

【一般講演①】

「食道がんの術後リンパ瘻に対するリンパ管シンチグラフィが有用であった症例」

川崎医科大学総合医療センター
吉田 誠

全身のリンパ路は、軟部組織リンパ系、肝リンパ系、腸管リンパ系の三系統に分けられる。右上半身を除く左上半身および下肢軟部組織からのリンパ液および肝・腸管のリンパ液は、乳び槽に合流して胸管に流入し、さらに左上半身の軟部組織からのリンパ液と合流したのちに左静脈角から鎖骨下静脈に還流する。全身のリンパ液の 80% は胸管を通過し、その半分以上は肝および腸管リンパ系由来とされる¹⁾。

胸管周囲のリンパ路の形態的あるいは機能的な障害によりリンパ液が胸腔内に貯留した状態を乳び胸という。乳び胸は先天性、外傷性、中心静脈圧上昇性、腫瘍性などに分類される²⁾。本邦における乳び胸は、交通事故や胸部手術後の外傷性によるものがほとんどで、食道癌術後の乳び胸の発生頻度は 1.1～2.0% とまれな合併症である^{3, 4)}。

乳び胸の発生機序として、胸管の損傷や閉塞等による内圧上昇および染み出し、逆流防止弁の機能不全などが関与していると考えられている^{5, 6, 7)}。乳び胸の漏出部位の同定にはリンパ管造影が有用との報告が多いが^{8, 9)}、リンパ管シンチグラフィ検査を行うことで有用な所見が得られたとの報告もある¹⁰⁾。

リンパ管シンチグラフィ検査の適応疾患

として、リンパ浮腫または乳び胸が挙げられる。リンパ浮腫は主に下腿を対象とすることが多く、重症度評価、リンパ管の途絶部位の検索、血管性浮腫との鑑別が行われる。乳び胸ではリンパ液の漏出部位の同定が目的となる。このうち、現在保険適応とされるのはリンパ浮腫のみである。今回、食道がんの術後リンパ瘻による乳び胸の治療に際して、リンパ管シンチグラフィ検査が IVR 治療の方針決定の一助となった症例を経験したので報告させていただいた。

症例は 85 歳女性、食道がん (sT3N1M0 Stage III) に対して外科的切除が行われた患者である。手術前に撮影した PET/CT 画像を Fig. 1 に示す。

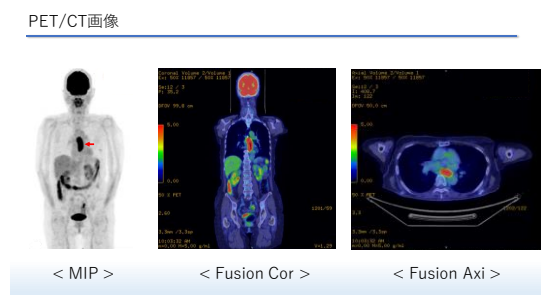


Fig. 1 術前の PET/CT 画像

手術の所見によると、気管分岐部から約 6 cm 尾側の腫瘍部分を切除する際に、腫瘍背側で胸管が巻き込まれており、やむを得ず胸管ごと切離し結紮したとのことであった。手術の 2 日後に、単純 X 線検査にて左胸水の貯留が認められ、胸腔ドレナージが施行された。ドレーンチューブから漿液性の排液が認められたため、胸管損傷による乳び胸と診断された。この時点でリンパ液

の漏出は2400 ml/日であった。数日後、IVRによる胸管造影および塞栓術が行われた。CTガイド下にて胸管へと直接穿刺し、リピオドールにてリンパ管造影を行ったところ、左主気管支背側を漏出点として食道抜去腔および左胸腔内への漏出を認めた。この漏出点に対して、ピシバニールによる硬化療法が施行された (Fig. 2)。なお、ピシニバールは通常は抗がん剤として使用される医薬品だが、塞栓物質としても利用されている。組織の炎症を引き起こすことで塞栓する作用があり、広範囲を塞栓する場合に有効となる。

IVR (胸管造影 + 塞栓術) 1回目

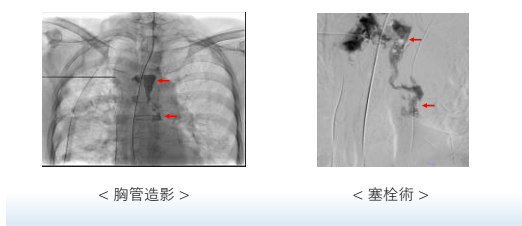


Fig. 2 胸管造影および塞栓術

さらに7日後の時点において、リンパ液の漏出は1500 ml/日と継続しており、再度IVRが行われた。前回と同様にCTガイド下にて胸管を直接穿刺し、リンパ管造影を行ったところ、わずかに左胸腔内への漏出を認めたため、ピシバニールによる追加塞栓が行われた (Fig. 3)。前回の塞栓後からリンパ液の漏出が続いていたため、他のリンパ管からの漏出が疑われたが、他の漏出点にははっきりしなかった。

IVR (胸管造影 + 塞栓術) 2回目

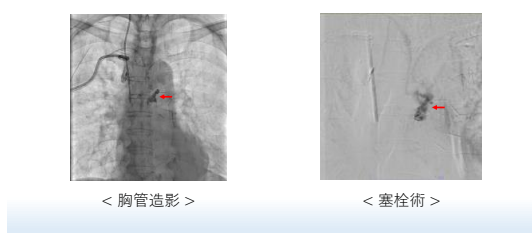


Fig. 3 胸管造影および塞栓術 (2回目)

さらに2日後の時点において、リンパ液の漏出は700 ml/日と続いていた。ここで、縦隔以外に漏出点がないかを確認し、次のIVRを行う際にどこから穿刺してリンパ管を探るかといった戦略を立てる目的でリンパ管シンチグラフィ検査が施行された。リンパ管シンチグラフィ検査の流れを Fig. 4 に示す。^{99m}Tc-HSAD を50 MBq/0.2 ml に調整し、左右の第1・2趾間の皮下に投与した。撮影方法や撮影のタイミングは確立されていないため、事前に依頼医と話し合い、胸部のリンパ漏出部位が最も観察しやすい撮影プロトコールとした。患者が寝たきりの状態であり、リンパの流れが滞留することが予測されたため、RI投与後は10分間下肢のマッサージを行った。

リンパ管シンチグラフィ検査の流れ

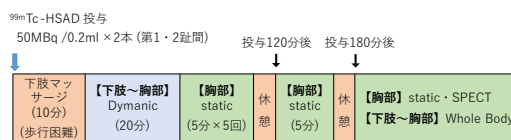


Fig. 4 撮影プロトコール

Dynamic 収集において、下腿から大腿へとリンパが流れていく様子が観察された

(Fig. 5). RI を投与して35分後の時点で胸部のリンパ管が描出され (Fig. 6), 2時間後および3時間後の Static 収集では, 左胸腔内へのリンパ液の漏出が確認された (Fig. 7).

