

## 核医学研究会（第 32 回 核医学夢工房）

場所：保健学科 401 号講義室（10:00 ～ 15:00）

第 31 回夢工房に引き続き、心筋 SPECT 収集について多施設共同研究の結果についてご講演いただきました。また最近の話題として、ドパミントランスポーターシンチグラフィの技術的検討の報告と、近年の核医学検査において新しい技術である心臓用半導体 SPECT システムについて特別講演 II としてご講演いただきました。特別講演 I では、我々が日常診療では学ぶ機会の少ない研究方法についてご講演いただきました。

### 1. 10:00～10:40

司会 倉敷中央病院 放射線技術部  
松友 紀和 先生

「心筋 SPECT 収集における補正効果の検討  
第 2 報」

JA 広島総合病院 高畑 明 先生

### 2. 特別講演 I 10:40～12:00

司会 山口大学医学部附属病院  
岩永 秀幸 先生

「科学的研究法のでほどきー発想から実践までー」

県立広島大学大学院総合学術研究科

保健福祉学専攻  
(生命システム科学専攻)

大西 英雄 先生

### 3. 特別講演 II 13:00～14:00

司会 川崎医科大学附属病院  
三村 浩朗 先生

「革新的な進化を続ける心筋 SPECT イメージング  
最新の心臓専用半導体 SPECT 装置」

日本心臓血圧研究振興会附属榊原記念病院  
鈴木 康裕 先生

### 4. 14:00～15:00

司会 香川大学医学部附属病院

前田 幸人 先生

「ドパミントランスポーターシンチグラフィに対する基礎的検討 - 新規検査の画像作成をどのように考えますか? -」

松江赤十字病院 陰山 真吾

## 心筋 SPECT 収集における補正効果の検討 第 2 報

ひろしま核医学技術検討会

JA 広島総合病院 高畑 明 先生

ひろしま核医学技術検討会では広島県内の核医学施設を対象に心筋 SPECT 画像について、過去に様々な調査検討を行ってきた。近年、各装置メーカーから CT 補正、分解能補正などを組み込んだ装置が発売され、従来画像と補正画像を臨床に提示している。しかし様々な補正法を組み合わせた画像は、心筋 SPECT 画像はひと昔前と比較し、装置、施設間の画像の違いがより顕著となったと考えられる。第 1 報では、施設の臨床条件と縦隔内の均一性について HL 型心臓肝臓ファントムを用いて検討した。第 2 報では RH2 型心臓ファントムを用いて、心筋の虚血描出能について検討した。

実験方法

① ファントム作成：心筋部の容器は RH2 型心筋ファントム対応の 3 分隔タイプのファントムを用い、正常集積に相当する 3/4 の領域に  $^{99m}\text{Tc}$  溶液濃度 200kBq/ml を封入し、残りの 1/4 領域に正常領域の 50%濃度の  $^{99m}\text{Tc}$  溶液を封入し虚血領域とした。虚血領域は収集方法ごとに心筋前壁と後壁となる位置で、一箇所だけに配置した。左室、右室、縦隔部は水で満たし、臨床の減弱に近いファントムを作成した。

② 収集方法：コリメータは LEHR とし、収集は回転半径 25cm の円軌道を用い、360 度収集と 180

度収集とした。収集ステップは6度にて、画像ピクセルサイズは $4.8 \pm 0.5\text{mm}$ となるように各装置の設定を行った。

③ 対象装置と測定施設：対象の装置は Infinia Hawkeye 4 (広島鉄道病院)、Symbia T16 (県立広島病院)、BrightView X(広島大学病院)の3機種とした。

④ 再構成条件：心筋ファントムの再構成は補正をしていないFBP法と減弱補正、散乱補正、位置分解能補正をした逐次近似法とした。FBP法のノイズフィルタはバターワースフィルターとし、カットオフ周波数は $0.5\text{cycles/cm}$ とした。逐次近似法の補正は、InfiniaとBrightViewは散乱補正と減弱補正をした画像も検討対象とした。また、Symbiaに関しては、逐次近似法に位置分解能補正が組み込まれた再構成法がパッケージ化されているため逐次近似法に位置分解能補正をした画像を検討対象とした。逐次近似法の再構成は、Subsetを2に固定し、Iterationを4, 8, 16, 32, 64, 128と変化させた。

