発性・続発性のいずれも心病変を合併する。アミロイドの沈着が広範囲に及ぶまで臨床症状は呈さない。心アミロイドーシスは特定心筋疾患における代謝性心筋症に分類される。確定診断は、心筋生検によるアミロイド沈着の証明であり、全身的なアミロイドーシスがあり、心エコーで特徴的な変化を認めれば臨床的に心アミロイドーシスと診断される。障害心筋部位には、組織カルシウム濃度が上昇する。この部位に骨シンチグラフィのRI製剤が集積すると考えられている（図1）。

【目的】

当院は、心アミロイドーシスのRI検査として^{99m}Tc-HMDPと²⁰¹Tlを用いて2核種同時収集シンチグラフィを行っており、検査方法および経験症例を報告する。

【検査方法】

アンガー型SPECT装置のInfiniaと、心臓専用半導体SPECT装置であるDiscovery NM530c (D530cとする)で検査を行う。^{99m}Tc-HMDPを静脈注射して3時間以降からInfiniaにて撮像開始する。Static収集を3方向（正面像・右前30度斜位像・左前30度斜位像）と、SPECT収集を行う。Static収集は、マトリックスが256×256、拡大率は1.0、収集時間は5分間で行い、SPECT収集は、マトリックスが64×64、拡大率が1.3、360度円軌道収集、収集時間が約24分程度となる。その後、²⁰¹Tlを静脈注射して10分後から、D530cにて2核種同時収集でのSPECT収集を行う。マトリックスは70×70、拡大率は1.0、収集時間は10分で心電図同期収集を行い、仰臥位と腹臥位の2方向においてSPECT収集を行う（図2）。

心アミロイドーシスへのRI薬剤の集積機序

- 心筋にアミロイド沈着（アミロイド蛋白が存在）が発現
- 障害心筋部位には、組織カルシウム濃度上昇あり
- 骨シンチグラフィのRI薬剤： ^{99m}Tc -PYPが集積する。

→ ^{99m}Tc -HMDP & ^{99m}Tc -MDP

図1.血中クリアランス速度

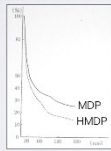
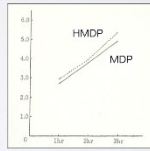


図2.骨と軟部組織とのカウント比

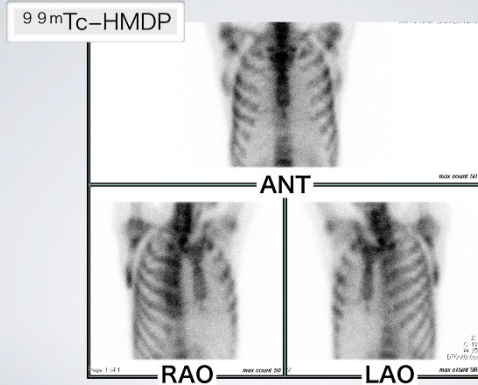


HMDPの方が血中クリアランスが早く、軟部組織に対する骨の放射活性比が高い。

小須田 茂ら、技術報告、RADIOISOTOPES, 30 (July), pp.404~406 (1981)
Radiology, Ehime University School of Medicine

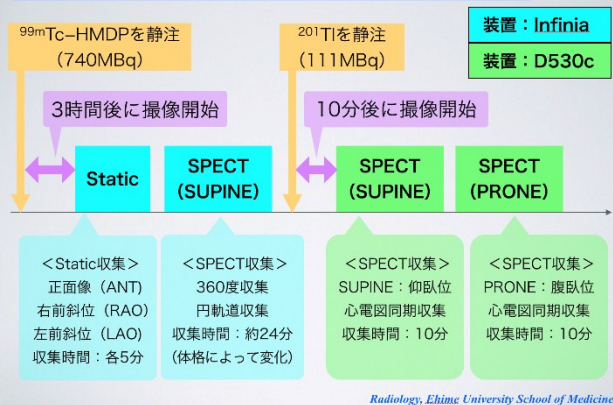
(図 1)

^{99m}Tc -HMDP：Static収集



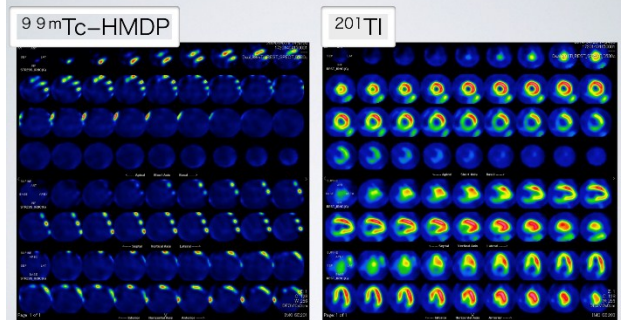
(図 3)