Dynamic 画像

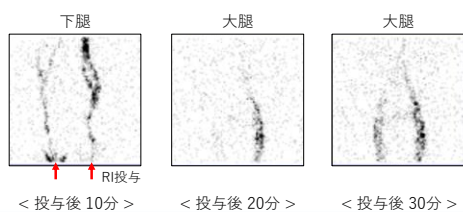


Fig. 5 Dynamic 収集の画像所見

Static 画像

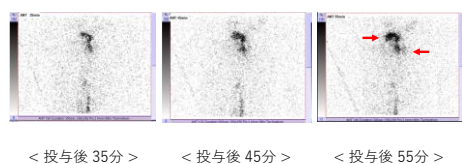


Fig. 6 Static 収集の画像所見

Static 画像

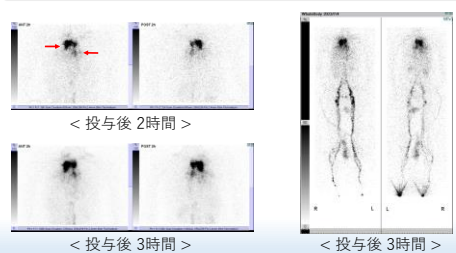


Fig. 7 Static 収集の画像所見

シンチグラフィ検査の所見として, 既知の縦隔周囲でリンパ液の漏出が認められ, リンパ管造影時と同様の所見であり, 縦隔以外には漏出点は認めないことが確認された. この結果を踏まえて, 次の IVR では縦

隔の漏出点へと繋がる細かいリンパ管を探る方針となった.

リンパ管シンチグラフィ検査の2日後に, 3回目の IVR が行われた. CT ガイド下にて数か所の細径リンパ管を穿刺し造影したが, 既知の漏出点へは流れなかった. 続いて横隔膜上の大動脈背側の小リンパ節を穿刺し造影しところ, リンパ管から食道抜去空への漏出を認めた (Fig. 8). このリンパ管に対してNBCAを用いて塞栓が行われた.

IVR (胸管造影+塞栓術) 3回目

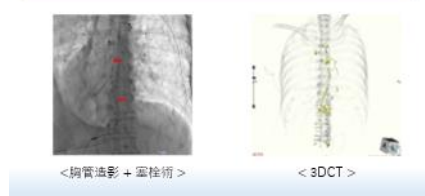


Fig. 8 胸管造影および塞栓術 (3 回目)

その後はリンパ液の漏出が次第に減少し, 7 日後にはドレーン抜去となり, その1か月後には退院となった.

胸管造影だけでは, 一度に広範囲のリンパ管を観察することは困難である. 本症例のようにシンチグラフィ検査を追加を行うことで, 治療方針を決定する際の一助となるといえる.

参考文献

- 1) Hsu MC, Itkin M : Lymphatic Anatomy. Tech Vasc Interv Radiol 2016 ; 19(4) : 247-254.
- 2) Tutor JD: Chylothorax in infants and children. Pediatrics 2014 ; 133(4) : 722-733.
- 3) 若桑隆二, 武藤輝一, 佐々木公一, 他. 食道癌切除後の乳糜胸併発症例の検討.

- 日本胸部外科学会雑誌 1983 ;
31(suppl) : 1734-1734.
- 4) 石田薫, 森昌造, 鈴木俊輔, 他. 食道癌切除後の乳糜胸 tetracycline と OK-432 による癒着療法. 日本消化器外科学会雑誌 1984 ; 17(8) : 1599-1602.
 - 5) Valentine VG , Raffin TA . The management of chylothorax. Chest 1992 ; 102 : 586-591.
 - 6) O'Callaghan AM , Mead GM . Chylothorax in lymphoma : Mechanisms and management. Ann Oncol 1995 ; 6 : 603-607.
 - 7) Strausser JL , Flye MW . Management of nontraumatic chylothorax . Ann Thorac Surg 1981 ; 31 : 520-526.
 - 8) 阿部直, 三浦総一郎, 綾部徳子, 他. 特発性乳糜胸. 呼吸と循環 1979 ; 27 : 605-61.
 - 9) 高田信和, 宮本又吉, 中原克彦, 他. 特発性乳び胸の 1 例. 日本胸部臨床 1990 ; 49 : 64-69.
 - 10) 伊東真哉, 高嶋義光, 佐野武尚, 他. 乳び胸を契機に発見されたびまん性悪性胸膜中皮腫の 1 例. 日本呼吸器学会雑誌 2001 ; 39 : 775-780.

【一般講演②】

脳血流シンチグラフィ～Twig-like MCA 疑いの症例～

島根大学医学部附属病院

日野 勇希

脳血流シンチグラフィは器質的障害に至っていない機能的障害の評価に有用であり、脳血管障害、認知症、てんかん焦点の検出、脳炎などの評価に用いられる検査である。また、アセタゾラミドを使用した負荷脳血流 SPECT は安静時および負荷時の脳血流を定量的に比較することで脳循環予備能の評価が可能である。

今回、Twig-like MCA 疑いの脳循環予備能評価のため、脳血流シンチグラフィを施行した症例を経験したので報告した。

症例は 15 歳男性、主訴は繰り返す眼前暗黒感であり、X-3 年より天気の変化に一致して右頭頂葉優位に頭痛があり、X-1 年より運動時の頭痛、X 年より自転車運転中に眼前暗黒感を繰り返すようになり、頭部 MRI による精査を行った。

MRA において右中大脳動脈(MCA)M1 の血流信号不明瞭で網目状の小血管を認め、Twig-like MCA 疑いの診断となり、脳血流・脳循環予備能評価のため、脳血流シンチグラフィを行った。

Twig-like MCA は中大脳動脈の形成不全と考えられ、MCA 本幹 (M1) に閉塞あるいは狭窄を認め、その領域に原始血管遺残の網状血管塊がみられる稀な疾患である。

Twig-like MCA¹⁾, Embryonic unfused MCA²⁾, aplastic or twig-like MCA(Ap/T-MCA)³⁾ など複数の呼称で報告されているが十分な解明がされていない。発症形式は出血によるものが最も多く、つ

いで虚血性、無症候性と続く。

異常血管網の脆弱性や異常血管網を有する半球にもたらされる血行力学的負荷などにより脳卒中の危険性が報告されている⁴⁾。本疾患は以下の特徴が指摘されている³⁾⁵⁾。
①M1 に限局する狭窄・閉塞病変。②基本的に片側性。③M1 に異常血管網を認める。
④M2 以遠や他の脳血管系は正常。⑤外頸動脈系からの側副血行はない。⑥病変の進行がみられない。