⑤ 評価方法：各処理方法の心筋短軸像と亟座標画像を比較し、正常心筋部と虚血領域の描出の違いについて検討。垂直長軸像の前壁部のプロファイルカーブによる均一性の評価

### 結果・まとめ

再構成にて得られた3種類の心筋ファントムのShort axis画像では、心筋の集積の程度に再構成法ごとの違いが見られた。3装置とも180度収集のFBP再構成による下壁・心基部の集積低下像はCT減弱補正を加えることで、改善する傾向であった。Fig.1

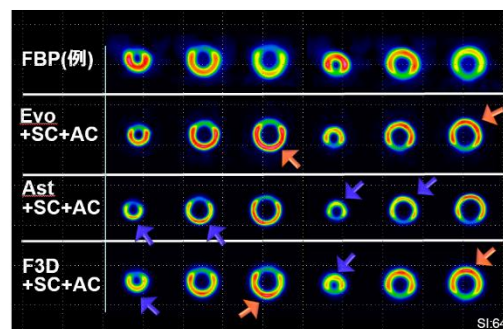


Fig.1 各装置のShort axis画像

しかし、減弱補正により、心基部のカウントが心尖部より大きくなる過補正がSymbia、Bright Viewで見られた。この過補正となる現象は、位置分解能補正を加えることで大きくなる傾向であった。Vertical long axis像の前壁部のプロファイルカーブでは、Bright Viewの心基部でオーバーシュート様のカウントの上昇がみられた。Fig.2

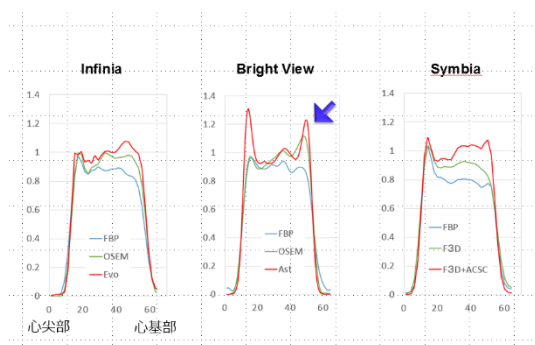


Fig.2 前壁部プロファイルカーブ

心筋亟座標表示の画像評価では、虚血量50%を示す領域の大きさで評価し、180度収集のFBP再構成における前壁虚血領域はBright ViewとSymbiaの虚血領域が大きくなる傾向を示したが、補正を加えた逐次近似法で再構成することにより、欠損領域の大きさは、ほぼファントム構造に等しい画像となった。Fig.3

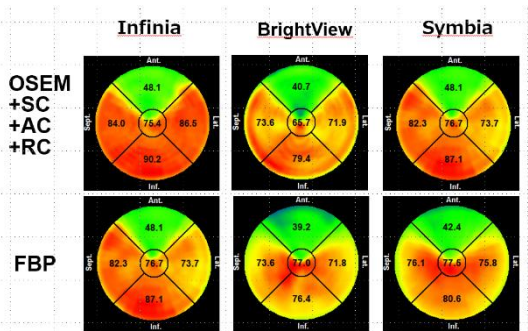


Fig.3 各装置の両座標表示

側壁

の心筋厚を FWHM で評価した結果は、逐次近似回数 128 回までとした本実験では、十分な収束にまではいたらなかった。繰り返し計算回数 128 回とした位置分解能補正の効果は、真値 10mm に対し、FBP 法が約 2 倍の FWHM となるが、位置分解能補正を加えることで、3 機種とも 10mm に近づき心筋厚の改善が見られた。特に 180 度収集で 3 種類の装置間の差が顕著であり、Symbia、Infinia、Bright View の順に心筋厚は小さくなった。

本実験は、同一ファントムを装置間で比較し、従来画像と補正を加えた場合の画像でどの程度の装置間の違いがあるかを調べることを目的としている。今回の結果だけでは、装置間の違いとなった要因を検討するまで至ってはいない。散乱、減弱、分解能補正を加えた心筋 SPECT 画像は、装置ごとに違いが有ることを理解し、臨床で心筋 SPECT の再構成に各種の補正法を用いる場合には、その挙動を把握した上での使用が望まれる。