心アミロイドーシス検査プロトコル



(図 2)

^{99m}Tc -HMDP & ^{201}Tl ：SPECT収集



(図 4)

【症例 1】

男性 54 歳，腎機能障害あり心アミロイドーシス疑いのため精査目的．心エコーではアミロイドーシスの画像所見なし．その後，2 核種同時収集 SPECT 検査を行ったが， ^{99m}Tc -HMDP において心集積なしであった（図 3，4）．心臓への RI 集積の集積強度の視覚的判定を評価するものとして，Parkey 分類がある（図 5）．この症例においては，点数は 0 であった．

Parkeyの分類

集積強度の視覚的判定分類： ^{99m}Tc -PYPにて報告あり

点数	視覚的判断の基準
+0	心筋への集積は全く認めない
+1	ごくわずかの心筋への集積あり
+2	明らかな心筋への集積があるが骨の集積より低い
+3	骨の集積と同程度の明らかな心筋への集積あり
+4	(+3) の条件および骨の集積より高い心筋への集積あり

BRAND NEW 心臓核医学，金原出版株式会社，p.89より文章抜粋

一般には (+2) 以上の集積を陽性描出として判定。

Radiology, Ehime University School of Medicine

(図 5)

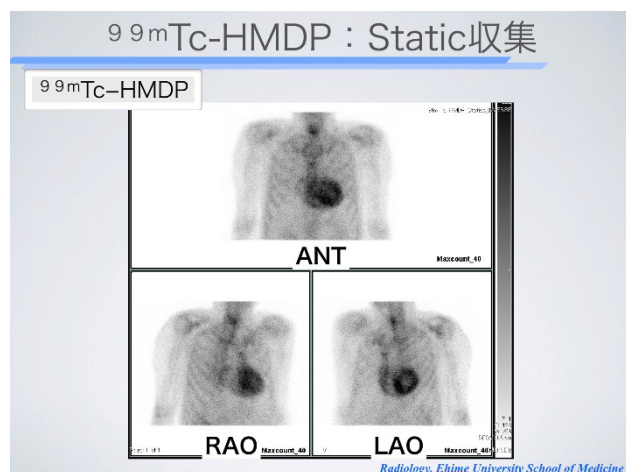
【症例 2】

男性 67 歳，心房細動のアブレーション目的で入院．心エコーでは，心筋肥厚の画像所見あり（図 6）．心アミロイドーシスを疑いのため精査目的．

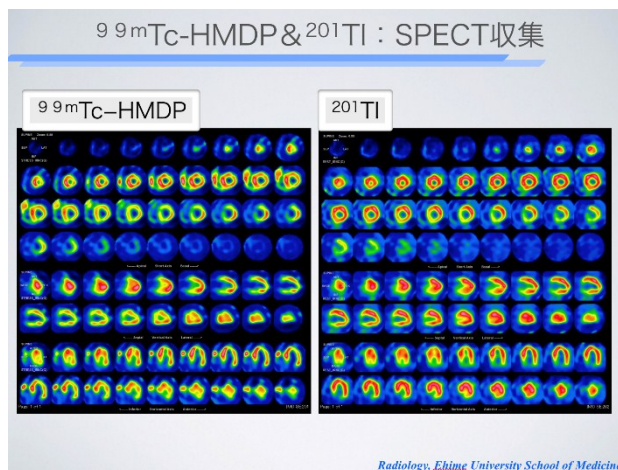
造影心臓 MRI 検査にて、非対称性の中隔肥大を認めるため、非閉塞性肥大型心筋症の疑いとの画像所見。その後、2 核種同時収集 SPECT 検査を行い、 ^{99m}Tc -HMDP において心集積あり（図 7, 8, 9）のため、心アミロイドーシスの画像所見ありとなった。Parkey の分類では点数は 2 以上であった。改めて心エコー画像を確認すると、心アミロイドーシスで特徴的なアミロイド沈着様の顆粒状の輝度増加 (granular sparkling) が確認された（図 10）。



