

**第 53 回日本核医学会学術総会
第 33 回日本核医学技術学会総会学術大会
合同企画抄録**

合同企画抄録目次

会長講演・大会長講演

脳核医学の成果と今後の展開

..... 桑原 康雄..... S42

歩んできた道

..... 大屋 信義..... S43

合同シンポジウム「臨床核医学における定量測定と精度」

1. 脳核医学検査における定量測定とその精度

..... 飯田 秀博..... S44

2. 心筋血流定量：有用性とピットフォール

..... 工藤 崇..... S45

3. 腫瘍（FDG：SUV）

..... 谷本 克之..... S46

4. 腎機能診断における腎臓核医学検査の特長と役割

..... 伊藤 和夫..... S47

合同特別講演

脳核医学と分子イメージング — 核医学を目指す若い人たちへのメッセージ

..... 菅野 巖..... S48

合同薬剤調整セミナー

放射性医薬品を扱う上でのリスクマネジメント・患者誤投与防止や管理の重要性

..... 井上 淑博..... S49

^{99m}Tc 標識のポイント・注意点

..... 吉成 糸子..... S50

脳核医学の成果と今後の展開

桑原 康雄

福岡大学病院 放射線部第二

脳核医学には脳循環動態、脳代謝、神経伝達機能、 β アミロイドのような沈着物質を標的にしたものなど様々なものがある。これまでに多くの放射性薬剤が研究・開発され、ヒトへ応用されてきたが日常臨床のレベルで普及しているものは少ない。現在、日常臨床で行われている脳核医学検査は大部分が脳血流 SPECT であるが、臨床脳核医学がさらに発展するためには、核医学検査が得意とする神経伝達機能や脳内沈着物質測定など核医学本来のトレーサー解析法としての特徴を生かした新しい技術の応用が不可欠である。

一方で、技術的にほぼプラトーに達していると思われる脳血流 SPECT による定量測定の日常臨床において、測定エラーとしか思えないような不自然な結果を経験することが少なくない。脳血流のように生理的に変動しやすいものを対象にしているため、致し方ない面もあるが、技術的にまだ改善の余地があるように思われる。臨床の現場において原因は特定できないことが多いが、測定の簡便化によるシステム上の問題である可能性がある。

本学会のメインテーマである「核医学の閃き - 原点と未来への創造」はこのような観点から、われわれがこれまでに築き上げたものをもう一度見直し、臨床核医学はこのままで良いのか、さらに核医学を発展・普及させていくにはどのようにすれば良いかを考える機会にしたいという思いを込めたものである。

近年の画像解析法や装置の進歩により CT や MR 等の空間分解能の高い形態画像と SPECT や PET などの核医学画像を組み合わせることで大きな流れとなっている。また、MRI による Arterial spin labeling (ASL) を用いた脳血流画像は技術的な問題があるものの短時間で簡便に脳血流画像が得られるため、臨床の現場で急速に普及しつつあり、核医学検査の特徴と意義を明確にする必要がある。

本講演では脳核医学の現況を概観し、本学会の脳に関する特別講演やシンポジウムで取り上げたいいくつかのキーワード「定量測定と精度」「形態画像」「ASL」を紹介し、これらのプロローグとするとともにこれからの脳核医学について考えたい。

歩んできた道

大屋 信義

九州大学病院 医療技術部

昭和53（1978）年4月に当時の九州大学医学部附属病院放射線部に入職以来35年もの長きに亘り診療放射線技師として滞りなく、与えられた職務を忠実に果たしてきた。核医学に従事したのは、実に24年間であった。昭和58年3月にサイクロトロン棟が竣工し、当時の日本製鋼所製ベビーサイクロトロン（BC-1710）が導入され、ポジトロンCT装置としてSET-120が設置された。翌年にはHEADTOME-Ⅲが設置された。幸運にもサイクロトロン核医学の始まりをこの目で見る事ができた。このころから核医学を担当する放射線科医師は、一矢有一先生を筆頭に、綾部善治、桑原康雄、和田誠、桂木誠、大塚誠、佐々木雅之、吉田毅先生などたいへんそれぞれ個性的な方ばかりでしたが、刺激的でもありましたし、大いに鍛えられもしました。これが今の自分を作る基礎となったと考えます。