## 特別講演 I

### 科学的研究法の手ほどき（発想から実践まで）

県立広島大学大学院 大西 英雄

一般的に、研究を進める力（自己能力）は 3 つのカテゴリー（知力、実践力、表現力）に分類できる。知力は、研究を行ううえで必要不可欠な要

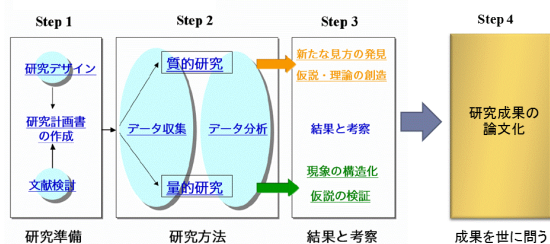
素で、論理構成力、一般教養力、文献検索力、及び“ひらめき”などから構成されている。特に、論理構成力は、研究の各事象をいかに論理的に表現し、解決していく力である。どれを取っても、研究の基盤となる基礎学力及び能力である。次に実践力は、実際の研究に必要な技術力、実験計画性などが挙げられる。実践力はある程度、経験と研究できる環境及び個々の研究に関する“モチベーション”の持続性などがベースとなっている。表現力は、研究する上で最終的にその成果を世に公表し、自分の研究内容を客観的に評価する唯一の手段である。その手段は、学会発表であり最終的には論文投稿を行い、真の客観的評価をうける方法である。

この 3 つのカテゴリーのどれが欠けても、科学的研究は成り立たないと考える。また、科学的方法是、経験的にまたは論理的に妥当な方法によって知識を集め、それに基づいて合理的な結論を導くことである。研究法も大きく 2 つに分類（質的研究、量的研究）することができる。質的研究は機能的推論を論じる分野であり、量的研究は演繹的推論を立てて論じる研究である。我々が携わっている放射線関係の研究は、量的に研究が多くを占めている。

### 【研究過程】

1) 研究準備（研究デザイン、研究計画書の作成、文献検討など） 2) 実験の実践（実験計画書に基づいたデータ収集及び分析） 3) 結果と考察（現象の構造化と仮説の検証及び新しい知見の根拠） 4) 研究成果の公表（学会発表及び論文投稿）このプロセスで一番重要な項目は、実験計画書をより具体的に作成すること。また、最も重要な項目は、研究成果の公表、特に自分の研究の証を文章で残しておくことである。

## 研究過程の概観



▶ 口述発表で終わってしまうと、研究した意味がない！！

論文は、ある意味一種の学術評価のパラメータとして使用できる。論文文化に関しては、日本放射線技術学会雑誌掲載論文:504編(2009-2013年)の集計及び分析を行った。中四国部会の核医学分野の放射線技師を中心に学術的評価＝論文数で評価を試みた。

全国の研究分野別(撮影、CT、MR、治療、核医学)では核医学分野(57編:11%)は最下位の論文数を示した。8地方部会別では、中四国部会が九州部会に次いで5位(57編:11%)の結果となった。中四国部会を構成する県が多い割には低値を示した。しかし、中四国部会の核医学は、全国8部会中、近畿と同率1位(11編、19%)を示し、研究にたいする能力の高さを示した。また、中四国部会での核医学分野は、撮影系に次ぐ2位(11編;19%)を示し、核医学に携わっている人が少ない割には学術的能力が高いと考えられる。また、核医学分野における部会内の県別で評価してみると、岡山(6編)、広島(2編)、島根(2編)、山口(1編)、その他県は零であった。ただし、大学院生を除くと2編となり、裾野の危うさを感じる結果となった。

各分野の地方化別の評価は、撮影分野が全国で5位(23編:14%)、CT分野が7位(8編:8%)、MR分野が6位(9編:8%)、治療分野が5位(6編:10%)の結果となった。この結果は、あくま

でも、掲載論文数であり総合的な評価では無いが、研究の姿勢や方向性はやや垣間見ることができたと考える。

研究テーマは、「日々の臨床&実験は研究の宝庫である」日々の臨床業務の中から、多くの疑問点や問題点が浮かび上がってくる。

研究課題の見つけ&絞り方は、1)あなた自信の疑問を大切に。2)専門的な論理・知識の補充とグループ内でのDiscussionに力を入れる。3)疑問を解く手段を考える。4)研究を指導してくれる人材を見つける。5)この研究は多大な時間とエネルギー、費用をつかって新たに研究する価値があるか。6)これは放射線技術学の研究に成りうるか。など、研究課題は、上記のような観点から考えると、いくらでも日常臨床から得ることが可能だと考えます。

