

第 48 回核医学夢工房 後抄録

【症例報告①】

「肝・胆道シンチグラフィ～胆管形成不全を疑う症例～」

愛媛大学医学部附属病院

大西 恭平

肝・胆道シンチグラフィは、肝細胞の胆汁中への色素排泄能を利用することで胆管の通過性を評価できる検査である。放射性医薬品としては ^{99m}Tc -PMT (商品名：ヘパティメージ®注/日本メジフィジックス(株)製) を使用する。当院においては近年、検査依頼数は少ないものの乳児黄疸等の鑑別目的で利用されている。今回、当院で行った乳児に対する肝・胆道シンチグラフィの内、胆道閉鎖症が疑われる症例を 2 例経験したので報告した。

当院における肝・胆道シンチグラフィは、 ^{99m}Tc -PMT 投与と同時に 1 時間の Dynamic 収集を行い、2・4・6・24 時間後に Static 収集を行っている (Fig.1)。使用装置は、Infinia3 (GE 社製)、コリメータは LEHR、収集エネルギーは $140\text{keV} \pm 10\%$ である。

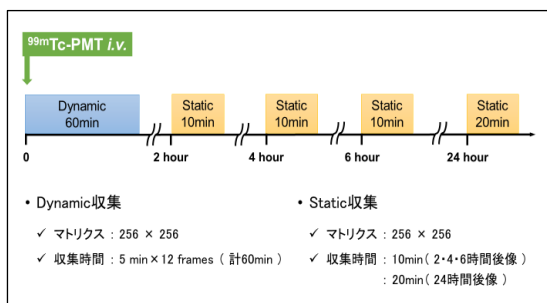


Fig.1 当院における肝・胆道シンチグラフィ

1 症例目は 0 歳 (日齢 30 日) 女児。出生前

の胎児エコーにて 2-3mm の VSD と診断されており、VSD 管理目的で当院 NICU に入院となった。主訴は黄疸と白色便で、直接ビリルビン 4 mg/dL 程度にて横ばい状態、総胆汁酸上昇傾向、胆汁うっ滞の状態であった。

外科的疾患の検索目的で MRI が施行されるものの体動の影響もあり、肝内胆管の軽度拡張、胆道閉鎖症も否定できないといった程度の所見となっていた。続いて肝・胆道シンチグラフィが施行された (Fig.2)。RI 投与後 23 時間後まで撮像したものの、腸管への排泄を認めず、胆道閉鎖症として矛盾しない、という所見となった。以上を踏まえて、開腹手術が決定された。手術の際、術中胆道造影が行われるものの、胆道が描出されなかったため、胆道閉鎖症として肝門部空腸吻合術 (葛西手術) が施行された (Fig.3)。

術後 2 日目には緑色便となり、直接ビリルビンも減少傾向であった。術後 8 日目には直接ビリルビンは正常範囲内、黄疸もほぼ消失しており、その後は VSD も含めての月一回のフォローとなっている。

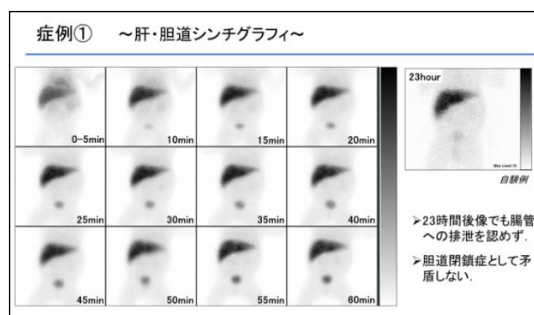


Fig.2 症例①：肝・胆道シンチグラフィ

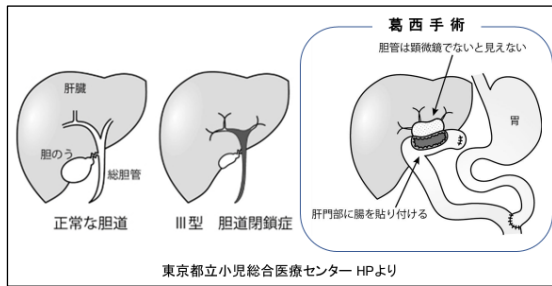


Fig.3 症例①：葛西手術

2 症例目は 0 歳（日齢 16 日）男児。背景としては、21 トリソミー患者であり、PDA（動脈間開存症）・肝脾腫あり，十二指腸狭窄疑いであった。光線療法，漢方治療等導入するも，直接ビリルビンが上昇傾向であったほか，肝脾腫および白血球増多，血小板減少等により，TAM（一過性骨髄異常増殖症：Fig.4）と判断されており，TAM の治療（日齢 8 日よりステロイド治療）を行いつつ精査が計画されていた。直接ビリルビンの上昇の要因として TAM が挙げられるが，他の要因も捨てきれない，といった状態であった。

胆道系の構造異常の精査目的で造影 CT が施行され，十二指腸下行脚の閉塞疑い，肝胆道系の拡張は無し，といった所見であった。続いて肝・胆道シンチグラフィが施行された (Fig.5)。RI 投与後 23 時間後まで撮像したものの，腸管への排泄を認めず，胆道閉鎖症として矛盾しない，という所見となった。以上を踏まえて，胆道閉鎖症に対する葛西手術および十二指腸狭窄に対する十二指腸-十二指腸吻合術の予定で開腹手術が決定された。手術の際，術中胆道造影を行ったところ，肝内胆管と総胆管，腸管への造影剤の排泄を認めたため，胆道閉鎖症は否定された (Fig.6)。手術では十二指腸-十二指腸吻合術および肝生検のみが施行された。肝生検の結果は，TAM による肝障害の所見は乏しい。また，顕著な肝内胆管の減少を認め，

PILBD（肝内胆管低形成症：Fig.7）に矛盾しない，となっていた。

その後，黄疸の原因は TAM ではなく，PILBD であったとし，ステロイド治療から対症療法（ウルソデオキシコール酸，MCT ミルク）に切り替え，治療を継続中である。黄疸も徐々に漸減傾向である。

TAM (Transient Abnormal Myelopoiesis; 一過性骨髄異常増殖症)	
概要	ダウン症候群患児の約10%にみられ，新生児期に白血病様芽球が末梢血中に増加する病態
原因	造血転写因子GATA1の遺伝子変異
症状	肝脾腫，白血球増多，血小板減少など。重症の場合は肝機能異常，閉塞性黄疸，播種性血管内凝固症候群，全身性浮腫を呈する。
治療	全身状態が良い場合は経過観察。重篤例には支持療法とともに早期治療介入が必要。交換輸血・強心剤・ステロイド投与により一時的に芽球の数が減少し，症状が緩和されることもあるが，無効であることが多い。白血球数が10万以上，全身性浮腫，肝機能障害が増悪傾向である場合，抗がん剤の投与を考慮する。