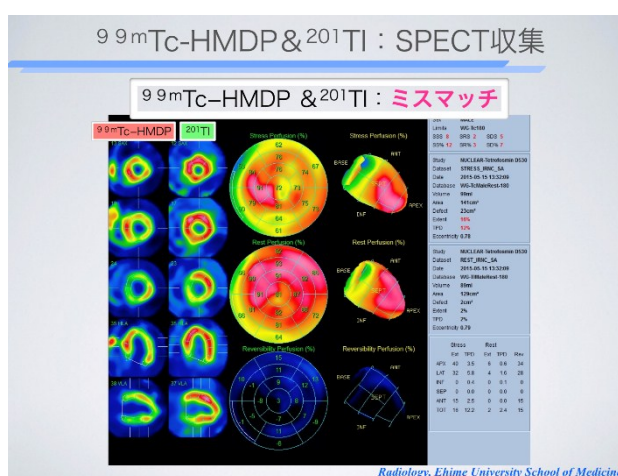
（図 6）



（図 7）



（図 8）



（図 9）



（図 10）

【まとめ】

^{99m}Tc -HMDP と ^{201}Tl を用いた当院における 2 核種同時収集シンチグラフィを報告した。他医院でも同様に ^{99m}Tc -HMDP において心集積が認められると

いう症例報告が多くはないが確認される。確定診断に有用な程のエビデンスはないが、他の画像診断様に、心アミロイドーシスの発見に寄与できる症例を経験した。

【SPECT, PET 最新情報】

「PET/CT 最新情報：Biograph mCT Flow の初期使用経験」

島根県立中央病院 放射線技術科 矢田俊介

1. はじめに

^{18}F -FDG による PET/CT 検査はすでにがん診療において必要不可欠な診断ツールとなっている。2005 年にデリバリーFDG を用いた PET 検査が保険適用となり、2010 年の診療報酬改定において、PET および PET/CT によるすべての悪性腫瘍（早期胃がんを除く）の病期診断、再発・転移診断への適応が行われ、2012 年には、FDG-PET を用いた心サルコイドーシスにおける炎症部位の診断が新たに健康保険診療として採用された。

サイクロトロンを持たない当院では、岡山県の FDG 製造工場から約 3 時間かけて薬剤のデリバリー供給を受ける必要がある。FDG の半減期は約 110 分であり、放射エネルギーは時間とともに減少していくため、当院のような FDG 製造工場から輸送に長時間を要する施設にとって、この問題は大きな壁となっていた。

しかし日進月歩の医療の世界において、PET/CT 装置の開発が進み、少ない放射エネルギーでも診断能の高い画像を得ることが出来るようになったことにより、当院でもさらに良質ながん診療を県民に提供するため、2014 年 6 月 13 日より PET/CT 検査を開始するに至った。

2. Biograph mCT Flow について

今回当院に導入された「Biograph mCT Flow」の

大きな特徴としては、以下のことが挙げられる。

① 「Flow Motion」撮像という速度可変型の連続移動スキャンが可能である

従来の撮像方法である、検出器視野に依存する「Step-and-shoot 撮像」では、PET が必要な撮像範囲をカバーするために、診断に不必要なオーバースキャンが発生し、その結果不要な範囲に関しても CT スキャンを行う必要があった。この「Flow Motion」撮像では、任意に撮像範囲を設定でき、オーバースキャンが発生せず、不要な CT スキャンをなくすることが出来る。その結果被ばくの低減と検査効率の向上という、相反する難題をクリアすることが出来る。また、撮像時にオーバーラップという概念がないので、体軸方向の感度ムラが少ないといったメリットもある。

② 最新の技術である TOF や PSF 再構成といった技術が搭載されている

PET 画像のノイズを大幅に低減する「TOF 技術」や、画像のぼけを低減する「PSF 再構成技術」が搭載されていることにより、当院のような少ない放射エネルギーでの検査を余儀なくされる施設においても、診断能の高い画像を提供することが可能となる。

③ CT において逐次近似再構成法（SAFIRE）が使用できる

逐次近似応用再構成法（SAFIRE）技術により、画像のアーチファクトやノイズを低減することが可能であり、その結果、最終的に患者の被ばく線量を低減することが可能になる。

④ 78 cm の大開口径、ショートボアである

装置が大開口径で、ショートボアであるため、多くの患者に圧迫感を与えることなく、優れた快適性を提供することが出来る。

その他にも、64 列の CT 呼吸同期撮像システムや管電流制御機構等も搭載されており、「良質な医

療の提供」、「患者に優しい医療」を目指す当院に相応しい装置を導入することが出来た。今後も更なる検討を重ねていき、本装置の特性を十分に活かすことで、県民の皆様には「良質な医療」を提供出来るよう努めていきたい。

SPECT/CT 最新情報:Fusion から新たな代謝画像への展望

大阪大学医学部附属病院 医療技術部
放射線部門 神谷貴史

核医学検査の歴史は長く、中国四国支部の各県のそれぞれにある程度の台数のシンチカメラが設置されており PET/CT に関しても FDG の保険収載が開始されて以降、順調に各県に設置されている。しかしながら、SPECT/CT の台数はシンチカメラや PET/CT の台数に比較しまだまだ少ない。