本症例においても MRI や造影 CT から、Twig-like MCA の特徴に矛盾しない結果であった(Fig.1)。

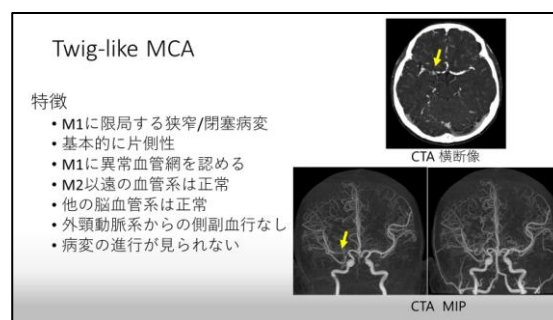


Fig.1 Twig-like MCA の特徴

脳血流シンチグラフィは ¹²³I-IMP を使用し、Dual Table ARG 法にて検査を行った (Fig.2)。

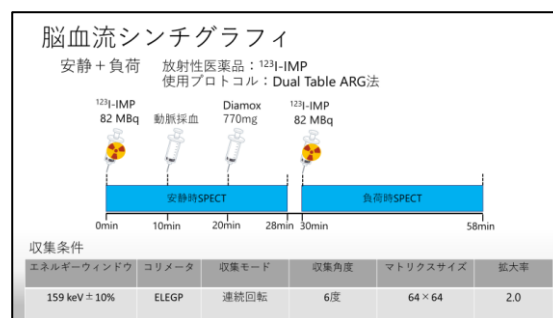


Fig.2 Dual Table ARG 法

安静時ではどの領域においても CBF の大きな左右差はみられなかったが、負荷時の MCA 領域において、左と比較して右の CBF 低下がみられた(Fig.3)。

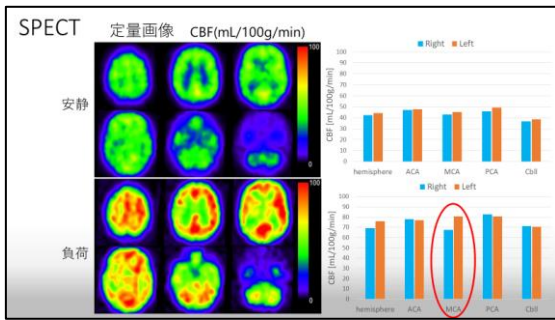


Fig.3 CBF 画像(安静+負荷)

脳血管予備能評価として用いられる see map から施設条件の CBF 基準値を 38 mL/100g/min として、どの領域においてもほとんどが Stage0 であり、MCA 領域において、Stage I が右 11.80%、左 1.30%、バイパス手術の適応となる Stage II は左右ともに 0.00%であった(Fig.4).

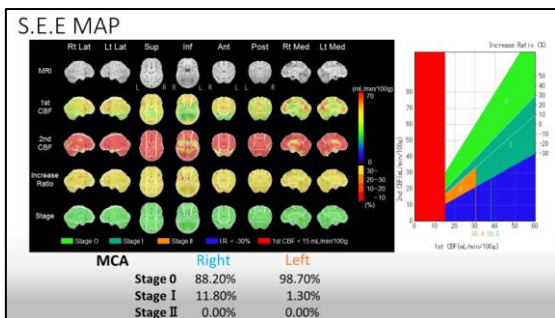


Fig.4 脳血管予備能評価

脳血管予備能は保たれており、バイパス手術の適応はなく、経過観察の方針となった。

しかし、約 8 か月後に左手の力が入らない症状を訴え、再度脳血流シンチグラフィによる血流評価を行うこととなった。

¹²³I-IMP を使用し、Graph Plot 法にて検査を行った(Fig.5).

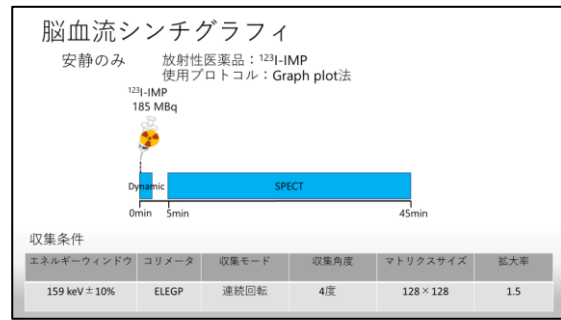


Fig.5 Graph plot 法

8 か月前の安静時検査の結果と同様に CBF の大きな左右差はなかった(Fig.6).

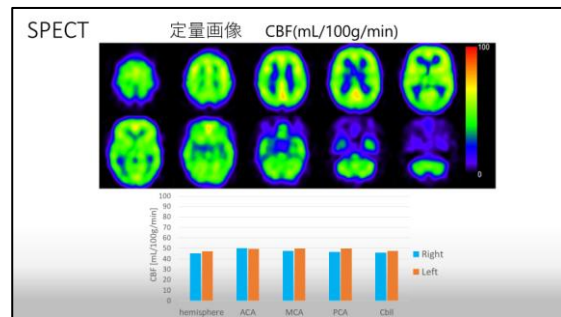


Fig.6 CBF 画像(安静)

今回、Twig-like MCA 疑いの脳血流シンチグラフィを経験し、本症例では CBF の大きな左右差はなく、脳血管予備能も保たれていることから経過観察の方針となった症例であった。

参考文献

- 1) Liu HM, Lai DM, Tu YK, et al: Aneurysms in twig-like middle cerebral artery. Cerebrovasc Dis 20: 1-5, 2005
- 2) Cekirge HS, Peynircioglu B, Saatici I: Endovascular treatment of an “anterior cerebral artery” aneurysm in a patient with “embryonic unfused middle cerebral artery” anomaly: a case report. Neuroradiology 47: 690-694, 2005
- 3) Seo BS, Lee YS, Lee HG, et al:

Clinical and radiological features of patients with aplastic or twiglike middle cerebral arteries.

Neurosurgery 70: 1472–1480; discussion 1480, 2012

- 4) 若林健一, 伊藤真史, 大多和賢登, 他: Twig-like middle cerebral artery-異常血管網の構造と無症候症例の脳卒中発症に関する考察-. Surgery for Cerebral Stroke50(5):357-364, 2022
- 5) 福田雄高, 松永裕希, 平山航輔, 他: Aplastic or twig-like middle cerebral artery の破格側副血行路起始部 (A1) に発生した破裂脳動脈瘤の 1 例. 脳卒中 40: 75-80, 2018

【一般講演③】

脳血流シンチグラフィ～マタステスト～

愛媛大学医学部附属病院

和田 悠吾

内頸動脈の一時的あるいは永続的閉塞を要する患者の手術・治療に際し、脳の虚血耐容能を術前に評価する試験をマタステストという。古くは、総頸動脈を用手的に圧迫する方法が用いられてきたが、最近ではバルーンカテーテルで脳血管を閉塞させ、血流遮断に伴う脳循環動態を多面的に評価する、バルーンマタステスト (BOT : balloon occlusion test) が行われている。適応疾患としては、脳動脈瘤、頭頸部腫瘍、内頸動脈狭窄症などがある。BOT の当院における評価方法は、脳虚血症状の発現の有無、他側からの造影撮影による側副血行路の評価、脳血流 SPECT による局所脳血流の定量評価の主に3つである。

BOT の流れとしては、まず血管撮影室にて、内頸動脈内にバルーンカテーテルを挿入し、閉塞を行う。そこで明らかな虚血症状が出現すれば、その時点でテスト終了とし再開通する。明らかな虚血症状が出なければ、他側より血管造影撮影を試行する。その後、検査の終盤に脳血流トレーサーを投与し、最低1～2分間遮断状態でトレーサーを循環させ、再開通させる。血管撮影室退室後、そのまま RI 室に向かい、撮像を行うという流れとなる。

BOT では、脳血流トレーサーとして^{99m}Tc-HMPAO と^{99m}Tc-ECD を用いる。これらの核種が BOT で用いられる理由として主に2つの特徴が挙げられる。1つ目は、初回循環摂取率に関しては¹²³I-IMP に劣るが、脳での集積定常化までが速く(1～2分)、