Fig.4 症例②：TAM（一過性骨髄異常増殖症）

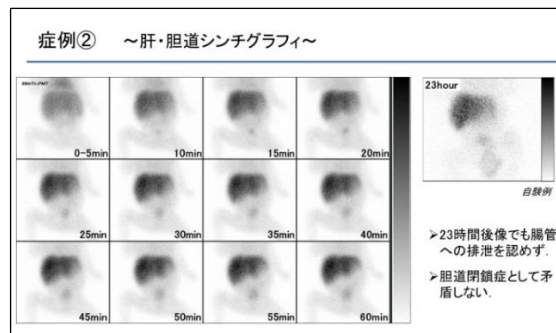


Fig.5 症例②：肝・胆道シンチグラフィ

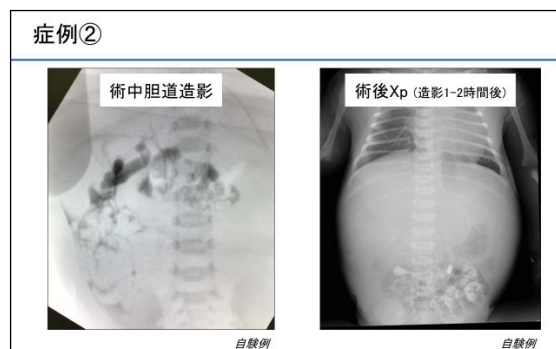


Fig.6 症例②：術中胆道造影および術後 Xp

PILBD (Paucity of InterLobular Bile Ducts)	
・ 肝内胆管低形成(減少)症	
✓ 症候性 (→ Alagille症候群)	→ PILBD
✓ 非症候性	→ NS-PILBD
概要	肝生検で小葉間胆管の減少を認め、画像検査などで肝外胆管には閉鎖がないもの。
原因	不明
症状	乳児期黄疸、肝腫大、白色便、体重増加不良
診断	肝生検で少なくとも5個以上の門脈域を検索し、小葉間胆管数/門脈数比が0.5以下(正常0.9-1.8)。
治療	胆汁排泄を促すウルソデオキシコール酸、フェノバルビタールなどを用いる。脂肪吸収不全に対しては脂溶性ビタミン(ビタミンA, D, E, K)の補充、MCTミルクなどを用いる。重症例では肝移植が必要。

Fig.7 症例②：PILBD（肝内胆管低形成症）

当院で施行された乳児に対する肝・胆道シンチグラフィの内、胆道閉鎖症が疑われる症例を2例報告した。2例とも肝・胆道シンチグラフィの所見では胆道閉鎖症が疑われる症例であった。胆道閉鎖症に対する葛西手術は、生後60日以内の手術で有効性が示されており、迅速な対応が求められる。肝・胆道シンチグラフィは、確定診断とはならないものの比較的侵襲な検査であり、診断の一助となり得る。当院の場合、稀な検査であるが、検査法や意義をしっかり理解した上で今後の業務に取り組んでいきたい。

【症例報告②】

「¹²³I-BMIPP 心筋シンチにて心筋無集積であった症例」

島根県立中央病院

矢田 俊介

¹²³I-BMIPP 心筋シンチは生体内にある脂肪酸と同様の体内動態を示し、細胞内へ取り込まれた後、脂質プールおよびミトコンドリア内に移行する。側鎖としてβ位にメチル基があるためβ酸化を受けにくく、心筋内に長く留まる。健全心筋のエネルギー源は主に脂肪酸のβ酸化に依存しているが、虚血や低酸素状態になるとブドウ糖を利用した解糖系へ移行する。¹²³I-BMIPP の取り込みを評価するこ

とにより心筋局所の脂肪酸代謝障害を知ることができる。

また、¹²³I-BMIPP と ²⁰¹TlCl を同時投与した2核種同時収集 SPECT を実施することで血流と脂肪酸代謝の乖離（ミスマッチ）を評価することもあり、当院において心筋梗塞治療後の患者においてしばしば実施されている。

今回提示する症例は、急性心筋梗塞後の患者に ¹²³I-BMIPP と ²⁰¹TlCl の2核種同時収集 SPECT を実施し、¹²³I-BMIPP が心筋に無集積であった症例である。

症例は56歳男性、主訴は前胸部痛、既往歴は高血圧・肺気腫、家族歴は心疾患に関してはなし、喫煙は4~5年前までは40本/日、飲酒は日本酒2-3合/日である。

血液検査、心電図検査、心臓超音波検査の結果、急性心筋梗塞の疑いが強く、緊急心臓カテーテル検査を行うこととなった。心臓カテーテル検査にて冠動脈造影を行ったところ、左前下行枝#6に強い狭窄があり、ステント留置となった。

心筋カテーテル検査の10日後に、心筋梗塞治療後の評価のため ¹²³I-BMIPP と ²⁰¹TlCl の2核種同時収集 SPECT を行うこととなった。その結果、²⁰¹TlCl は中隔下部から下壁の集積低下、¹²³I-BMIPP では心筋全体に集積が見られず、無集積の状態であった (Fig.1)。

¹²³I-BMIPP が心筋に取り込まれずに無集積になる原因には①注射の際のミス、②収集及び処理のミス、③何らかの疾患などが考えられる。①については、肝臓が明瞭に描出されているので適切に注射は行われたと考えるのが妥当である。②については、従来の撮像条件と全く同じ方法で収集及び処理を行っており、また撮像前にはエネルギーピークの確認も行っており、問題なかったと考える (Fig.2)。

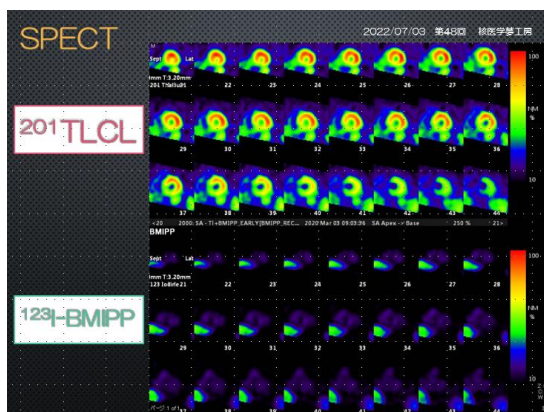


Fig.1 ^{123}I -BMIPP と ^{201}Tl Cl の 2 核種同時
収集 SPECT



Fig.2 エネルギーピークの確認

従って、患者の心臓に起因する異常が無集積の原因と考えられたため、本症例では CD36 を検討した。

CD36 は長鎖脂肪酸のトランスポーターで心筋以外にも血小板、単球、マクロファージ、脂肪組織、骨格筋に存在している。CD36 欠損症には、単球と血小板の両者に欠損が認められる I 型と血小板のみに欠損を認める II 型があるとされている^{1,2)}。