最初に当院における現状の SPECT 画像と Import した DICOM 画像との骨シンチにおける Fusion 画像の紹介を行った。体幹部の検査や放射性医薬品の種類によっては手作業での位置あわせの信頼性が欠ける場合もあるが被曝低減の有効な手段のひとつである。

次に SPECT/CT における最新の検査に関して報告を行った。ドパミントランスポーター SPECT においては脳萎縮の左右差を考慮した画像出力することが SPECT 単体では非常に難しい症例を、^{99m}Tc-HSAD を投与した SPECT/CT 画像では正確な位置情報を持った Fusion 画像でステントグラフト内挿術後のエンドリークの評価が可能である症例に関して紹介を行った。

最後に SPECT/CT における最新技術ということで xSPECT Quant[®]の紹介を行った。このシステムでは 256×256 matrix での SPECT 画像が取得できるが高分解能を支える技術として従来の理論値ベ

ースの補正ではなく理論値+実測値を用いた新たな SPECT の補正技術が搭載されている。また、表示付き認証機器である ⁶⁷Co を用いることによる簡易な定量値の算出が可能でカウントの最大値を Max とする核医学画像の客観的な表示が可能であることを紹介した。

さらに従来の SPECT/CT では CT 画像の分解能を SPECT 画像の分解能に落として減弱補正などに用いていたが xSPECT Bone[®]においては CT 画像上でセグメント分けを行い各セグメントで補正を行うことにより得られる高分解能な骨 SPECT 画像を供覧した。

現状では、定量値を算出する際にはテクネシウム製剤で低エネルギー高分解能型コリメータを使用する検査にのみ適応される。さらに、高分解能化を行うために必要なセグメント分けに関しては骨領域のみの適応である。今後、このような条件が拡大されることにより新たな代謝画像が生み出されることが待たれる。

【核医学初心者のための基礎的講演 I – SPECT および SPECT/CT の基礎と技術–】

「ここがポイント！ SPECT の基本」

倉敷中央病院 放射線技術部 松友紀和

近年、装置のオートメーション化が進み簡単な操作で画像の作成や処理が可能となっている。また、画像再構成法や補正技術もより複雑なアルゴリズムへと発展し、十分に理解できないまま臨床使用しているケースも少なくない。装置や処理の高性能化は大いに歓迎されるものであるが、その結果、アーチファクトの発生や思わぬエラーに気付かず検査を行う可能性がある。そのため、臨床に必要な画像を正確に出力できているかどうか、収集や処理過程に対する十分な理解と検証が必要

である。

講演では SPECT 画像の収集処理についてキーポイントとなる項目を中心に述べさせていただいた。本稿では、1) 投影データの成り立ち、2) ピクセルサイズと総合空間分解能、3) 画像処理フィルタの影響、4) 逐次近似画像再構成のポイントについて簡単に述べる。その他の項目については本稿末のスライドを参考にいただきたい。

1. 投影データ

投影データは体内に投与された放射性医薬品から放出されるガンマ線をシンチカメラで捕らえることにより作成される。そのため、核医学画像はガンマ線と人体との相互作用による吸収（減弱）や散乱の影響を受ける（スライド 1）。また、投影データはコリメータや検出器－被写体距離によるボケの影響も強く受ける。減弱や散乱、ボケに対するさまざまな補正法が用いられているが、いずれの方法も完全とは言いがたく利点・欠点ともに多い。これら補正法の適応は施設により異なると思われるが、投影データはさまざまな要因の影響を受けて構築されていることを理解しておかなければならない。

2. ピクセルサイズと空間分解能

ピクセルサイズの設定は空間分解能と統計ノイズを考慮しなければならない。スライド 2 は総合空間分解能 10mm に対してピクセルサイズを変更した場合のシミュレーション画像である。2 本のラインを明瞭に分離するには、ピクセルサイズを総合空間分解能の $1/2 \sim 1/3$ に設定すればよいことがわかる。一方、ピクセルサイズと SPECT の空間分解能はスライド 3 に示す関係式で表される。システム分解能が 7.5mm の装置で SPECT の空間分解能を 10mm にするためには、3.31mm のピク