テーマが決まれば、すぐに研究計画書及び実験計画書作成に着手する。この研究計画書の作成にあたっては、次のことを念頭においてかく進めることをおすすめします。

### 研究計画書の作成

計画書を作成することによって研究全体が現実的に実行可能なものであるかを再吟味する機会となる。

- > 研究テーマ(研究課題:題名)
- > 研究の背景(問題の背景)
- > 研究目的
- > 研究の倫理的側面(臨床データ使用時)
- > 研究方法(実験方法、評価方法)
- > 予想される結果(推定)
- > 参考文献

▶ 実験計画書が出来たら、論文も80%完成したのと同じ

- 1) 簡潔に、明確に、平易な用語で学術的に書く。
- 2) 文章は論理的に書く。
- 3) 全体を通して、概念を同じ意味で用いる。
- 4) 考えている項目を客観性を持続させる。
- 5) 事実に基づいた解釈・判断・推理・推論を論理的に記述する。
- 6) 文献を熟



読し有効に活用する、特に、研究方法及び予想される結果（推定）を重点的に書き進めることが重要だと考えます。自分が立てた仮説に対して、そのような評価法を用いて評価し、それが、過去の研究者との結果とどのように異なるのか、整合性があるのかなど推定する。この研究計画及び実験計画書が完成したならば、ほぼ研究及び論文は80%完成している。その意味においても、研究計画書は非常に重要な位置を占めている。

研究は、発表するのが目的ではなく、研究に過程で得られた知見を広く多くの人達理解してもらい、それを形として残して（論文）始めて終わるものだと思います。多くの人が、発表まで、終わりなんとなく自己満足に終わっている感じがする。日本の放射線技師の技術のレベルの高さは、世界一だと感じておりますが、ただ多くの人が発表で終わっている。これは非常に勿体無い。研究のゴールが発表ではなく、論文であることを再認識してもらいたい。

最後に、論文を書くのが“凄い”のではなく、書くのが普通に思われる時代が、来ることを夢見て筆をおきます。

### 革新的な進化を続ける心筋SPECTイメージング-最新の心臓専用半導体SPECT装置-

公益財団法人日本心臓血圧研究振興会附属榊原記念病院 放射線科 鈴木康裕

これまでのガンマカメラではヨウ化ナトリウム (NaI) を結晶化した検出器を採用していた。近年急速に進歩した半導体結晶製造技術によってテルル化カドミウム/テルル化亜鉛カドミウム (CdTe/CdZnTe) がガンマカメラの検出器に採用さ

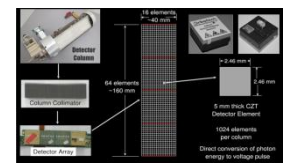
れるようになった。これらの半導体検出器は放射線が半導体に入射した際に発生する電荷を信号に直接変換している。高いバンドギャップエネルギーによりシリコンやゲルマニウム半導体検出器のように液体窒素による冷却は不要であり室温での運用が可能である。さらに高原子番号、高密度であるということから優れた放射線検出効率、エネルギー分解能を有している。

Spectrum Dynamics Medical社によって開発された心臓専用半導体SPECT装置“D-SPECT”は4枚のCdZnTeピクセル型検出器 (40×160×5mm, 16x64pixel) を縦に配列し、その上にタングステン製ピクセルマッチドコ



D-SPECT 内部構造

リメータを装着した検出部 (カラム) を楕円リング



D-SPECT 検出部 (カラム)

状に配置している。9個のカラムが回旋動作および直線移動することによりパノラマ投影データ (120方向×9) を得る。このパノラマ投影データを独自の逐次近似法による画像再構成を行う。