^{123}I -BMIPP で心筋に集積が認められなかった 47 例全例の遺伝子を解析したところ、全例 CD36 欠損症 I 型であったという報告がある³⁾。また、心筋の ^{123}I -BMIPP 無集積所見は検査数

の 0.3~1.2%に認めるとの報告がある¹⁾。

この CD36 欠損症を証明するためには遺伝子解析が必要であるが、当院ではそこまでの解析を行っておらず CD36 欠損症の確定には至っていない。

異常所見があった際に、速やかに自信を持って依頼医や読影医に伝えることが出来るよう、検査を行った際の状況をしっかり把握し、責任をもって収集および解析を行うこと、また臨床知識を持つことの重要性を改めて痛感した症例であった。

【参考文献】

- 1) 山崎 純一 他：Q&A 心臓核医学診断 p.158-161, 2003
- 2) 渡辺 賢一 他：核医学 34:1125-1130, 1997
- 3) Tanaka T 他：J Lipid Res 42:751-759, 2001

【症例報告③】

「抗がん剤によって生じた骨シンチグラフィ集積低下症例」

山口大学医学部附属病院

靄岡 梨穂

骨シンチグラフィ検査において、骨の集積が低下し、腎に異常高集積を認めた 2 症例を報告した。

症例 1) 63 歳女性。検査目的は腓尾部癌からの骨転移検索。検査の 2 か月前から全身化学療法を開始。

症例 2) 63 歳女性。検査目的は進行肝内胆管癌からの骨転移検索。検査の 1 週間前から化学療法を開始。

上記 2 症例の全身骨シンチグラフィを Fig. 1 に示す。両症例とも、正常画像に比べ骨への集積が低く腎の集積が異常に高い。原因として放

放射性医薬品のコンタミネーション、標識不良が考えられたが、共通点はプラチナ系抗がん剤を検査の直前に使用していた。症例1は検査3日前にプラチナ系製剤を含む化学療法の5コース目、症例2は検査の2日前に初回化学療法を行っていた。

骨の低集積および腎の高集積の原因は、プラチナ系製剤によって引き起こされる腎障害と金属イオンが過剰に存在する状況下において生じる^{99m}Tc-リン酸化合物の解離の2点であると考えられた¹⁾。抗がん剤に含まれるプラチナ系製剤が、一過性の腎障害を引き起こし腎に高集積したと考えられる。この腎障害は、プラチナ系製剤投与数日後から2週間程度続き、その後1~2週間で回復する。そして、3週以降では正常に戻ると報告されている。

プラチナ系抗がん剤投与からの経過日数と腎集積指数の関係を Fig2 に示す¹⁾。抗がん剤投与からの日数経過にともない、腎集積指数は低下する傾向が認められている。当院での症例を青○、茶○で追加記載した。文献と同様に抗がん剤投与からの日数が経過するほど腎集積指数が低値になる傾向が認められた。

2点目のリン酸化合物の解離は、ラットにおける実験において、金属イオンが血液中に過剰に存在する状態では、^{99m}Tc-リン酸化合物が解離することが報告されている¹⁾。つまり、プラチナ系製剤投与によって血液中の金属イオンが増加し、^{99m}Tc-MDP が解離したため骨への集積が低下した可能性が考えられる。ラットを使用した実験では、プラチナ系製剤（シスプラチン）投与1日後のラットは、非投与群より^{99m}Tc-MDP の血中消失時間が4倍延長したという報告がある¹⁾。プラチナ系製剤は、^{99m}Tc-MDP の血中残留期間を延長させるため、骨と軟部組織とのコントラスト不足になった可能

性も考えられる。

以上から、骨シンチグラフィを行う前にプラチナ系製剤を投与する際は、3週間程度間隔を空けることで正常骨シンチグラフィを得ることができると考える。骨シンチグラフィ検査時にこのような症例があった場合は、放射性医薬品のコンタミネーション、標識不良も念頭に置きながら、プラチナ系製剤の使用の有無を確認することを推奨する。

- 1) 佐藤多智雄, 吉岡清郎, 尾形優子, 他. 化学療法剤シスプラチン投与後の骨シンチグラフィ腎異常集積に影響を与える因子の解析. 日本核医学会 1996; 33 (11): 1221-1226.



Fig.1 骨シンチグラフィにおいて腎臓に高集積を示した症例

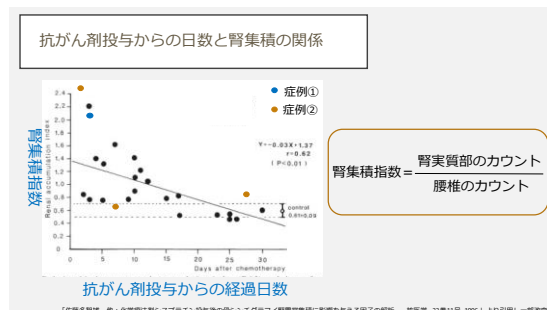


Fig.2 抗がん剤投与からの日数と腎集積指数の関係

【症例報告④】

「COVID-19 ワクチン接種後における FDG PET 検査の代謝亢進性腋窩リンパ節集積のまとめ」

医療法人聖比留会 セントヒル病院
玉井義隆

昨年冬の新型コロナウイルスに対する COVID-19 ワクチンが接種されるようになり、ワクチン接種側の腋窩 LN（代謝亢進性腋窩 LN）と接種部三角筋への FDG の集積が報告されました。特にワクチン接種後一週間以内の場合、図 1 の様に腋窩 LN だけでなく鎖骨下や頸部 LN にまで FDG 集積が及ぶ場合があり、乳がんや悪性リンパ腫の診断に影響が出ないように正しく検査を行う必要があります。



図 1. ワクチン接種後一週間以内の代謝亢進性腋窩 LN

そこで当院における代謝亢進性腋窩 LN の描出をまとめました。

2021 年 5 月～2022 年 5 月にコロナワクチン接種後に PET 検査を行った 402 名を対象に、身長、体重、性別、年齢、ワクチン接種情報を記録し、腋窩 LN の SUVmax を測定しました。

方法①として、多変量解析である重回帰分析を用いてワクチン二回接種後における腋窩

LN の SUVmax を身長、BMI、性別、年齢、接種側、治療前後、二回接種後経過日数で予測した。

方法②として、一回接種群、二回接種群は接種後経過日数 0-3 週間と 3-6 週間、6-9 週間、三回接種群は接種後経過日数 0-10 日間と 10 日間～3 週間、3-6 週間の 3 つ、計 7 グループに分け、SUVmax から Grade 分類をして腋窩 LN の描出率を比較した。Grade 分類は SUV2.2 未満を Grade 1、SUV2.2 以上 4.0 未満を Grade2、SUV4.0 以上を Grade3 とした。（図 2）