短時間で評価が可能であるという点である。内頸動脈を閉塞した状態をできるだけ早く解除するためにも、投与後1～2分の閉塞で検査できることは大変有効であると言える。2つ目は、長時間安定で、再分布はないという点である。バルーン閉塞解除終了後、そこから穿刺部を止血し、RI 室まで移動し、検査を行うとなるとしばらく時間がかかってしまうため、この特徴は BOT にとっても適している。しかし、2つの核種は投与可能な時間が異なり、^{99m}Tc-HMPAO は調整後30分以内、^{99m}Tc-ECD は調整後30分以降に使用しなければならないので調製のタイミングには注意が必要である。

RI 投与予定時刻に合わせ、放射線科医師とともに、RI 投与セット (Fig.1) を持ち、血管撮影室に向かい投与を行う。運搬する際は鉛台車を用い、核種・投与量・運搬時間等の記録も残しておく。

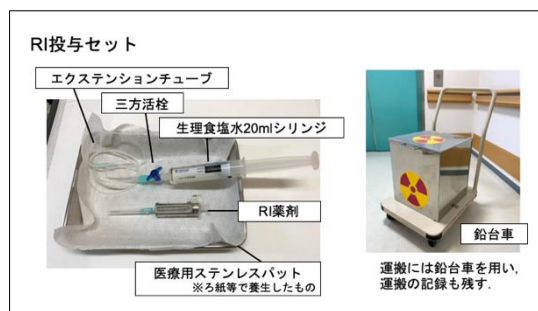


Fig.1 RI 投与セット

血管撮影室で RI を投与するためには、医療法施行規則 30 条の 14 や医政発 0315 第 4 号 厚生労働省医政局長通知等の法令に従って、適切な防護措置及び汚染防止措置を講ずる必要がある。汚染検査用器具として、GM 管式サーベイメータ・スミアろ紙、除染用器具として、アイソトープクリーナ

ー・拭き取り用資材・養生テープ・ろ紙・放射線廃棄物保管容器等を用意しておく。RI 投与時は、床をろ紙で養生し、そのろ紙の範囲内で薬剤投与を行う。投与終了後は、養生したろ紙を折りたたみ、操作室にて汚染検査を行う。もしそこで、汚染が発見された場合は、養生していたろ紙周囲の4箇所をスミア法で試料採取を行う。スミア法においても汚染が発見された場合、シート等を用いて床を養生し、汚染の拡大を防止するとともに、汚染の可能性のある旨を表示しなければならない。そして、検査が全て終了後にサーベイメータで汚染の範囲を確認し、除染を行う。

SPECT 装置は、Infinia (GE Healthcare 社製) を使用した。収集条件・再構成条件を Fig.2 に示す。収集時間は、30 分である。

＜収集条件＞	
Collimator	LEHR
Scan Mode	Continuous (Time per projection : 10 sec)
Sampling Angle	4°
Zoom	1.3
Matrix Size	128 × 128
Energy Window	140 ± 10% [keV]
Rotation Repeat	4
＜再構成条件＞	
Reconstruction	FBP
Filters	Butterworth (Critical Frequency : 0.5 Power factor : 10)
AC	Chang

Fig.2 収集条件・再構成条件

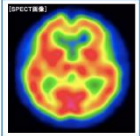
最後に、3 症例を示す (Fig.3-5)。症例 1 は BOT 陽性、症例 2 は BOT 陰性となった症例である。

症例① 70歳 女性 - 未破裂動脈瘤 (Lt.ICA C3) 径1cm程度

[BOT試行]
Lt.ICAをバルーン閉塞後、^{99m}Tc-HMPAOを投与。脳虚血症状はなし。

[Angio所見]
A-comを介した対側からの側副血行は良好。P-comを介した後方からの側副血行は認めず。

[SPECT所見]
血流に左右差はなし。



BOT陰性
虚血耐性あり

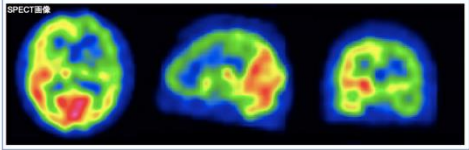
症例画像: 自撮例

Fig3. 症例 1 (BOT 陰性)

症例② 48歳 女性 - 未破裂動脈瘤 (Lt.ICA C1) 径3-4mm程度

[BOT試行]
Lt.ICAをバルーン閉塞直後に、rSO₂低下(左:61→45, 右:70→70)。すぐさま^{99m}Tc-ECDを投与。
運動性失語(発語なし)、右片麻痺も出現。 → **BOT陽性**
バルーン閉塞を解除(閉塞時間は、3分45秒)。虚血耐性なし
閉塞解除後は、速やかに神経症状回復。

[SPECT所見]
Lt.ACA, MCA領域の血流低下。
カウント比は、Lt.ACA領域は対側の79.5%、Lt.MCA領域は対側の79.7%。



症例画像: 自撮例

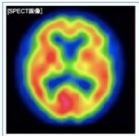
Fig4. 症例 2 (BOT 陽性)

また症例 3 は、バルーン閉塞し RI 投与後、すぐさまバルーン閉塞を解除せざるを得なかった症例である。

症例③ 88歳 女性 - 未破裂動脈瘤 (Rt.ICA C4) 径1cm程度

[BOT試行]
Rt.ICAをバルーン閉塞直後に、左片麻痺、偏視が出現。 → **BOT陽性**
すぐさま^{99m}Tc-ECDを投与。虚血耐性なし
RI投与終了後、すぐにバルーン閉塞を解除。閉塞解除後は、速やかに神経症状回復。

[SPECT所見]
血流に左右差はなし。
(虚血耐性なくすぐに閉塞を解除したため。)



紹介した症例は臨床症例の一部を紹介したもので、全ての症例が同様の結果を示すわけではありません。 症例画像: 自撮例

Fig5. 症例 3

BOT において、SPECT 検査は部位別の脳虚血を定量的に判定することができる。BOT で用いる脳血流トレーサーは、短時間で集積し、長時間安定で再分布のない ^{99m}Tc-HMPAO・^{99m}Tc-ECD が好まれる(投与後の閉塞時間は 1~2 分)。また、血管撮影室等の診療用放射線同位元素使用室以外で RI 投与を行う際は、汚染対策・養生を行い、汚染防止体制を整える必要がある。

参考文献

- 1) 清水宏明, 松本康史, 他. 血行再建術を用いた脳動脈瘤治療における Balloon test occlusion の有用性と問題点. Surg Cereb Stroke (Jpn) 34:317-322,2006
- 2) 緑川宏, 渋谷剛一, 他. ⁹⁹Tc-HMPAO SPECT 併用 Balloon Matas test. 青県病誌 第 38 巻 249-256
- 3) 中川原譲二, 武田利兵衛, 他. ⁹⁹Tc-HMPAO SPECT による Balloon Occlusion test 施行時の局所脳循環動態の評価について. 血管内手術法研究会 4:195-202,1987
- 4) 岩渕聡, 緒方登, 他. Balloon test occlusion での ⁹⁹Tc-HMPAO を用いた SPECT の有用性と問題点について. Jpn J Neurosurg (Tokyo) 4:138-144, 1995