核医学における学会発表は、1984年から地方会を中心に行ってきた。サイクロトロン室内の放射性核種の表面密度が最初であった。それ以後、最低1回は発表することを自分に誓って進めてきた。自分にとっての大きな転機は、2002年の第22回日本核医学技術学会での基礎講座「核医学イメージング技術の変遷と今後の課題」と題して、中村幸夫大会長から依頼されたことであった。このころまでに核医学の機器管理については、QCを中心に勉強してきたこと、施設間の画像比較も目にしてきたことから、発表の最後のスライドで「定量は、酌量であってはならない。どこの病院で検査しても同じ結果が得られるのが当然であるという時代

がくるのを心待ちにしたい」と締めくくった。

時を同じくして、日本核医学技術学会の理事であった仁井田秀治、大屋信義、片渕哲朗と学術委員であった柳沢正道で「核医学画像の定量化・基準化のための調査研究WG」が発足した。自分としては絶好のタイミングであった。このWGの活動もかなりアクティブであり、WG報告を3回本会誌上にて掲載し、2006年に活動は終了した。2006年には、自身が大会長として第26回総会学術大会を開催し、第24回大会のシンポジウム「核医学技術のEBMを考える」の司会、第25回大会のシンポジウム「EBNMTの確立に向けて」の司会を務めた関係上、テーマを「EBNMTの夜明け」とした。核医学技術にもエビデンスが必要である、今多くの病院で実践されている検査技術もエビデンスに基づく技術であるべきと考え、学会主導で常に新しいエビデンスの構築に向けて努力すべきである。

またこれまでに多くの人に出会い、励まし励まされ、お蔭をもって日本全国に気楽に話ができる人たちが居る。これも自分にとって大きな財産である。今までのお付き合いに感謝したい。

結局、診療放射線技師の核医学領域における仕事は何か。私が考えるに、装置の管理をしっかり行い、病院スタッフ・患者さんに対して迷惑を掛けないこと、検査の正しい画像を提供すること、マニュアルの枠内でしかできなかった業務は作業と考え、学生と同じレベルであると認識すること、画像を通して自分の意見を表現できた業務を仕事と考える。仕事ができる人間になって欲しいということである。

1. 脳核医学検査における定量測定とその精度

飯田 秀博, 堀 祐樹, 越野 一博, 銭谷 勉, 山内 美穂

国立循環器病研究センター研究所 画像診断医学部

PET や SPECT を使った脳核医学分野において定量測定の歴史は長く、脳血流量や血管反応性の検査を始め、代謝量や神経受容体の機能画像の定量化に広く利用されている。その多くは研究目的であるが、一方臨床診断の中において利用される一部の検査では、脳卒中治療にかかる各学会の定めるガイドラインなどに定量数値が診断指標として記載されるなど、一定の精度確保が前提とされている。そのような状況下では、目的ごとに利用する診断薬剤の統一化、検査毎に検査手順の標準化、画像化プログラムの標準化、および日常のクオリティ確認が必要である。正常値とその背景となるデータベースの確保、他装置システムとの整合性の確認、検査結果の再現性の確認、さらに撮像装置だけではなく周辺の種々計測機器などの標準化についても留意が必要である。利用する画像撮像装置や、種々の検査手順の違いが阻害要因になることは明らかである。近年になって、全脳の核医学画像を stereotactic に標準脳に重ね合わせて健常者

データベースと比較することで異常領域を定量的に自動検出し、診断を支援するソフトウェアが広く利用されるようになった。このような場合には、特に装置を超えた画像の一致が不可欠である。

現実には、近年の研究で明らかになったように装置に依存した誤差が存在しており、これが装置固有の空間解像度や、散乱線など影響が装置に依存し変化していることが確認されている。従って、他施設で得られた画像データを共有するためには、装置間の一致を確保するような何らかの画像処理が必要である。