結果① 重回帰分析の結果、有意な寄与因子説明変数は年齢、性別、BMI、経過日数、接種側であり、年齢が若い事、性別が女性であること、BMI が高い事、二回接種からの期間が短い事、一回目と二回目の接種側が同じ場合に SUV が高くなる結果となりました。年齢が若い事、女性であることで腋窩 LN の SUV が高くなる事は、既にいくつか論文で報告されており、もともとの IgG 値が高く抗体生産を伴う免疫反応を反映していると考えられる。また二回目の接種を一回目の接種側と逆側にすることも有意に SUVmax が下がる要因となりました。

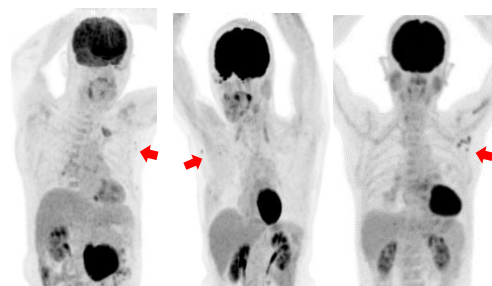


図 2. SUV1.67 – Grade1（左） SUV2.3 – Grade2（中） SUV4.4 – Grade3（右）

結果② 接種回数と接種後経過日数の違いによる代謝亢進性腋窩 LN の描出率の比較結

果(図3), 一回接種群では腋窩LNが約40%描出され, 二回接種の同じ期間では約70%描出されました。二回接種の3-6週間と6-9週間は描出率に有意差がなく6週間以上空けても大差はない為, 関連学会の報告の最低4週間空けるというのは妥当な期間と考えられます。現在主流となっているブースター接種(三回目接種)後では10日間以内で描出率が50%以上と高いが, それ以降は腋窩LNの集積が消失し90%の方は描出されなくなります。

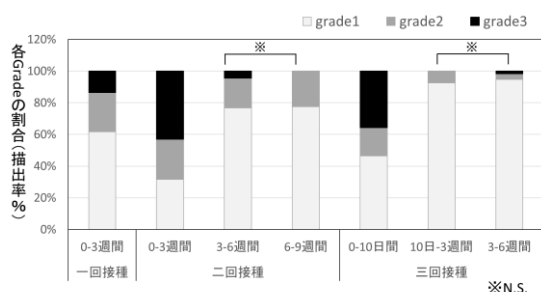


図3. 各グループの代謝亢進性腋窩LNの描出率

三回目接種後(おそらく今後のブースター接種後)は10日間空けることで腋窩LNの描出率は大きく下がるため, 2週間空けることで検査を行えると考えます。

ただし, それでも腋窩LNが描出される患者がいるため, 乳がんの場合は反対側への接種と悪性リンパ腫等でもワクチン接種の有無の問診をして疑陽性や誤診を減らせるよう努めていく必要がある。

【座長集約】

鳥取大学医学部附属病院
崎本 翔太

「肝・胆道シンチグラフィ～胆管形成不全を疑う症例～」

乳児に対して, 肝・胆道シンチグラフィが有

用であった症例をご報告いただいた。肝・胆道シンチグラフィは減少傾向にあるものの, 非侵襲的に行うことができ, 一部の患者にとっては大変有益な検査である。頻度の少ない検査に対しても, 高い質の維持の重要性を痛感した。

「¹²³I-BMIPP 心筋シンチにて心筋無集積であった症例」

2核種同時収集の心筋シンチにて, 心筋に対して²⁰¹Tlは集積し, ¹²³I-BMIPPは無集積であった症例をご報告いただいた。CD36 Type 1欠損症という頻度の低い症例に対して, 投与時, 撮像時, 患者背景など様々な要因について見直しを行っており, 検査体制の質の高さを感じた報告であった。

「抗がん剤によって生じた骨シンチグラフィ集積低下症例」

骨シンチグラフィにおいて, 抗がん剤の影響により腎の集積が増加し, 骨の集積が低下した症例をご報告いただいた。どの施設においても, 経験がありそうな症例であるものの, 見過ごされがちである。しかし画像に対して, 過去の複数の論文を引用し, 論理的に解説いただいた。報告者の今後のますますの活躍を期待したい。

「COVID-19 ワクチン接種後におけるFDG-PET検査の代謝亢進性腋窩リンパ節集積のまとめ」

近年, 社会問題となっているCOVID-19ワクチンのFDG-PET検査への影響をご報告いただいた。先行文献同様に, 接種後の経過日数が最も強く影響した。臨床現場で直面している課題に対して大変わかりやすくまとめている

ただいた。

【特別講演①】

神経内分泌腫瘍に対する PRRT 治療の国内導入のインパクト～臨床を大きく変えた内用療法～

国立がん研究センター中央病院
脇岡 範

【座長集約】

岡山大学病院
中嶋 真大

本講演では、国内で開始されたペプチド放射性核種療法(PRRT)について脇岡先生に神経内分泌腫瘍(NET)の分類から診断、治療、さらに PRRT 導入から運用までをわかりやすくご講演頂いた。当施設も PRRT 治療を行っているが、導入から開始までが非常に大変で、共感しながら聴講させて頂いた。

海外に渡航しなければ受けられなかった PRRT 治療を国内で受けることができるようになったことは、患者と医療従事者にとって大変喜ばしいことである。しかし、PRRT 治療が可能な施設がまだ少ないことに加えて、8週間隔で4回投与するため、一度に多くの患者を治療することができない問題あり、実際に PRRT 治療の待機中に亡くなられた患者がいるということで非常に胸が締め付けられる思いであった。脇岡先生が提唱されていた PRRT 治療を行っている施設間によるネットワーク構築を期待するとともに今後、多くの施設で PRRT 治療が開始されることを期待したい。

【教育講演】

ルテチウムオキソドトロオチド(^{177}Lu)内用療法
の準備から運用とその注意点について

岡山大学病院
中嶋 真大

2021年6月23日にソマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍を適応症としたルテチウムオキソドトロオチド(^{177}Lu)が承認された。当院では、承認を待望していた消化器内科医師の要望で早期導入を目指すことになった。ここでは、当院の導入までの準備と実際の運用について紹介する。

2021年7月にプロジェクトチームが発足し、消化器内科医師、放射線科医師、診療放射線技師、製薬会社 MR で運用までの準備を行った。導入までには、医療法の変更届出、核医学治療の安全取扱講習会の受講などの必須項目があり、他に当院では院内薬事委員会の承認、電子カルテの変更などを行った。さらに放射線治療病室の運用などを含めた治療手順について詳細にチーム内で定期的に打ち合わせを行った。放射線治療病室がある東病棟5階の一般病室が COVID-19 の専用病室になっており、放射線治療室の運用が停止していた。そのため、当院では特別措置病室を使用して運用することになった。特別措置病室で投与はできないため、投与は核医学検査室で行い、投与終了後、特別措置病室へ移動することにした。ただし、特別な措置を講じた病室に係る基準、管理・運用及び行動規範に関するマニュアルでは投与後何時間で移動すればよいか明確な時間の記載がない。そこで当院は、治験のデータと退出基準($18\mu\text{Sv/h}$)を考慮し、核医学検査室で可能な限り待機することにした。退出基準を満たしてから移動することで、特別措置病室の準備、運用、管理を行う必要がないことと病棟までの移