【一般講演④】

「ついに始まる婦人科センチネルリンパ節シンチグラフィ」

広島大学病院 診療支援部 画像診断部門

荒田 大介

2023年よりフチン酸の添付文章に婦人科領域の悪性腫瘍(子宮頸がん、子宮体癌、外陰癌)が新たに加わった。これにより婦人科領域のセンチネルリンパ節の同定にもフチン酸を用いたRI法が保険適応で施行可能となった。

フチン酸ナトリウム 添付文章抜粋

癌種	投与部位	投与量
乳癌、悪性黒色腫、外陰癌	腫瘍近傍の皮下又は皮内	18.5～111MBq
子宮頸癌	子宮腔部又は腫瘍近傍の粘膜下	38～111MBq
子宮体癌	子宮腔部の粘膜下又は腫瘍近傍の子宮内膜下	38～111MBq
頭頸部癌(甲状腺癌を除く)	腫瘍近傍の粘膜下	18.5～111MBq

2024年7月の段階で、婦人科癌の手術時におけるリンパ郭清省略は、保険適応となっておらず、センチネルナビゲーション手術(以下、SNNSと略す)におけるリンパ節郭清の省略には各施設の倫理委員会の承認が必要である。広島大学病院は子宮頸がんにおける倫理委員会の承認を得て2024年7月よりSNNSを行う事となった。これによりRI法による婦人科領域のセンチネルリンパ節の同定が必要となり、文献や先行施設の情報を参考に準備を行ったので報告する。

【前処置や事前準備】

- ・ 絶食について
 - 絶食は不要、昼食を摂取後にRI検査室に来棟する
- ・ 鎮静剤投与等について
 - 基本的に鎮静、鎮痛剤の投与は予定していない。患者の状態により投与する場合は、病棟は事前処方とルート確保、処方薬の持参で対応、RI検査室は鎮静前のリスク判断、モニタリングと鎮静評価
- ・ 更衣について
 - 基本的にRI検査室で検査着に更衣、検査終了後に更衣し病棟に戻る
- ・ 必要物品
- ・ 滅菌器材:クスコ、鑷子(各1本)
- ・ 衛生材料:穿刺針、コネクター、注射器、手袋
 - 上記必要物品一式を4階東病棟で準備し当日持参、使用後は線量計で線量チェック後に返却する
- ・ 診療科医師のガラスバッジ

- 7月はテンポラリーの線量計を使用、8月以降は担当医がガラスバッジ取得し対応する
- ・ 注射時の体位、その他
 - 処置台を高さ調節が出来るものに変更予定、両下肢の位置調整はRI検査室の椅子等を使用、
 - ライトはI外来の外科処置室のものものの借用を調整中

【注射】

子宮頸がんにおける注射箇所はNCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®)から、2-4カ所法でのテクネフチン酸キットの注射であったので、本院では子宮腔部の3時、9時方向に投与する予定としている。投与量としては、1カ所当たり0.5mlで、1mCiとした。臨床を行いながら適時見直していく予定である。注射時の体位は、椅子やタオルを使用して両下肢開大させる。拡大鏡(コルポスコープ)を用いて子宮頸部を拡大し、背後からライトを当てて注射する。注射時には看護師が付き添い、産婦人科医師が注射する。

【検査】

注射後2時間を目安に骨盤部をSPECT/CT撮像を行う。コリメーターはMEGPまたはELEGPの使用を検討している。

【一般講演⑤】

I-123 MIBG 心筋シンチグラフィおよび F-18 FDG PET/CT で経験した稀な 2 症例

徳島大学病院 放射線部

阿實 翔太

症例 1：先天性無痛無汗症に対して施行した MIBG 心筋シンチグラフィ

症例は 30 歳代男性で、幼少期より知らないうちに繰り返す足背・足趾の傷と同部位に一致した痛覚の低下や感覚の異常を認めた。身体所見として、手足の指に切り傷や変形があり、感覚や反射の低下が認められた。先天性無痛無汗症疑いとなり MIBG 心筋シンチグラフィが施行された。早期相では H/M 比が 1.56、後期相では 1.42 と集積の低下が認められ、washout も 37.6%と洗い出しの亢進も認められ自律神経の障害が疑われた（図 1）。

先天性無痛無汗症は遺伝性感覚自立神経性ニューロパチーIV型に相当し、難病に指定される遺伝性疾患で、日本における患者数は 130 から 210 例程度である。診断において画像診断が用いられることも少ないが、自律神経機能の低下を示す MIBG 心筋シンチグラフィは診断の一助になると考えられた。

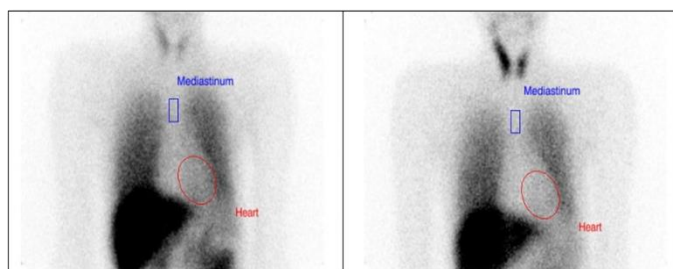


図 1：¹²³I MIBG 早期相（左）及び後期相（右）



図 2：¹⁸F-FDG PET MIP 像におけるリング状集積（赤矢印）

症例 2：FDG PET/CT にて偶発的に発見

され診断に至った腋窩動脈瘤の一例

症例は 50 歳代男性で、右鼻腔癌にて腫瘍摘出術及び IMRT を施行された。右鼻腔癌の再発の有無の評価目的に FDG PET/CT が施行され、全身の MIP 像にて右腋窩部にリング状の集積を認め、腋窩動脈瘤が最も疑われた（図 2）。PET/CT での診断によって心臓血管外科にコンサルトされ造影 CT が施行され、右腋窩動脈に短径 17 mm 大の動脈瘤を認めた。また、動脈瘤の外側部を中心に壁在血栓のような変化も認められた。最終的には血管造影を施行し、ステントグラフトが留置された。

破裂した大動脈瘤壁には好中球・マクロファージや、炎症性サイトカインの増加が認められる。FDG PET/CT 検査はそれらの炎症所見を検出して大動脈瘤の拡大・破裂を予測するのに有用との報告がある。本症例は瘤の壁に沿うような集積を認めており、必ずしも低リスクとはいえない動脈瘤と考えられた。今回、FDG PET/CT にて偶発的に動脈瘤を発見でき、ステントグラフトを留置することで動脈瘤の破裂を未然に防ぐことができた可能性がある。

【教えて！核医学あるあるネタ①】

「SPECT 検査における適切なコリメータの選択」

香川大学医学部附属病院 医療技術部 放射線部門
植原 佑輔

【はじめに】

核医学初学者が陥りがちな pitfall (核医学あるある) のうち、SPECT 検査に欠かせない要素であるコリメータに関する「あるある」を報告し、注意喚起とする。

【コリメータの目的】

SPECT 検査におけるコリメータは、ガンマ線の検出器への入射方向を制御する(指向性を持たせる)ために使用されている。また一般的にはガンマ線の阻止能が高い鉛で作成され、ガンマ線の進行方向に沿って小さな六角形の孔が開けられている。孔の厚さや大きさによっていくつかの種類に分類され、使用する核種や検査の目的に応じてコリメータを使い分けている。