本講演では、発表者らが開発してきた定量 SPECT 画像再構成プログラムと、 ^{15}O -標識ガスと PET を使った血行力学的脳虚血画像診断技術などをもとに、脳核医学検査の定量化における現実的な問題について議論したい。

2. 心筋血流定量：有用性とピットフォール

工藤 崇

長崎大学医学部 原爆後障害医療研究所 アイソトープ診断治療学研究分野

心臓核医学検査は通常心筋血流の相対的な分布を評価するものであり、びまん性の虚血（血流予備能低下や内皮機能低下）の評価が困難である。この欠点を補うために、様々な形で心筋血流定量が行われている。一般には血流定量のためにはPETが必要とされるが、O-15水PETでは血液のサブトラクションが必要である点、N-13 アンモニアでは心機能低下例における肺集積の増加が画質の低下を招く点、などPETトレーサーの選択にも一長一短が存在する。

また、被ばくを伴う検査である以上、なぜその検査が必要であるかという、検査の意義については常に念頭に置いておかなければならない。心臓核医学検査における血流定量の意義は、#1：微小血管・内皮機能障害を評価することによって超早期の段階で心疾患を評価する（予防医学的観点）、#2：3枝病変などによるBalanced ischemia、心不全などの高度・びまん性の病態を評価する（重症疾患の評価）の2つの方向性があると思われるが、それぞれに要求される精度が異なるであろう。一般的な印象としては、血圧などによる変動・個体差が大きく、常に動いている臓器である心筋の血流評価の精度は、脳血流評価に求められる精度よりも低くならざるを得ないと考えている。重症疾患の評価にお

いては、個々の血流絶対値の精度が低くても、血流予備能や内皮機能（すなわち安静時・負荷時の血流の”比”）がある程度評価できれば臨床上の目的は達成できる可能性が高い。

こういった観点から、我々はC-11酢酸を用いた心筋血流・代謝・機能同時評価の試みを行ってきた。C-11酢酸は代謝されるトレーサーであるため、心筋血流測定の精度はN-13 アンモニアよりも低くなるが、代謝が同時に評価できる、心不全例において心筋集積がアンモニアよりも良好でバックグラウンドのカウントが低く画質に優れるなど、欠点を補ってあまりある利点を持っている。一方、最近F-18標識トレーサーである、Flurpiridazが登場した。そのきわめて優れた生物学的挙動から、心筋血流評価用トレーサーの”決定打”になるのではないかとみられている。また、血流定量には5～10秒ごとの動脈血放射能測定が必要であるため、SPECTによる定量が困難であるとされてきた。最近登場した半導体カメラはこの問題を解決する可能性がある。

今回の発表では、C-11酢酸PETによる心筋血流評価をサンプルにしながら、心筋血流定量に求められる精度とは何か、その必要性、今後の発展性などを考えていきたい。

3. 腫瘍 (FDG : SUV)

谷本 克之

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター病院

FDG-PET 検査が保険適用となり12年が経ち、その間にも FDG のデリバリー開始、保険適用疾患の拡大等を経て国内の PET・PET/CT を有する施設数は年々増加し、現在優に400台を超える装置が稼働している。PET 装置は外部線源を用いて、PET/CT 装置は CT イメージを用いて減弱補正を行うことで高い定量性を実現している。脳 PET 検査での定量は一般的に採血しコンパートメントモデルを用いて体内に投与された薬物の生理的な挙動解析を行う方法が用いられる。腫瘍 PET 検査では採血を行わない簡易的な定量法として standardized uptake value (SUV) が広く利用されている。SUV は以下の式で表わされる。

$$\text{SUV} = \frac{\text{組織放射能 [Bq]} / \text{組織体積 [ml]}}{\text{投与量 [Bq]} / \text{体重 [g]}}$$

ここで人体の密度を1 [g/ml] とすると SUV は単位のない無名数となる。投与された薬剤が身体全体に均一に分布した場合 SUV は上記式より1である。つまり SUV は目的組織と身体全身の平均放射能との比であり、投与量と患者さんの体重だけで求めることが可能な半定量指標である。前述のコンパートメントモデルを用いる定量解析法に比べ、非常に簡便で取り扱いやすい