動中の公衆と医療従事者の被ばくを抑えることができるというメリットがあるためである。

しかし、核医学検査室で4時間から6時間ほど待機してもらう必要がある。そのため、少しでも快適に過ぎしてもらうようにTVとリクライニングソファの設備投資を行った。定期的なチーム内での打ち合わせによって、最終的にはFig.1に示すような運用方法とした。

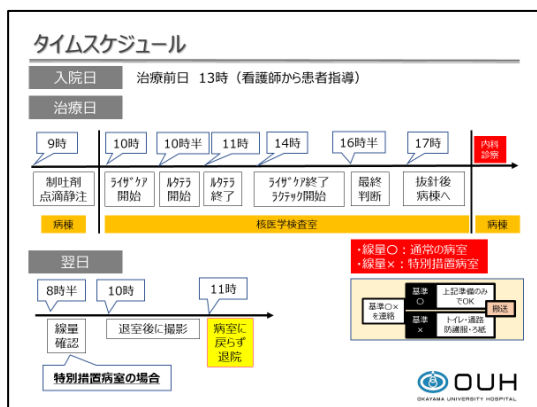


Fig.1 ルタテラの治療スケジュール

また、役割分担は、ライザケア、ルタテラの投与は医師が行っており、診療放射線技師が立ち会っている。副作用として吐き気、嘔吐などがあり、ルタテラ投与後の待機中に起こる場合が多い。当院では、今までに嘔吐が1例、吐き気が何例かあった。この場合は、主科の医師に連絡して、医師の指示を仰いで対応している。処置としては制吐剤の投与が主である。また、患者との連絡方法は、携帯型の呼び出しベルで対応している。

患者の待機中は、1時間おきに電離箱式サーベイメータを使用して体表面から1mの距離で測定を行っている。これは、退出基準を満たすまで投与から何時間後になるか把握するためである。その結果をFig.2に示す。

投与後経過時間	平均値±標準偏差	中央値 (最小値, 最大値)
3時間	18.82±2.62	18.50 (13.20, 23.00)
4時間	16.34±2.05	16.50 (14.00, 20.00)
5時間	14.91±2.62	14.00 (12.00, 19.50)
6時間	13.64±3.86	13.00 (11.00, 18.00)

Fig. 2 各時間による体表面から1mの距離における1cm線量当量率 (μ SV/h)

当院では、およそ投与してから、4時間後に退出基準を満たす結果となっている。

患者が退出した後は、GM式サーベイメータを使用して汚染がないか確認をしている。翌日に集積確認目的で、WBとSPECT/CT撮像を行っている。 ^{177}Lu は、113keVと208keVの γ 線を放出するため、イメージングが可能である。ただし、使用するコリメータやフォトピークの設定で画質が異なるため、注意が必要である (Fig.3)。

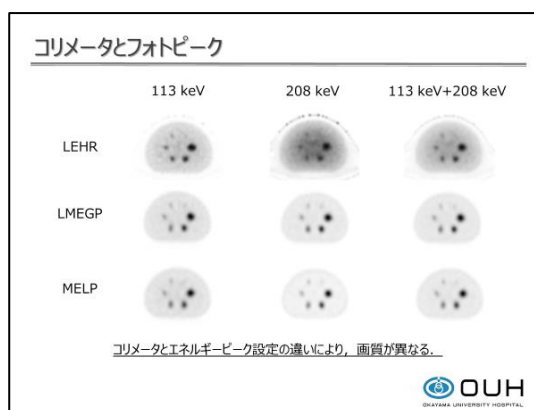


Fig.3 各コリメータとフォトピークの違いによるNEMA body phantomの画像

特に定量値を算出する場合は特に注意が必要だと考える。画質と定量値は、コリメータとフォトピークの設定の組み合わせで異なると予想されるため、詳細に検討する必要があると考える。

最後に、特別措置病室を使用すれば、放射線治療病室を有しない施設でも実施可能である。

そのため、各施設の状況に合わせた運用が可能である。ただし、運用には多職種との協力が必要である。

【座長集約】

高知大学医学部附属病院

林 直弥

本講演では、ルテチウムオキソドトロチド (^{177}Lu) を使用した神経内分泌腫瘍に対する内用療法に関して、準備から、実際の運用、イメージングに至るまで、多岐にわたりご説明いただいた。

特に、運用開始までの準備やトラブルへの対応に関しては非常に興味深く、これから当治療を開始する施設にとっては大変有用な内容であった。内用療法は、今後様々な薬剤の開発及び適用が進んでいくことが予測される。本講演で述べられた準備、運用およびイメージングへの経験や対応は、本治療にとどまらず、今後出てくる新たな治療薬への対応に向けても重要な内容であったと言える。

【新企画】

研究の着想から論文作成、採択に至るまでの紆余曲折

高知大学医学部附属病院

林 直弥

【要旨】

本企画では、研究の着想から論文投稿、採択へ至る過程において、自身の経験をもとに感じた点や苦労した点に関して講演した。

対象となる研究は、2021 年度に日本放射線技術学会雑誌に掲載された「骨 SPECT 頭頸部領域における画像再構成条件の最適化-phantom study-」日放技雑誌. 2021, 77(7): 700-710 であ

る。本研究では、Hot 球を設置した円柱ファントムに $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液を封入し、物理評価、視覚評価、定量評価によって最適な画像再構成条件を検証した。研究の詳細な内容は、掲載された論文にてご確認いただきたい。

【着想】

ある時期から口腔外科より骨シンチグラフィの依頼が徐々に増加していることに気づき、検査目的は骨吸収抑制薬関連顎骨壊死 (anti-resorptive agents-related osteonecrosis of the jaw: ARONJ) の評価とされていた。当初は、全身評価と同様のプロトコルにて収集を行っていたが、顎骨のみの評価ならば、それに適した収集条件や画像再構成条件が必要であると考えた。そこで、まず研究計画を行う前の事前調査として、疾患の特性や診療における骨シンチグラフィ検査の役割¹⁾、骨 SPECT 画像の有用性を評価した先行研究の調査を実施した。先行研究では、ARONJ の評価において骨 SPECT 画像や standardized uptake value (SUV) をはじめとした半定量値の有用性に関する報告は認められた²⁻⁵⁾が、画像再構成条件の評価や SUV の精度を検証した報告は認められなかった。よって、自身の研究には新規性が認められるものと判断し、研究計画を立てることとした。

【研究計画】

研究計画の作成は、研究の実施において最も重要な過程であると言える。研究計画に示す項目は、書籍を参考に①テーマ、②背景および目的、③方法、④予想される結果、⑤参考文献とした⁶⁾。テーマや背景および目的に関しては、着想時に概ね決定していたため、方法を決定するのに多くの時間を割いた。決定すべき