D-SPECTは、リクライニングチェアを寝台として採用しており座位を基本に仰臥位でもSPECT撮像が行える。また、検査中に腕の挙上をする必要がない。

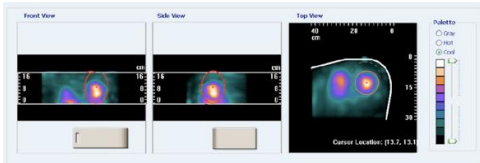


座位



仰臥位

SPECT撮像方法は、時間収集法、カウント収集法、心筋カウント収集法の3つより選択可能である。この中で特筆すべき収集方法は心筋カウント収集法

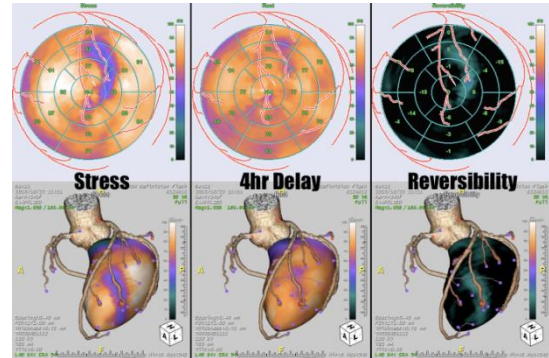


D-SPECT プレスキャン画面

である。  
これは  
プレス  
キャン

そして撮像時間が従来型ガンカメラでは10分、  
D-SPECTでは2分であった。

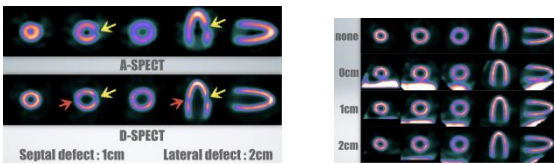
次に冠動脈CTとの融合画像を提示する。



この症例は冠動脈CTによって対角枝に中等度狭窄を指摘され、運動負荷心筋SPECTが施行された。融合画像によって対角枝に一致した虚血が明瞭に証明された。このような融合画像を従来型ガンカメラではCTとSPECTの画像位置合わせ精度に問題があったが、D-SPECTでは高分解能によって高精度で簡便に画像位置合わせが可能となった。

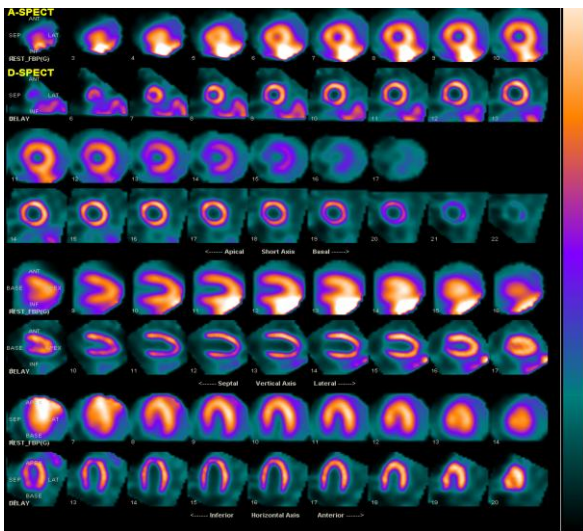
より得られたSPECT画像から心筋領域のカウントレートを算出し、設定したカウント数までの時間を求めることができる。この収集法によって1メガカウント以上を設定するよう推奨されている。

我々の基礎実験では<sup>99m</sup>Tcにおいて従来型ガンカメラと比較して感度7.5倍、分解能2倍という結果を得た。また、エネルギー分解能も6%と高く<sup>99m</sup>Tcと<sup>123</sup>Iの同時撮像も可能である。また、肝臓などの高集積による影響は少ない。

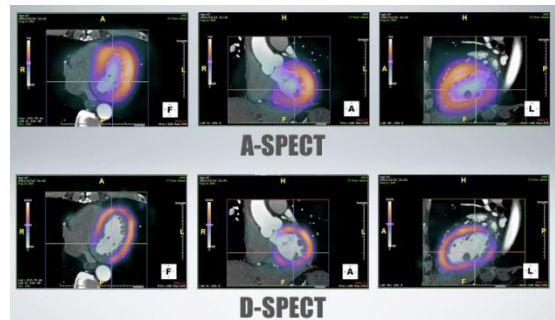


心筋ファントム実験 (左:欠損比較, 右:肝臓の影響)

次に臨床例を提示する。



この症例は安静時<sup>99m</sup>Tc心筋血流画像である。被検者の同意を得た上で2機種それぞれ撮像を施行した。上段が従来型ガンカメラ、下段がD-SPECTである。従来型ガンカメラでは心筋外集積と心筋が結合しているが、D-SPECTでは分離していた。

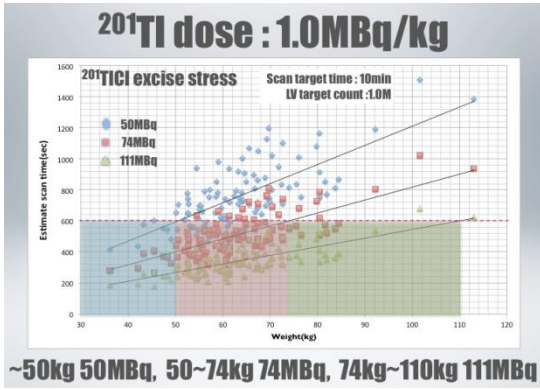


融合画像位置合わせ比較 (同一症例)