ため広く普及している。SUV はあくまで正確な集積の絶対量を測定するのではなく、全身に分布した放射能に対する病変部位の集積の比として診断に用いられている。特に腫瘍 PET 検査において腫瘍の良性悪性の鑑別・悪性度診断・治療効果判定などに利用されている。なお、普段何気なく「SUV 値」と使ってしまう事があるが SUV の V は value = 値であり、冗長な表現である。

簡単な取扱い方法で集積を定量可能な SUV であるが、問題点として様々な因子の影響を受けて値が変動することがあげられる。最も有名な因子である高血糖による影響をはじめ、薬剤投与時の皮下への漏れ、患者さんの運動の影響や体脂肪率などがあげられる。また PET 由来の影響因子として部分容積効果、減弱補正用の μ -MAP の精度、クロスキャリブレーションなど SUV は実に多くの因子の影響を受ける。

これら因子による様々な SUV への影響を受けないための装置管理や検査法、また影響を受けてしまった時の SUV 以外の簡易定量法などについて考察する。PET 装置の本質は γ 測定器であるということを再認識し、正しく装置を精度管理し利用していくことが正確な診断・治療への第一歩である。

4. 腎機能診断における腎臓核医学検査の特長と役割

伊藤 和夫

恵佑会札幌病院 放射線画像センター

腎臓核医学検査は1960年 I-131 ヒップランを用いたレノグラム検査が始まりである。現在、その検査法は使用される放射性医薬品の種類と特長から3種類に分類される。

1) Tc-99m-DTPA 動態シンチグラフィ

Tc-99m-DTPA は糸球体で濾過され、尿細管で再吸収されることなく尿中に排泄される。従って、本放射性医薬品の腎排泄あるいは血液クリアランスは腎機能を代表する糸球体濾過率 (GFR) に依存する。本検査法は採血および採尿を必要とせずまた総腎機能の即時的解析も可能で、個別腎機能評価法として最も優れた検査法としての特長を有している。しかし、高額な検査料金、総腎機能の低い計測精度が影響し、日常診療の中で GFR 計測法として利用される機会は決して多くない。本薬剤を用いた血液クリアランス計測はイヌリンクリアランスに匹敵する GFR 計測精度があることが指摘されている。腎シンチグラフィと血液クリアランス計測の併用検査法に関して紹介する。

2) Tc-99m-MAG3 を用いた腎動態シンチグラフィ

Tc-99m-MAG3 は近位尿細管から尿中に排泄され、その血液クリアランスは腎血漿流流量 (RPF) あるいは近位尿細管分泌能 (TER) に依存する。尿中排泄率が Tc-99m-DTPA の 3~4 倍高いことから水腎症の診断に利尿剤負荷と併用して利

用される。十分な検討はされていないが急性腎障害 (AKI) の重篤度と予後推定に対する検査法として有効である。

3) Tc-99m-DMSA を用いた腎静態シンチグラフィ

本検査は膀胱尿管逆流症 (VUR) に伴う腎実質障害 (腎瘢痕、逆流性腎症) の形態的診断が主な検査対象であり、個別腎機能評価法として利用される。欧米では小児核医学検査の重要な検査法の一である。本邦でも小児核医学検査の中で最も使用頻度が高い検査法として報告されている。本薬剤は尿中排泄が少ないため、前記した2つの放射性医薬品に比較して若干腎への被ばく線量が多い。検査が小児対象に施行される点を考慮すると、投与量には十分注意する必要がある。

4) 最後に

放射性医薬品を用いた GFR の定量的評価法は計測精度の高い検査法として欧米では広く施行されている。計測精度の高い採血法を体外計測法としての腎シンチグラフィと併用して行うことが現在の腎臓核医学検査の中で解決すべき大きな課題ではないかと考えられる。Tc-99m-MAG3 で示される尿細管分泌能は臨床的に一般化されている腎機能パラメータではないが、腎透析を必要とする腎障害の予後推定に有効と考えられる。