【コリメータの種類】

前述したように、コリメータはその形状や対象とするガンマ線のエネルギー、また感度と分解能のいずれを重視するかによって異なる種類が用いられている。以下に代表的なものを示す。

①形状

平行多孔型, ダイバージング型, コンバージング型など

②エネルギー

低エネルギー用 (LE), 低中エネルギー用 (LME), 高エネルギー用 (HE)など

③分解能・感度

高分解能型 (HR), 汎用型 (GP), 高感度型 (HS)など

【あるある】

SPECT の検査を実施する前に適切なコリメータが選択されているか確認・交換する必要がある。しかし、検査が立て込んでいて時間的・精神的に余裕がない場合にはコリメータの交換を忘れてしまい不適当なコリメータを装着したまま検査を実施してしまうことが(特に検査に慣れていない核医学初学者には)あるあると思われる。



【実際の事例】

^{99m}Tc 製剤を用いた骨シンチ撮影時に、本来は LEHR コリメータを使用しなければいけないところを直前の検査で使用していた LMEGP コリメータのまま検査を開始してしまった。Whole Body 撮影後に画像の違和感に気づき、LEHR に交換したのち改めて撮影を実施した。

LMEGP と LEHR では前者の方が空間分解能は低いため、誤ったコリメータを使用することで診断能の低下につながる恐れがある。

【まとめ】

コリメータの違いにより、画質は大きく変わる。また収集カウントにも影響を与えるため、定量検査の場合には得られる定量値が変わってしまう。再撮影が可能な検査ではリカバリー可能だが Dynamic 検査など一旦撮影を始めてしまうと取り返しがつかない場合も多々あるため注意しなければならない。

検査プロトコルごとに使用するコリメータを登録し、誤ったコリメータが装着されている場合にはエラーメッセージが出るなど人為的なミスを事前に防ぐことのできるシステムが搭載されている装置も存在するが、いずれにせよ**検査の前には必ず適切なコリメータが選択されていることを確認**することが確実な検査を実施する上で重要であるといえる。

【教えて！核医学あるあるネタ②】

私の経験した核医学あるある

徳島大学病院 放射線部

高志 智

核医学あるある ～汚染～

核医学検査は「検査、患者対応、放射性医薬品調剤、被ばく管理」などなど多岐にわたる。核医学検査でみんなが経験する事となると「汚染」であると考えている。

私が経験した汚染を、下記に記す。

1. 放射性医薬品が手につく。
2. 調剤中、バイアル内が陽圧になってしまい薬剤が噴き出す。
3. 薬剤投与時、チューブから薬剤がこぼれる。
4. 患者の血液や尿などを触れてしまった汚染。

これらの汚染を最小限に抑え、起こらないようにする対策を以下のように考えた。

汚染対策

1. 放射線医薬品が手につく対策：「必ず手袋をする」ことが有効と考えます。ちょっと針をつけるだけとか、ちょっと測るだけだからといって手袋をつけずに作業していませんか？いちいちつけるのは面倒でアルが、必ず手袋をする対策をしましょう。
2. バイアルから噴き出しの対策：講習等の教育とコールド操作での実践が対策ではないでしょうか？慣れているから大丈夫とか、簡単な作業だからと思ってやっていませんか？事前に作業工程をチェックすれば、やってしまいがちなミスを防ぐ対策になる。
3. 薬剤投与時こぼれる対策：投与時注射器の下に使い捨てのディッシュ等を敷いておくといいのではと考えます。「こぼさないようにコネクションしてます」と言った矢先にこぼされてしまう事ありませんか？一枚ディッシュを置くだけで汚染対策になるので、面倒くさがらず準備して対策しましょう。
4. 患者の血液や尿などを触れてしまった汚染の対策：患者の血液や尿などの汚染に対してはあらかじめ給水シートを敷いておくといいのではと考えます。動脈採血時や高齢の患者さんの時、一枚給水シートしっくだけです。ディッシュと同じで面倒くさがらないのが大事かと思います。

まとめ

軽微な汚染は誰しも経験すると思いますが、よくあること軽視せず前もって対策、改善する事が重要です。こうした小さな積み重ねで、大規模な汚染事故等を防ぐことができ、患者・医療従事者にとっても安全な核医学検査を提供できればと考えます。

【教えて！核医学あるあるネタ③】

「こどもの検査、こまっています。」

山口大学医学部附属病院 放射線部
安野成美

【はじめに】

当院では、小児や乳幼児といった「こども」の核医学検査を時折実施するが、大人の検査と同じようにはいかない事が多々ある。日頃の業務で「こども」の核医学検査について困ったこと、悩んだことを『あるある』として報告する。

【こどもの核医学検査について】

2013年に公表、2020年に改訂された「小児核医学検査適正施行のコンセンサスガイドライン」では、放射性医薬品の適正な投与量を順守しつつ、臓器の吸収線量や鎮静時間を抑えられるように、小児に適した投与量の算出方法や撮影技術などが記載されている。

しかし、このガイドラインに沿った「こども」の核医学検査では画質が劣化しやすく、特に乳幼児の画像はボソボソになりがちである。

【こどもの核医学検査で困ること、悩むこと】

① 大人に比べて放射性医薬品の投与量が少ない

「小児核医学検査適正施行のコンセンサスガイドライン」に沿って、「こども」の投与量は体重を用いて計算・調整される。これによって大人より放射性医薬品の投与量が少なくなり、画像がボソボソになりやすくなる。

② むやみに撮像時間を延ばせない

「こども」特に乳幼児の核医学検査では、体動を抑えるために鎮静を行うことがある。また、長時間の撮像中に安静にしているのに耐えられず、途中で動いてしまう状況も考えられる。投与量が少ない一方で、撮像時間を延ばすことは現実的ではない。

③ 画像再構成について

例えば、撮像時間を短くするなど、通常の撮像プロトコルを変更して「こども」の撮像を行った場合、画像再構成のフィルタや周波数は変更するべきか。あるいは変更しても問題はないか。

*実際に当院では、投与量の調整を行った「こども」の核医学検査を行う場合、撮像時間の短縮や画像再構成フィルタや周波数の変更を行うことがある。

【まとめ】

「こども」の核医学検査では、体格(体重)に合わせて放射性医薬品の投与量を調整し、臓器の吸収線量を抑えることが重要になる。一方で、投与量の減少や撮像時間の短縮によって画像がボソボソになりやすい。適切な投与量を順守しながら、撮像方法や画像再構成フィルタを工夫して画像所見への影響を少なくする必要がある。

【教えて！核医学あるあるネタ④】

「キュリーメータのあれこれ」

愛媛大学医学部附属病院

根津 翔吾

キュリーメータは常圧空気電離箱式と加圧ガス封入電離箱式の2つに分けられる。前者は検出器に待機中の空気が用いられており、気温や気圧に対して補正が必要となる。一方、後者は検出器にアルゴン等が用いられており、常に一定量の空気が封入されているため、気温、気圧の補正が必要ない。現在は後者が主流である。

使用方法や手順は以下の通りを行う (Fig.1).