内容は、どのような評価モデルを作成し、どのような指標を用いて画質の評価を行うかである。これらは、Nakahara らの報告⁷⁾および骨 SPECT 撮像の標準化に関するガイドライン⁸⁾を参考に決定した。評価モデルは、前述の報告をもとにファントム封入放射能濃度および Hot 球と BG 領域の封入濃度比を決定した。画質の評価は、物理評価、視覚評価および定量評価とし、評価指標はガイドラインを参考に決定した。

【実験・解析】

実験は、あらかじめプレ実験を実施し、その後解析で用いるデータを取得するための撮像を実施した。プレ実験の目的は、あらかじめ封入放射能濃度と計数率のおおよその関係性を得るためである。解析は、画像再構成条件を変化させた iteration 14 通り×filter 5 通りの 70 通り（論文上は 42 通り）で実施した。解析処理は、画像の線形拡大、ROI の設置、カウントデータの整理等の同様の作業を 70 回繰り返す必要がある。本講演においては、この苦痛な時間を乗り越えるために自身が実施している手法を紹介した。

【論文作成】

論文は、緒言、方法、結果、考察の項目で作成される。初めて論文を作成する研究者にとって、各項において記述すべき内容を精査し、実際に論文作成へ踏み出すには大きな決意が必要であるものと推察される。論文作成への障壁を少しでも小さくすべく、自身が論文作成時に行った工夫や書籍にて得たおすすめの手法を紹介した。まず、自身が実施したのは、類似論文や読みやすいと感じた論文の書き方を模倣するという手法である。論文執筆にお

いて、先行文献の模倣は非常に有用な手法の一つである。ただし、本文をそのまま引用するのではなく、模倣すべきは論文の構成であることに注意していただきたい。また、論文において各項の構成を理解することが非常に重要である。例えば、緒言は[General], [Known]、[Unknown or Problem], [Research question]といった構成で書かれていることが多い。また、執筆の際に緒言と考察、方法と結果はセットにすることで読み手も理解しやすい内容となる。構成を意識し、書くべきことを整理することで、よりスムーズに執筆することができる。と考える。

執筆ののちには、投稿する前に論文投稿経験のある方へ内容を確認していただくことをお勧めする。他者が理解しやすい構成や文章となっているか、研究の結果と言及している知見が一致しているか等を予め確認していただくことが大切である。適切に構成された論文を投稿することは、査読者が研究の意図を理解するうえでも重要である。

【査読対応】

投稿後は、2度の「要修正」を経て、採択へと至った。投稿から採択へかかった期間は、7 カ月弱であり、採択から掲載までの期間は、3 カ月弱であった。日本放射線技術学会雑誌に投稿された場合、最初の審査結果はほぼ要修正である。査読への対応は一度心を静め、指摘事項に対して真摯に対応することが重要である。査読者からの指摘事項は、論文の質を向上させるためのアドバイスであり、適切に対応することで採択できるという裏返しでもある。また、指摘事項が論文の趣旨と合わない場合は、しっかりと反論することも重要である。

【まとめ】

論文掲載への道は、長く険しい道のりである。初学者においては、特に重要となる研究計画や論文執筆では他者に教を乞うことも大切となる。自身が時間を割いて研究し得られた結果を広く世間へ提示するのに、最も適した手法は論文投稿である。筆者自身も、先輩方にお力添えをいただき、なんとか採択へ至ることができた。小さいながらも、医療への貢献に繋がったものと考えている。

【参考文献】

1. 骨吸収抑制薬関連顎骨壊死の病態と管理：顎骨壊死検討委員会ポジションペーパー 2016.
2. Miyashita H, et al. Int J Oral Maxillofac Surg 2015; 44(9): 1106-1109.
3. Assaf AT, et al. J Craniomaxillofac Surg 2015; 43(8): 1461-1469.
4. Hata H, et al. Sci Rep 2020; 10(1): 11385.
5. Okui T, et al. Ann Nucl Med 2020; 34(9): 620-628.
6. 大西英雄. 標準核医学画像評価. 東京. オーム社, 2018.
7. Nakahara T, et al. EJNMMI Res 2017; 7(1): 53.
8. 三輪建太, 他. 核医技 2017; 37(4): 517-530.

【座長集約】

川崎医科大学総合医療センター
宮井 将宏

「論文掲載への道のり」と題して、どのように研究を行えばよいのか、またどのように論文を書けばよいのかを自身の経験をもとに講演いただいた。論文投稿から受理されるまでの苦労や工夫についても講演いただき、初学者

だけでなく中上級者にも非常に興味深い内容であった。

査読者からの修正コメントはアドバイスであるという「ポジティブ思考」や論文を投稿することにより「社会に貢献している」という言葉を胸に刻みながら、今後は研究活動や論文執筆をしていきたい。

【特別講演②】

SPECT 収集処理条件を再考してみませんか？

杏林大学

松友 紀和

はじめに

核医学画像の画質や定量性は、収集処理条件により大きく変化する。そのため、収集処理条件や処理過程に関する十分な理解と検証が必要である。スライド 1 に第 48 回核医学夢工房で実施したアンケート結果を示す。「自施設の条件がどのようにして決まったか知っていますか？」という問いに対して 3 割の方が「いいえ」と回答した。また、「いいえ」の理由として 9 割の方が「昔から決まっているプロトコルを使っているから」と回答していた。X線 CT 組み合わせ装置の登場や画像処理の高性能化、放射性医薬品の検定日当日入荷やモリブデン問題に伴うキット製剤から標識済製剤への移行など、核医学検査を取り巻く環境は刻々と変わってきており、従来から使用してきたプロトコルの適正を改めて検証する必要がある。

本講演では、連続回転収集と逐次近似画像再構成法の定量性に焦点を当て、基礎的な内容から臨床での使いどころやポイントについて述べる。

連続回転収集

SPECT 収集方法は Step & shoot (SS) 収集と連続回転収集 (Continuous) に大別される。SS 収集は検出器をサンプリング角度ごとに停止させてデータ収集を行う方法で、連続回転収集は検出器を一定の速度で回転させながらデータ収集を行う方法である。また、この2つを組み合わせた Step & shoot continuous 収集が臨床で使用され初めている¹⁾。これは検出器が移動と同時に撮像を開始して SS 収集を行う手法で、動いていた時に収集したカウントを前後のステップに振り分けるため、感度向上とそれに伴う画質改善が期待できる²⁾。しかし特定の装置に搭載された機能であり、通常は SS 収集または連続回転収集を選択して検査を行うことになる。