セルサイズが必要となる。スライド 4 は実際にシステム分解能が 7.5mm の装置を用いてピクセルサイズを変更させた場合の脳ファントム画像である。ピクセルサイズ 3.44mm 以下では画像の劣化をほとんど確認できないことがわかる。原理的にピクセルサイズが小さければ小さいほど高い空間分解能を保持することができる。しかし、ピクセルサイズは統計ノイズとも密接な関係になるため、ピクセルサイズを小さくすることでカウントが低下し、統計ノイズは増大する。空間分解能と統計ノイズのバランスを考慮した適切なピクセルサイズの設定が必要である。

3. 画像処理フィルタの影響

バターワースフィルタやガウシアンフィルタなどの画像処理フィルタは統計ノイズを軽減する目的で使用される。しかし、これらの画像処理フィルタは統計ノイズのみならず、目的となる信号にも影響を及ぼすため注意が必要である。スライド 16 はバターワースフィルタの遮断周波数が空間分解能とコントラストに与える影響を示したスライドである。遮断周波数を低くすることで画像は平滑化され、本来見える信号が見えなくなっていることがわかる。また、遮断周波数は定量性にも影響を与える（スライド 17）。このようにフィルタ条件によって空間分解能や定量性は大きく変化するため、フィルタ条件の設定は適切に行わなければならない。フィルタ条件の設定はサンプリング定理を基本に SPECT の空間分解能から算出することができる（スライド 18）。しかし、最適なフィルタ条件は、使用する核種やコリメータ、収集カウントによって変化する。特に収集カウントによって信号と統計ノイズの比率が変化するため、慎重な設定が必要である。

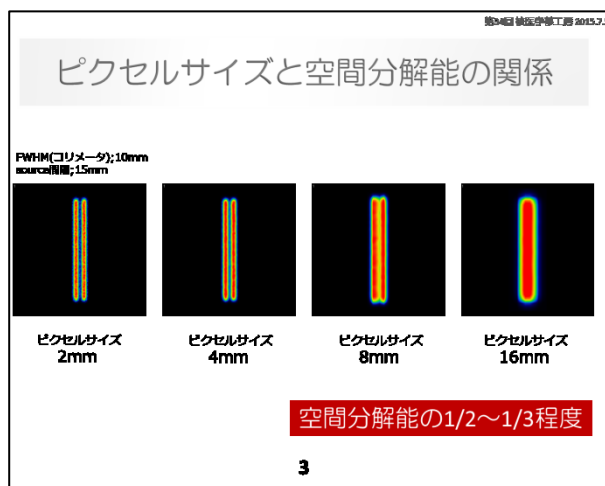
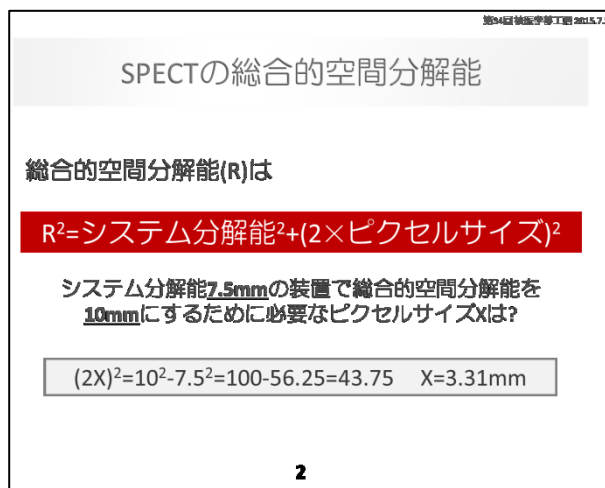
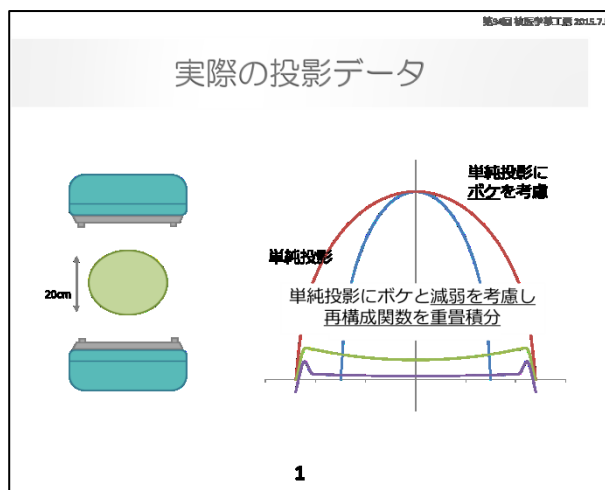
4. 逐次近似画像再構成のポイント