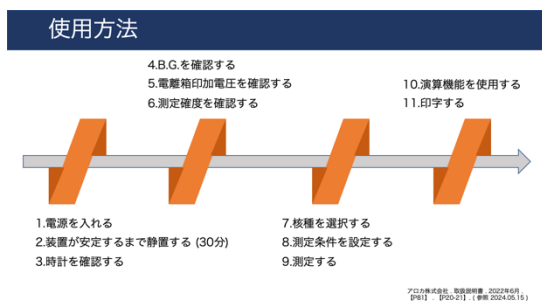


Fig. 1 使用方法

始業点検や終業点検などの日常点検は以下の通りを行う (Fig.2).

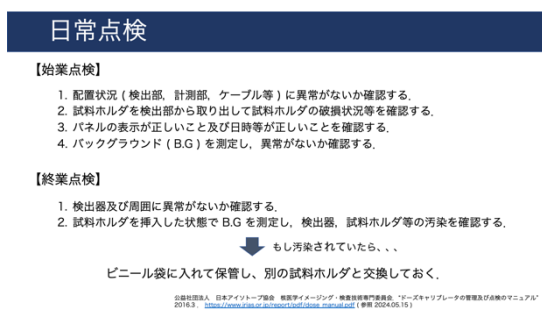


Fig. 2 日常点検について

測定する際に検出部に液体(線源溶液)をこぼしてしまった場合、まず装置の電源を落とし、試料ホルダを取り出し、汚染防止用保護筒を取り出す。この時、液体がウェル内に直接垂れないように注意する。汚染防

止用保護筒についての液体を拭き取り、洗浄した後、乾燥させる。

確認校正は以下の方法で行う (Fig.3).

確認校正はどんなことをしているの？

1. 動作確認を行い、測定可能な状態にする。
2. 試料ホルダの異常がないかを確認する。
3. バックグラウンドを測定する。
4. 核種選択スイッチで ^{137}Cs を選択する。 \leq
5. ^{137}Cs 放射能標準線源を測定する。
6. 指示値からバックグラウンドを差し引いた値を X とし、X と ^{137}Cs 放射能標準線源の測定時の放射能 A からレスポンス R ($R=X/A$) を求める。

変動幅は一般的には2%程度が推奨される。

公益社団法人 日本アイソトープ協会、取扱説明書、2022年刊
2016.3. <http://www.jisoc.or.jp/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/20160301.pdf> (発行 2024.05.15)

Fig. 3 確認校正

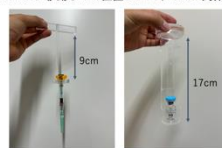
銅フィルタは低エネルギー X 線をカットするために用いられている。銅の欠点として錆びやすいことが挙げられる。この錆は温かいお湯につけ、洗い、柔らかいタオルなどで拭き、しっかり乾燥させることで取り除くことができる。

幾何学的影響の上下方向における位置依存性はウェル内のサンプルホルダのシリンジ位置 ($h=9$) を基準とすると、シリンジ位置からバイアル位置である 8~17cm の範囲であれば指示値の誤差は 0.7% 以内であった (Fig.4).

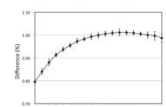
位置依存性

幾何学的影響の上下方向の測定位置依存性

ウェル内のサンプルホルダのシリンジ位置 ($h=9$) を基準として、ウェル内に上下方向に 1cm ごとに移動させて位置とレスポンスの関係を測定。



使用機器：CRC-25PET(CAPINTEC社)



シリンジ位置からバイアル位置である 8~17cm の範囲であれば、指示値の誤差は 0.7% 以内であった。

公益社団法人 日本アイソトープ協会、取扱説明書、2013年刊
2013.3.33.741

Fig. 4 位置依存性について

参考文献

- 1) アロカ株式会社。取扱説明書。2022年。81, 20-21.
- 2) 公益社団法人 日本アイソトープ協会

核医学イメージング・検査技術専門委員会. ドーズキャリブレーションの管理及び点検のマニュアル. 2016.

https://www.jrias.or.jp/report/pdf/dose_manual.pdf (2024.06.15)

3) 宮司典明, 三輪建太, 我妻慧, 他. トレーサブル $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 線源を PET 用ドーズキャリブレーションの制度管理. 日本放射線技術学会雑誌. 2013. 333. 741

【教えて！核医学あるあるネタ⑤】

核医学初心者あるある

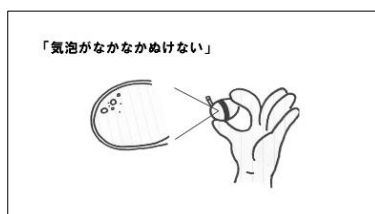
鳥取大学医学部附属病院 放射線部

大原 桃子

私が本学術大会で依頼されたテーマは「核医学初心者あるある」であったが、新人の私は核医学業務を行っていない。そこでテーマを「核医学初心者“実験”あるある」に若干変更し、初心者が感じた核医学実験についてのあるあるを報告する。



まず最初のあるあるは「繊細な作業が難しい」ことである。核医学実験といえばファントム作成であるが、初心者でしかも普段使い慣れていない器具を使い繊細なファントム作成を行うことはかなり難しかった。



ファントムの「気泡がなかなかぬけない」のもあるあるである。繊細な作業と同様に気泡の除去も難しく初心者にはかなりてこずる作業であった。



ファントム作りに気を取られるあまり、周辺が「ごちゃごちゃしがち」なのもある

あるである。トレイやろ紙を使って区域を分けて実験を行っていたにもかかわらず、どの器具が使用済みかどうかなど、意識していてもごちゃごちゃしがちであった。

初心者の私にとっては想像よりも完成した「ファントムが重たい」のもあるあるであった。加えて汚染防止のためビニール等で保護してあるため滑って落としそうになるのも初心者あるあるである。

当然といえば当然だが「装置の汚染はダメ！絶対」である。エプロンや手袋を替えることはあたりまえとして、装置にもろ紙やビニールを敷く等の汚染対策が必要であるし、臨床業務に影響しないように注意して実験を行わなければならないのもあるあるである。

他にも、放射性医薬品の減衰を考えて実験計画をたてることや、実験結果をまとめるのが大変なこと、アプリや装置の使い方が良くわからないこと、使用済みファント



ムの減衰保管場所の確保、実験がうまくいかず時間をかけすぎてしまうことなど、あるあると感じることは数多くあった。

今回「核医学初心者“実験”あるある」を報告した。この経験を胸に刻み今後の業務に生かせればと考えている。発表の機会を頂きましてありがとうございました。

【教えて！核医学あるあるネタ⑥】

「核医学検査の血管外漏出にもほどがある」

川崎医科大学附属病院 中央放射線部

阿部 俊憲

核医学検査は、放射性医薬品を体内に投与して目的とする臓器の機能や代謝情報を画像化・数値化することができる。放射性医薬品の投与経路には、経口・静脈内・吸入とあるが、最も多いのは静脈内投与である。その経静脈に投与した際、なんらかの原因で血管外漏出が発生することがある。

今回、1回の検査にて安静時と負荷時の撮像を行い、脳血流定量画像および脳循環予備能を評価できる『QSPECT DTARG 法』の血管外漏出について報告した。当院の検査プロトコルでは、Acetazolamide (Diamox)負荷を含めて3回の経静脈に投与を行う(Fig.1)。