連続回転収集は SS 収集に比較して検出器の移動に伴う総撮像時間の延長がない。しかし、移動しながら収集を行うため、視野辺縁で生じるひずみが問題とされている。スライド 2 は連続回転収集と SS 収集についてステップ角度の影響をみたものである。連続回転収集 (上段) では、ステップ角度が大きくなるにしたがって視野辺縁のひずみが大きくなっていることがわかる。一方、このひずみは発生方向が異なるものの SS 収集でも生じており、収集方法の問題ではなく、ステップ角度の影響であることがわかる。したがって、適切なステップ角度を使用すれば連続回転収集の利便性は高く、積極的な使用が推奨される。連続回転収集の最大の利点は、360 度の回転を複数回繰り返して収集し、各投影データを加算して 1 つの投影データにする反復連続回転収集にある。反復連続回転収集は、1 回の収集で全方向の投影データが得られるため、体動や RI の時間変化に伴うアーチファクトを軽減でき、撮像を中断しても画像再

構成が可能である。しかし、1 回転当たりの収集時間によって画質が変化するため (スライド 3)、目的に応じた収集時間の設定が必要となる。スライド 4 に反復連続回転収集の使いどころの一例を提示する。頭部と体幹部で異なるものの、検査目的や患者にあわせて使い分けことが肝要である。しかし連続回転収集について、コリメータ開口補正 (空間分解能補正) の効果が SS 収集と異なると報告されており³⁾、特性を必ず検証して使用していただきたい (スライド 5-7)。

逐次近似画像再構成法の定量性

核医学検査には、収集カウントを相対的に表す「定性」と、なんらかの入力 (係数) を用いて絶対値 (定量値) として表現する「定量」がある。この定量値は画像 (画素値、カウント) に係数を乗じることで算出されるため、係数の算出方法のみならず画像の正確性も重要となる。核医学で主に用いられる逐次近似画像再構成法は、サブセット化期待値最大化法 (ordered subset expectation maximization, OSEM 法) で、優れたノイズ特性や測定系で起こる物理現象を補正できるなど多くの利点がある。そのため、体幹部 SPECT では OSEM 法が主流となっているが、脳血流 SPECT ではアンケート結果にもあるようにあまり使用されていない (スライド 8)。これは統計的脳機能解析に用いられるコントロールデータベースとのマッチングにも関連するが、OSEM 法の定量性が確立 (検証) されていないことも要因であると考えられる。

スライド 9 に FBP 法と OSEM 法による局所脳血流量 (rCBF) を示す。両法ともに減弱補正は Chang 法、散乱線補正は TEW 法を使用している。また OSEM 法の subset 数と

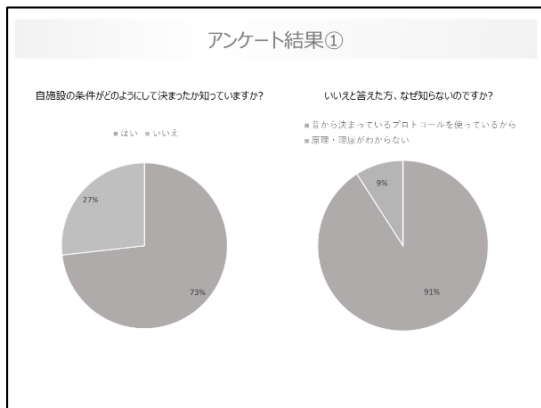
iteration 回数は、事前に行った実験で得られた最適値を使用した。両法で得られた rCBF の相関関係は良好で、誤差もほとんどないことがわかる。一方、OSEM 法に対して空間分解能補正と CT 減弱補正、補正組み込み散乱線補正を行った場合の rCBF をスライド 10 に示す。rCBF の相関関係は保たれているものの、前述した結果に比して誤差が大きくなっていることがわかる。このことから再構成条件を最適化した OSEM 法の定量精度は保たれているが、さまざま補正が変動を生んでいる要因であると推測される。しかし、減弱補正法である Chang 法は、頭蓋骨を考慮しておらず、また輪郭抽出の精度から小脳や頭頂葉での補正精度低下などが知られている^{4,5)}。また散乱線補正も従来の投影データに対して行う方法と逐次近似画像再構成に組み込む方法とで効果が異なってくると予想される。これまで用いられてきた方法がはたしてスタンダードなのか、新しい手法の正確性はどの程度なのか、核医学検査を担当する診療放射線技師として固定概念にとらわれず、新たなエビデンスを構築していかなければならないと考える。

まとめ

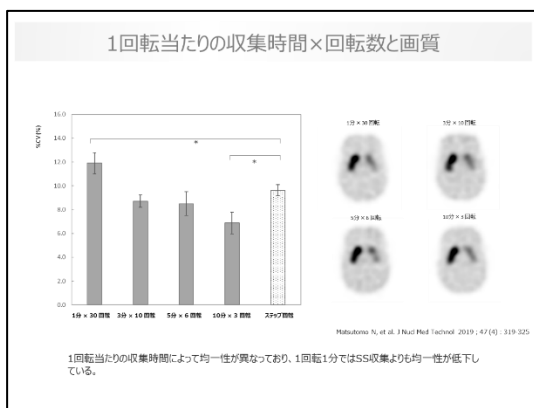
本講演では、連続回転収集と逐次近似画像再構成法の定量性に焦点を当て、データを交えながら解説を行った。核医学検査を始めたばかりの初級者や中級者にとって、収集や処理過程について再度考えをめぐらせ、核医学画像に対する理解をさらに深めていくきっかけとなれば幸いである。

参考文献

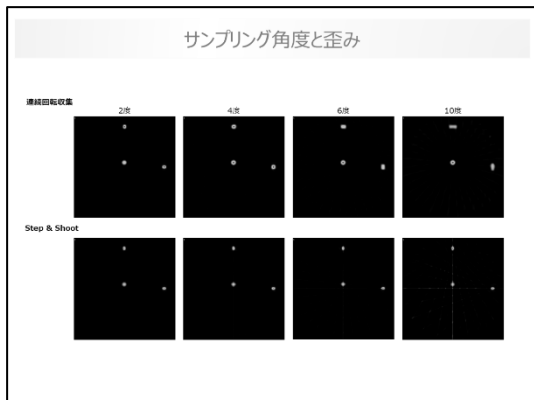
- 1) Thibault F, Bailly M, Le Rouzic G, Mettrard G. Clinical evaluation of General Electric new Swiftscan solution in bone scintigraphy on NaI-camera: a head to head comparison with Siemens Symbia. PloS one 2019; 14(9): e0222490.
- 2) Shibutani T, Onoguchi M, Naoi Y, et, al. The usefulness of SwiftScan technology for bone scintigraphy using a novel anthropomorphic phantom. Scientific Reports 2021; 11(1): 1-9.
- 3) 粟元恵実, 粟元伸一, 氷室和彦, 他. コリメータ開口補正 組込 OSEM 法における SPECT 収集ステップ角度の影響 —ステップ回転収集法と連続収集法の比較—. 日放技学誌 2020; 76(5): 491-499.
- 4) 岡田真美, 林万寿夫, 辻 久志, 他. コリメータ開口補正 OSEM 再構成法の局所脳血流量定量への応用. 日放技学誌 2012; 68(5): 573-583.
- 5) Shimosegawa E, Fujino K, Kato H, Hatazawa J. Quantitative CBF measurement using an integrated SPECT/CT system: validation of three-dimensional ordered-subset expectation maximization and CT-based attenuation correction by comparing with O-15 water PET. Annals of nuclear medicine, 2013; 27(9): 822-833.