脳核医学と分子イメージング

一 核医学を目指す若い人たちへのメッセージ

菅野 巖

放射線医学総合研究所

核医学は今でこそ分子イメージングと呼ばれガンや認知症の診断の切り札として重宝されているが、一時はCTやMRに比べ低い解像力ゆえにunclear medicineと揶揄された冬の時代を送っていた。幸い田舎にいた自分はその世間の潮流に流されず1972年のCTの出現に刺激されRI分布も断層像で見られるはずと歯科用の回転椅子とガラクタで患者をガンマカメラの前で回転する手作り装置で横断像を撮影して喜んでいて。ある国際学会でその ^{99m}Tc 脳断層像をDavid Kuhl氏に見せて感心された記憶がある。断層装置開発はその後国内企業と共同してHEADTOMEとして本格的な断層装置へ向かった。

脳卒中急性期には脳血流量などの機能測定が必要だった。当時脳血流測定に使えたのは ^{133}Xe だけである。 ^{133}Xe 脳クリアランスの数秒毎のダイナミック断層像を測定し、しかもノイズに埋もれた ^{133}Xe 減衰率を計算する必要があった。それがKanno-Lassen法に繋がった。そうやって得られた断層脳血流量は虚血範囲の広がりを用意以上に示し、脳卒中の診断と予後の推定に大きな威力を見せつけた。さらに1983年にサイクロトロンが導入されると脳血流量の他にPETによる酸素消費量などの情報が加わり、機能診断の重要性が加速された。PETは定量測定が肝腎

である。医師も技師も看護師も薬剤師も物理屋も現場が一丸になりPET周りの手技手法と装置器具を最適化した。おかげで、定量測定に関しては何処にも負けない脳卒中のPETセンターができていった。

私が工学部から秋田脳研に進んだ動機は脳への強い好奇心であった。PETによる脳循環代謝測定はその好奇心を満たす格好の道具になった。また後年放医研に移って、精神疾患から認知症に関わる神経伝達や異常蛋白を測れる分子イメージングの威力を学んだ。しかし、PETによるマクロ的測定だけでは巧妙な血流調節のメカニズムや脳の分子機序の解明には限界があり、好奇心の矛先はミクロ的測定に向かった。インビボで微小循環や分子挙動を測れる2光子励起顕微鏡の導入である。これで脳に関するPETマクロ情報とミクロ情報を融合する新しい世界が開かれると期待している。

私が幸運だったのは上司から核医学は「生体機能の計測」であることを叩き込まれたことである。好奇心にまかせ、頭より身体を使い、先見の明があったわけでもなく、ひたすら機関車のように測定してきただけの自分が、核医学を目指す若い人に有用なメッセージを伝えられるか分からないが、自分の歩みが若い人の核医学へ向かうヒントになれば幸いである。

放射性医薬品を扱う上での リスクマネージメント・患者誤投与防止や管理の重要性

井上 淑博

済生会熊本病院 中央放射線部

放射線診療における安全性の担保は、診断・治療を行う上で不可欠で有り医療を提供する側の過失・不注意が患者の不利益を導かないためにも最優先すべき内容である。

放射性医薬品の安全管理としては、「放射性医薬品取り扱いガイドライン」に基づく医薬品安全管理責任者の選任、従業者の研修、医薬品業務手順書の作成、医薬品業務手順書に基づく業務（実施記録の作成と医薬品安全管理責任者の定期確認など）、その他医薬品の安全使用を目的とした病院での対策が項目として挙げられる。この対策については常に情報収集を行い、必要な改善を続けなければならない。

誤投与防止に関しては、患者や検査項目選択、放射性医薬品の誤認といった事が主な要因となる。背景として、医療従事者の情報連携不足、複数検査の同時進行への対応（経験度）、検査混雑による集中力低下、安全管理に対する意識不足などが挙げられる。

防止策としては、1) 容量や種類に応じて目視で確認できること、2) 調剤手順が確認できること、3) 記録を残して対応してあること、4) 誤認になりそうな場面を作らないよう意識することなどの体制作りが重要である。