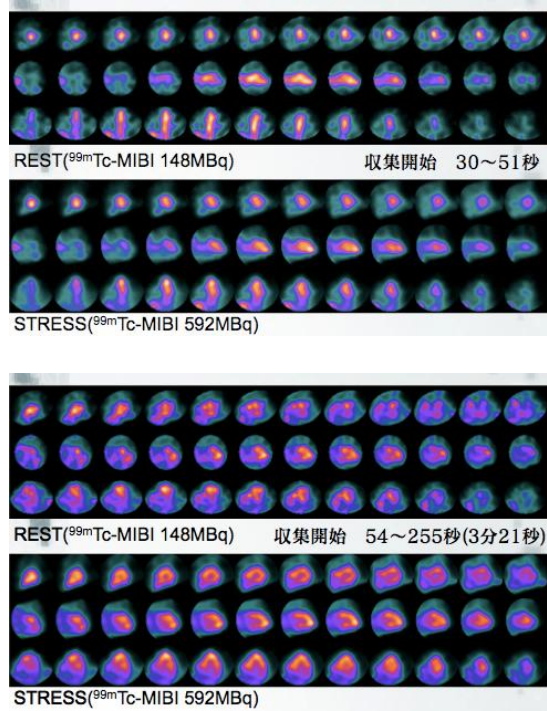
D-SPECTは、高速SPECT撮像、低投与量SPECT撮像のどちらも実現できる。現在、我々は<sup>201</sup>TlCl<sub>1</sub>を使用した低投与量検査を行っている。

投与量の設定には運動負荷時1MBq/kgとし、薬物負荷時0.6MBq/kgとしている。これはD-SPECTにて行われた負荷心筋SPECT100症例の体重と投与量とカウントレートから負荷時の撮像時間が10分間で心筋カウントが1メガカウント得られる投与量を算出したものである。



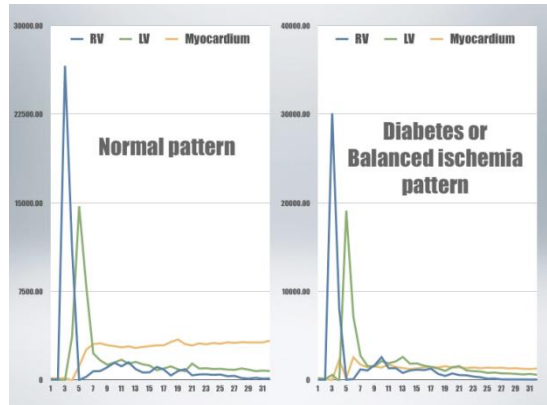
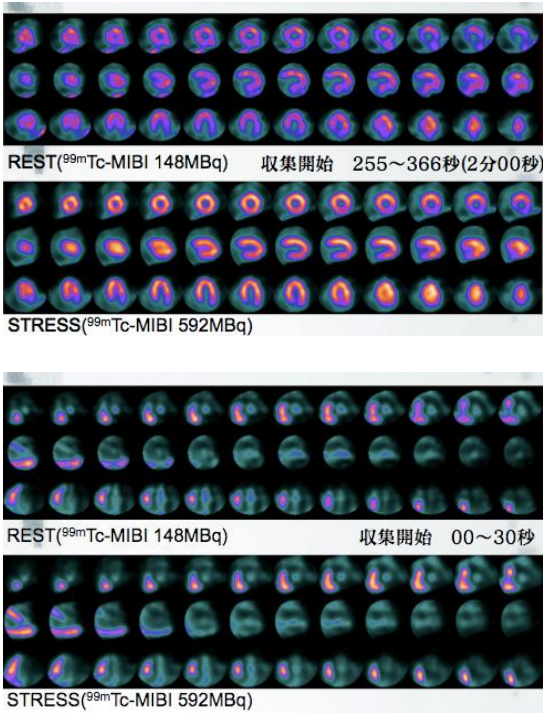


D-SPECTは、連続収集モードによって最速で3秒ごとのSPECT撮像をすることができる。これによって高速Dynamic SPECTによる心筋血流量を測定することができる。これによってバランス型虚血や多枝病変虚血、発達した側副血行の存在などの従来SPECTが診断を苦手とした領域を補うことができる可能性がある。