逐次近似画像再構成法は、確率論から画像再構成を行う方法で、実際に撮像した投影データと計算により求めた投影データとの比較・修正を行い、再構成画像を得る方法である。逐次近似画像再構成法の概念をスライド 19 から 22 に示す。9 個の未知数に対して 6 個の連立方程式しか成立しないため、通常では解くことができない。そこで仮の回答（初期値）として「1」を入れることで仮の投影データができるため、各マス内に入る数字を確率計算から求めることができる。これを繰り返すことで正解の値を推察することができる。計算自体はさほど難しくないので、スライドを参考に実際に計算していただきたい。

逐次近似画像再構成法は、1) FBP 法に比較して統計ノイズに強い、2) 測定系で起こりうる物理現象を式に組み込むことができる、3) 高カウント領域からのアーチファクトを軽減できる、などの利点を持っている。しかし、逐次近似画像再構成法の結果（画像）は、計算回数や対象物のカウント、構造に影響されるため適切な条件設定が必要である。近年、補正を組み込んだ逐次近似画像再構成法が臨床使用されているが、従来の方法と比較して画質のみならず定量性も変化することが知られている（スライド 24）。このような画像再構成法を臨床に使用する場合は十分な検証が望まれる。

5. まとめ

核医学画像は、ガンマ線の発生からデータ収集、データ処理、画像出力など多くの因子から影響を受ける。われわれ核医学担当技師は、これらの特性を理解し、必要な情報を得ることができる収集・処理条件を設定しなければならない。本講演が初級者や中級者にとって、核医学技術に対する理解をさらに深めていくきっかけになれば幸いである。



適切なピクセルサイズの設定

システム分解能 FWHM:7.5mm,ピクセルサイズ ≤ 3.31 mmピクセルサイズ
6.68mmピクセルサイズ
3.44mmピクセルサイズ
1.72mm

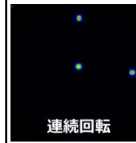
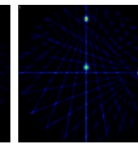
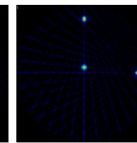
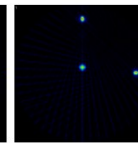
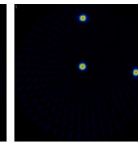
パターンスの適当周波数 0.5 [cycles/cm]

4

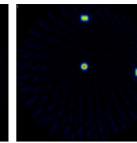
収集方式とアーチファクト



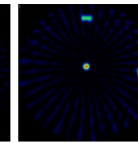
ステップ回転

連続回転
StepAngle 2度

StepAngle 4度



StepAngle 6度



StepAngle 10度

7

連続回転収集(DynamicSPECT)

- 収集の無駄時間がない。
- 1回の収集で全方向のデータが得られる。
- 反復して収集を行うことで被写体の動きによるアーチファクトを軽減できる。
- RIの物理学的半減期や被写体内の生物学的半減期などRIの変化に強い。

ワーキンググループも反復連続回転収集を推奨

臨床に役立つSPECT画像の取得・処理・表示・出力のポイント(第94回工芸2015.7.5)

5

SPECT画像の均一性

一般に領域 $D \times D$ 内のSPECT画像のS/Nは

$$S/N = \sqrt{\frac{12M}{\pi^2(D/d)^3}}$$

M: トータルカウント
d: ピクセルサイズ

SPECT画像の統計変動はトータルカウントとピクセルサイズに依存

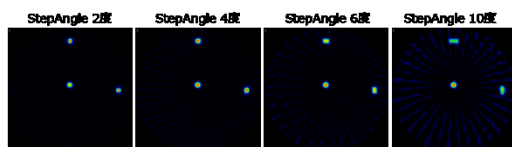
引用元: SPECTにおける画質評価とその補正, 医療画像Medical, 2002