核医学検査のリスク要因は薬剤に限らず、機械の保守と日常の安全管理に関しても注意が必要である。日々の機器管理がリスク軽減になることも意識することが重要である。

最近の調査（核医学検査における安全管理等

に関するアンケート調査報告—第9報—）ではアクシデント（事故）事例（54件）のうち約80%で患者さんが怪我をされている。内訳としては、術者の患者さんへの対応に問題があったのが半数弱で、次いで患者自身の不測の行動や容態の変化、機器の誤操作などである。転倒による骨折を負われた事例も少なくはない。インシデント（ヒヤリハット）事例（147例）では、過去のデータでは被検者への対応に関することが原因だとする報告が最も多く、今回の調査でも操作に関するミスが増加している。インシデントやアクシデントを問わず、その原因は医療従事者の行動に起因していることが重要である。

以上のようなことから、核医学検査で我々が行うべき医療安全に繋がる業務管理として投与前、操作前の再確認を継続的に意識し、患者の監視、介助、注射などを中心にリスクの予測を洗い出し、潜在的リスクへの対策を積極的に行うことが必要である。

診療放射線技師の業務では、より安全な適性検査技術の普及・教育、設備や装置の点検・管理、放射性物質の拡散防止・被ばく低減、などのリスクマネージメントへの参画等が医療へ貢献できる手段となり得る。

今回のセミナーでは放射性医薬品の安全使用と取り扱いをはじめ日常安全管理の重要性をご理解頂き、少しでも明日への業務にお役立て頂ければと切に願う次第である。

^{99m}Tc 標識のポイント・注意点

吉成 糸子

日本メジフィジックス株式会社 兵庫生産部品質管理課

^{99m}Tc 標識用キットの調製のポイント、注意点について紹介する。現在核医学に利用されている ^{99m}Tc 製剤の多くはテクネチウム (^{99m}Tc) と配位子の錯化合物であり、混合等の操作で容易に標識が可能である。そのため配位子を含んだ薬剤が ^{99m}Tc 標識用キットとして提供され、病院内で過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 注射液を加えて調製される場合も多い。過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 注射液中の ^{99m}Tc は化学的に安定な +7 価であり、このままでは配位子と結合しないため、還元剤で +3 ～ +5 価に還元する必要がある。そのため、 ^{99m}Tc 標識用キットには塩化第一スズ等の還元剤が配合されている。しかし、還元型 ^{99m}Tc は錯形成と同時に酸化還元反応や加水分解反応も起こしやすく、配位子や還元剤の量、加える過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 注射液の量や濃度、pH、酸素の有無、反応時間などを適切に管理する必要がある。したがって、キットごとに決められた標識条件を守らなければ放射化学的不純物が生成し、検査に支障を来す恐れがある。

キットに加える過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 注射液は、メーカーからバイアルで供給されているものを用いるか ^{99}Mo - ^{99m}Tc ジェネレータから溶出した注射液を用いるが、ジェネレータ溶出液を用いる場合は、溶出時の無菌的

操作、一度溶出してから次に溶出するまでの時間などに注意が必要である。また、過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 注射液の濃度を調整する必要がある場合には、キットに加える前に、生理食塩液で適当な濃度に希釈する。

ジェネレータからの溶出、キットの標識などの調製操作は適切な清浄度が保たれたエリアで、微生物等による汚染を避けなければならないが、同時に、放射線による被ばくまたは放射性物質による汚染にも注意を払う必要があるため、標識操作は安全キャビネット内で行うことが望ましい。

^{99m}Tc 標識用キットの調製では、上述したように標識条件を守ると同時に、無菌性を保ち、交叉汚染を防止し、なおかつ放射能汚染や被ばくを考慮しなければならない。以下に、一般的な注意事項を列挙する。無菌の手袋、専用の白衣などを着用する。バイアルのゴム栓表面はアルコール綿で消毒してから針を刺通する。交叉汚染を防止するために針やシリンジは操作ごとに新しいものを用いる。同時に複数の種類のキットを調製する場合は特にキット間での交叉汚染にも配慮が必要である。適切な遮へい器具を用い、液の噴出しを防止するためにバイアル内部は陽圧にならないように注意する。