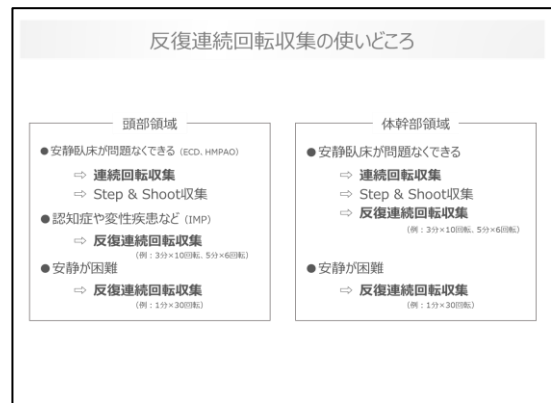
スライド 1



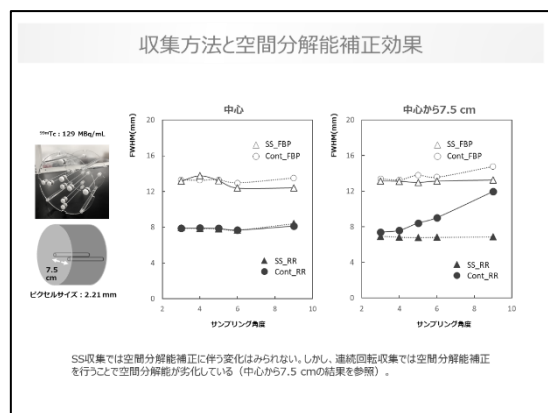
スライド 2



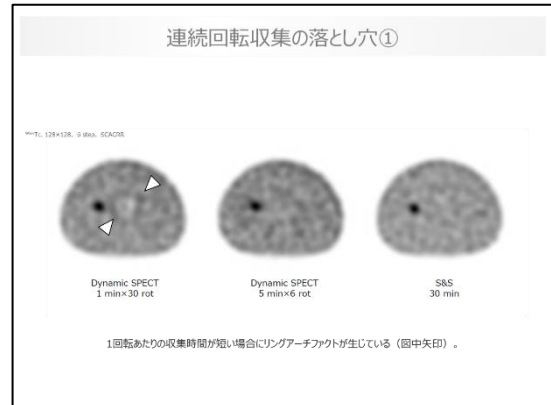
スライド 3



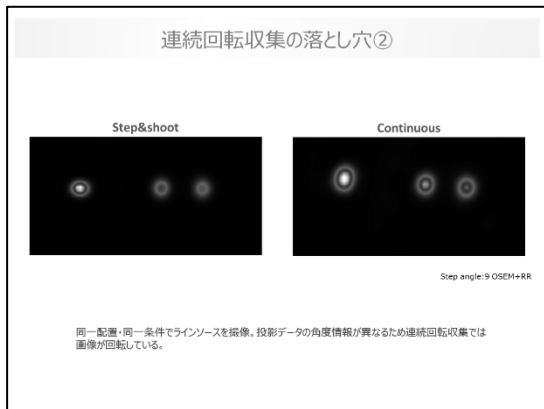
スライド 4



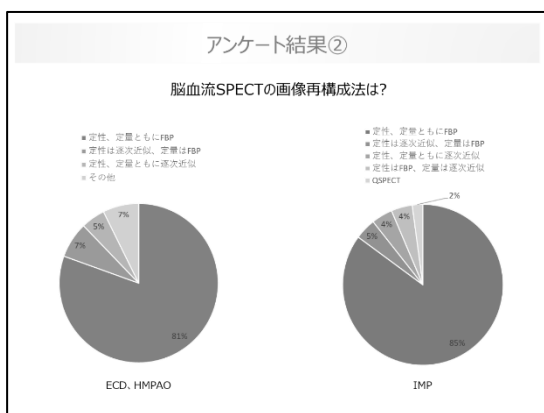
スライド 5



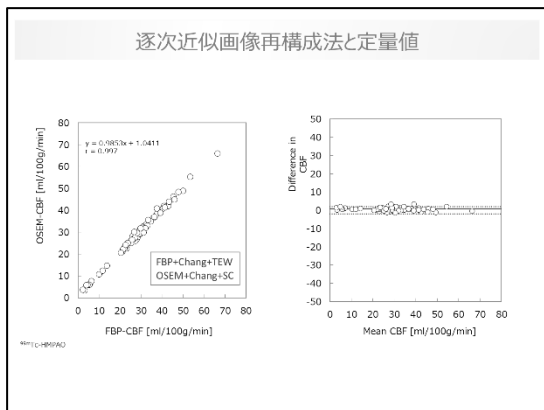
スライド 6



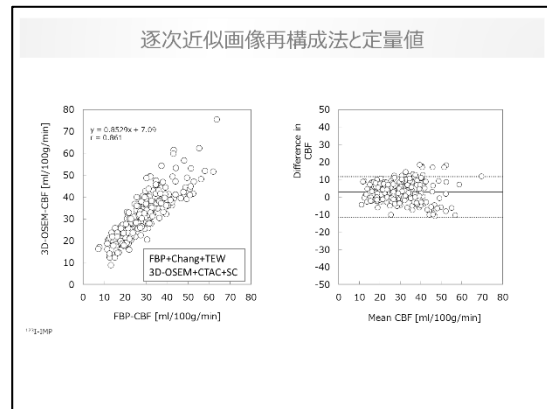
スライド 7



スライド 8



スライド 9



スライド 10

【座長集約】

山口大学医学部附属病院
甲谷 理温

本講演に先立って2014年に行ったアンケート調査と同様の内容を今回（2022年）も行い、比較を行いながら楽しくも内容の深い講演であった。

SPECT 収集処理条件は数多く存在する中であって、松友先生には、「連続回転収集法と逐次近似画像再構成の定量」に照準を定めてわかりやすく講演いただいた。放射線技師が扱う装置は、クリックすれば装置が収集を行い、画像出力が可能となっている。われわれは、それを当たり前と勘違いせず、その過程および原理を深く掘り下げ理解して使用する重要性をわかりやすく伝えていただいた。そこに対するアプローチ方法や視点についても納得させられる講演であった。本講演内容の主軸は、「患者に有益な検査を行う」という我々が最も大切にしている原点であった。今後、本講演を糧にして患者のための診療・研究に励んでまいりたい。