8

連続回転収集の落とし穴

検出器が θ 回転する間のデータをある1方向のデータとみなす。

サンプリング角度によっては画像にボケが生じる

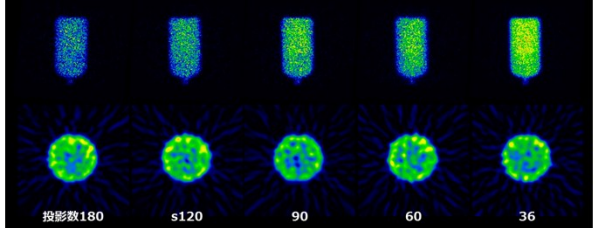


6

SPECT画像の均一性

FBP ACQ-35C1

トータルカウント(全収集時間)を一定

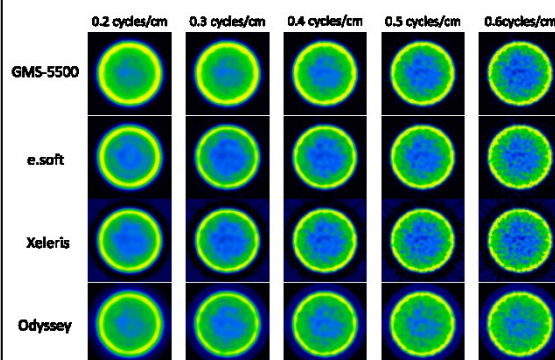


9

バターワースフィルタ

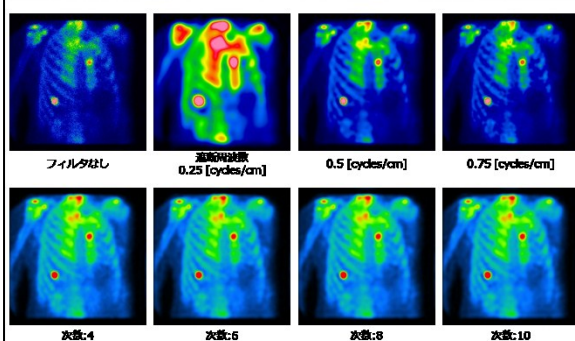
- 低周波通域フィルタ。
- 設定された周波数(遮断周波数)より高い周波数成分を通過させない。
- 周波数特性は遮断周波数とフィルタ次数で表される。

10



13

遮断周波数とフィルタ次数



11

ガウシアンフィルタ

- 平滑化フィルタの一種。
- 重み付けにはガウス関数を使用され、平滑化は点広がり関数(FWHM)により変化する。
- 逐次近似を用いた画像再構成法の後処理フィルタとして用いられる。

14

バターワースフィルタのわな

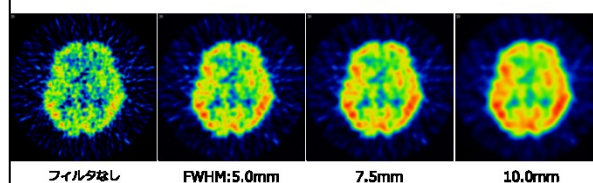
メーカー	処理性能	式	unit/cycleの単位
東芝	GMS-5500	$1/f[1+(f/f_c)^2]$	cycles/pixel
	GMS-7700	$1/[1+(f/f_c)^{2.5}]$	request cycles/pixel cycles/cm
シーメンス	MMWP	$1/[1+(f/f_c)^{2.5}]$	request
日立	Odyssey	$1/[1+(f/f_c)^{2.5}]$	cycles/pixel cycles/2pixel*
GE	Yelerle	$1/[1+(f/f_c)^{1.5}]$	cycles/cm
Philips	JET Stream	$1/[1+(f/f_c)^{1.5}]$	cycles/pixel

パワーファクタ
セパレーションにより異なる

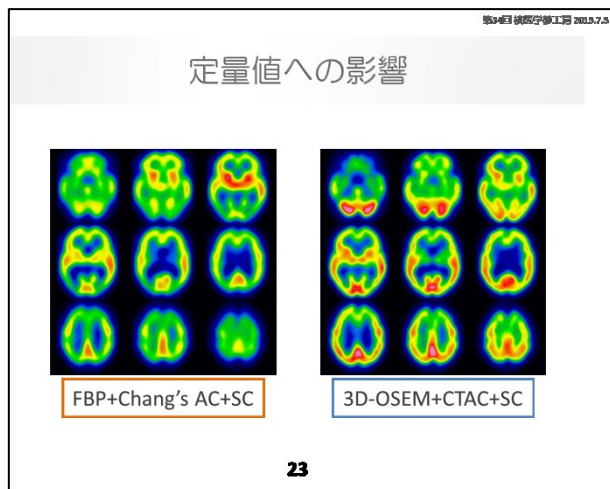
※調査メーカーと異なる調査の企業・地域・内容・出力の相違は、異なるアンケート調査結果と見做すこと。2025-11-18/2026より一時的に。