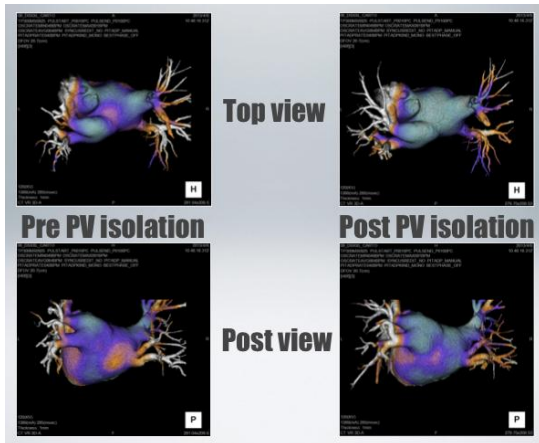
D-SPECT による Dynamic SPECT 画像

(Dynamic 収集モード)



時間-放射能曲線 (Dynamic モード)

D-SPECT による新しい知見として  $^{123}\text{I}$ -MIBG の交感神経画像によって心房細動に対する肺動脈隔離術の評価および迷走神経反射を誘発する心臓神経叢の位置を同定することができる可能性がある。心臓神経叢の位置は CT との融合画像を作成する必要がある。



左心房における交感神経分布画像

最後に D-SPECT は、革新的な進歩を果たした心臓専用 SPECT 装置であり、高感度、高分解能という大きなアドバンテージを有している。これによって心筋分子イメージングの新たな知見や心臓核医学検査の低被ばく化が期待される。

ドパミントランスポーターシンチグラフィに対する基礎的検討—新規検査の画像作成をどのように考えますか？—

松江赤十字病院 放射線科部 陰山真吾

第 15 回夏季学術大会では「ドパミントランスポーターシンチグラフィに対する基礎的検討—新規検査の画像作成をどのように考えますか？—」と題し、今年の 1 月より始まった新規検査のドパミントランスポーターシンチグラフィにおける SPECT 画像の作成にあたりどのような問題点があり、それをどのように考えていけば良いのか報告した。特に今回は、SPECT 画像作成にあたり、コリメータの選択、散乱線補正の有無、減弱補正の有無、散乱線+減弱補正の有無、画像再構成法の選択といった技術的な項目の現状の問題点を挙げて、それに対する考えを述べた。

コリメータの選択については、GE 社製のコリ

メータである低エネルギー高分解能コリメータ

(以下 LEHR) と拡張低エネルギー汎用コリメータ (以下 ELEGP) を比較した。まず空間分解能、感度、散乱線の影響といったコリメータの影響する事象について基礎的検討の結果を示した。この基礎検討を踏まえてコリメータの違いが線条体ファントムの SPECT 画像へ与える影響について検討した。線条体の視覚的診断には空間分解能が大きく影響し、分解能の高い LEHR が望ましいと考えられた。一方、定量的診断には散乱線の影響の少ない、ELEGP が望ましいと考えられた。

散乱線補正や減弱補正といった補正の有無については、まず物理現象として放出された  $\gamma$  線が物体に対して、どのように散乱や減弱を起こしているのかについて説明した。そして多く用いられている補正法として、散乱線補正は **Multi Energy Window** 法、減弱補正は **Chang** 法について説明し、また注意点を述べた。次に散乱線補正や減弱補正の有無が線条体ファントムの SPECT 画像へ与える影響について検討した。散乱線補正や減弱補正、また散乱線+減弱補正を加えることで定量値はより真値に近づく結果となった。一方、補正の有無によるファントム画像の見た目には影響が小さかった。

画像再構成法の選択については、フィルタ補正逆投影法 (FBP 法) と逐次近似画像再構成法

(ML-EM 法、OS-EM 法) を比較した。目的臓器を陽性像として捉える点やバックグラウンドの収集カウントが低いといった点から逐次近似画像再構成法が望ましいと考えられた。また逐次近似画像再構成法は更新回数の決定が必要となることや、使用メーカーごとにアルゴリズムが異なるといった使用上の注意点を述べた。

今回、新規検査のドパミントランスポーターシンチグラフィにおける SPECT 画像作成に対する



技術的な問題点を挙げた。今後は実際の臨床データにて今回の技術的な問題点を踏まえた画像作成を行い、またその画像がどのように診断に影響していくのか、検討していく必要があると考える。