12

点広がり関数(FWHM)の変化



15



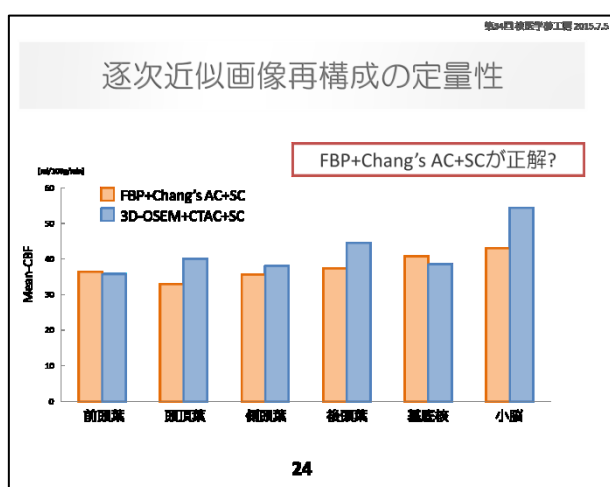
第94回核医学工学会 2015.7.3

逐次近似画像再構成の概念

逐次近似5回			回答		
3.1	4.2	5.3	2	4	6
8.0	10.0	12.0	8	10	12
13.9	16.0	18.0	14	16	18

逐次近似画像再構成は
投影データからもっとも
らしい値を推定する方法

22



【核医学初心者のための基礎的講演Ⅱ－PET/CTの基礎と技術－】

「PET/CT の基礎と技術」

九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線

科学分野 三輪建太

本邦における FDG-PET/CT は、ここ数年で飛躍的に施設数および検査件数が増加しており、がん診療において不可欠な検査となっている。近年、治療効果判定や治療効果予測を中心として、PET の高い定量性を生かしてがんの性状を「定量的」に評価することへの期待が高まっている。PET の定量情報は適切な治療計画の立案や、治療効果を早期かつ的確に判定することにつながる。また、定量的 PET/CT は抗がん剤や分子標的治療法のバイオマーカーとなり得る可能性も秘めている。高い定量性を担保するためには PET/CT の技術的な特徴や問題点を把握したうえで、最適な検査プロトコルを実践することが重要である。本講演では、PET/CT のハード面、収集、補正、画像再構成に関する基礎的な事項について概説した。

まず、PET の定量性が優れている点を SPECT と比較して説明した。PET は SPECT と比較して、感度、空間分解能、定量性が優れている。感度に関しては、PET ではコリメータを用いず同時計数回路を用いて消滅放射線を測定するため大きな立体角で計測が可能となり高感度である。空間分解能に関しては、SPECT では検出器と放射能との距離で空間分解能が変化するが、PET では視野全域で空間分解能を維持できるために、部分容積効果の影響が少ない。また、PET は解析的な減弱補正が可能であり、原理的に容易であり正確である。消

滅放射線の体内での減弱はその放射線源位置に依存しないために、各々の消滅放射線が被検体を横切る全距離と減弱係数のみで決定される。高感度、高分解能、正確な減弱補正という PET の特徴が、高い定量性を実現している。また、これらの特徴は PET の同時計数法で測定していることに起因する。

次に PET/CT で最も臨床で広く利用されている半定量値 SUV について、変動因子を中心に説明した。SUV に影響を与える因子は、大きく分けて技術的因子、生物学的因子、物理学的因子に大別される。過去の文献をもとに、SUV の影響因子ごとのおおよその誤差範囲を提示した。それぞれの因子単独での誤差は平均 15%未満となるが、施設間での SUV は小さな誤差が組み合わさり、幾分にも誤差は膨らんでいく。周辺機器の精度を含めて誤差要因を減らし SUV の変動を最小化する必要がある。また、多施設共同治験や臨床試験などで多施設の SUV を評価する場合にはファントム試験を目安とした撮像法・再構成法の最適化や標準化が必要である。

近年では、優れた信号雑音比 (SNR) を実現するための time of flight (TOF) 補正や point spread function (PSF) 補正を有する PET 装置の普及が目覚ましく、再構成法の違い (OSEM、PSF、TOF、PSF+TOF) による画質の違いや SUV の変動も指摘されている。そこで最後に、TOF 補正と PSF 補正の概要とそれらの再構成条件の最適化について説明した。PSF 補正は、視野辺縁のボケを補正し、視野内の空間分解能を一定に補正する。また、ノイズ低減効果があり、リンパ節転移などの微小病変の検出に有用である。一方、TOF 補正は SNR を大幅に改善する。特に、過体重の被検者、低投与、短時間の収集時における TOF の増幅利得が顕著であり、有効である。PSF 補正、TOF 補正の効果を最大限に生か

すためには最適な再構成条件を設定する必要がある。PSF 補正では再構成の収束性が低いので、従来よりも iteration 数を増やす必要がある。TOF 補正では再構成の収束性に優れているので、ノイズの増幅を避けるために少ない iteration 数で十分である。

PET/CT のハードとソフトの両面の原理や特性を十分に理解したうえで検査を実施することが、PET/CT が普遍化し、広く医療に役立つことにつながると思う。