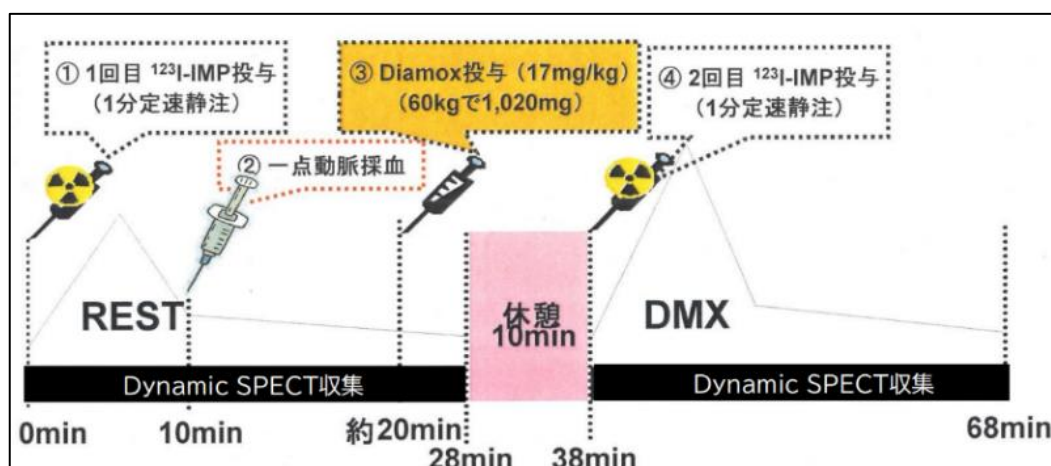
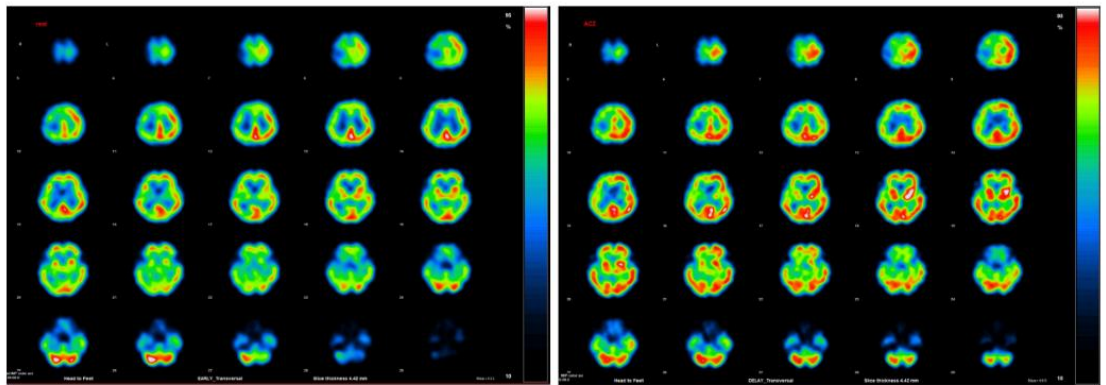


Fig.1 QSPECT DTARG 法 検査プロトコル

【症例】

患者は80代女性、右内頸動脈狭窄症の術前評価目的に ^{123}I -IMP脳血流負荷定量検査(QSPECT DTARG法)を施行した。定性画像では、ACZ負荷後で左右差が明瞭であることを確認した(Fig.2)。一方、QSPECT DTARG法脳血流定量化プログラムでは、負荷時のデータのカウンと安静時データのカウン比が、1.6倍で、負荷時のカウンが通常2.5倍より低値を示した(Fig.3)。また、ACZ負荷時脳血流定量画像では、明らかに ^{123}I -IMPが投与されていないことが確認できた(Fig.4)。



安静時画像

Acetazolamide(ACZ)負荷画像

Fig.2 QSPECT DTARG 法 定性画像

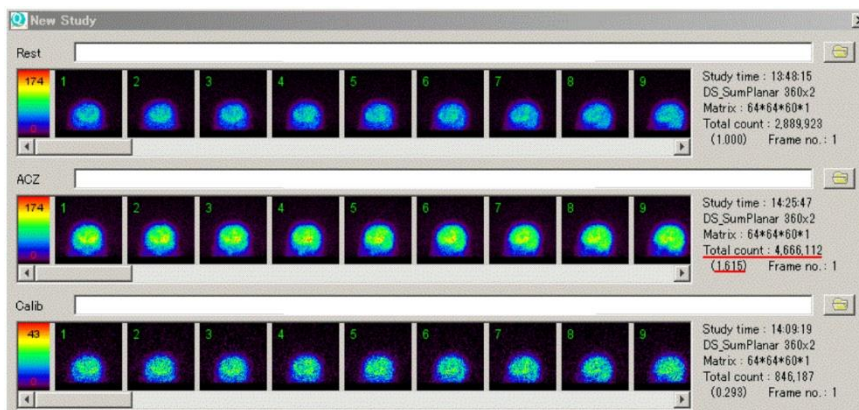
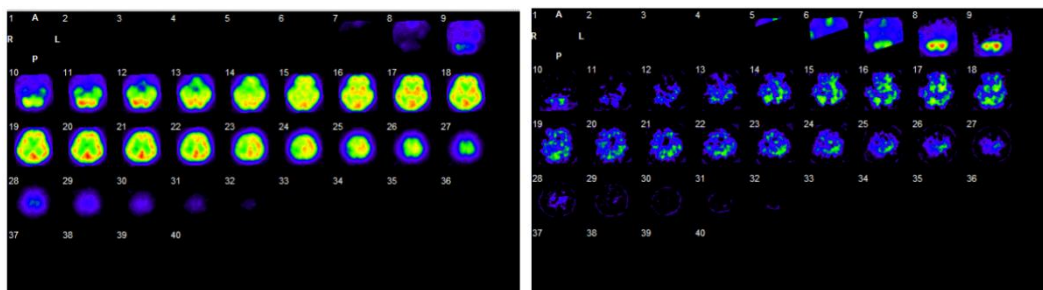


Fig.3 QSPECT DTARG 法 脳血流定量化プログラム



安静時脳血流定量化画像

ACZ負荷時脳血流定量化画像

Fig.4 QSPECT DTARG 法 定量画像

【原因】

Acetazolamide (Diamox)は、脳梗塞、もやもや病等の患者に脳循環予備能の検査目的で使用されるが、利尿作用がある。患者はACZ 負荷を行った際、検査中に尿意が強くなり休憩時に排尿のために移動を行った。今回、移動による動作で静脈確保が出来ていない状況となっていた。また、負荷時の¹²³I-IMP 投与時には血液の逆流の確認を行わなかったため、血管外漏出が発生した(Fig.5)。

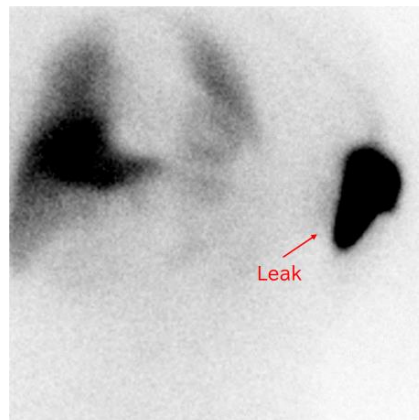


Fig.5 注射部位の画像

【対策】

- 静脈内に注射するために確実に注入できる静脈路を確保
- 血液の逆流の確認
- 点滴を使用する際には滴下の確認

【まとめ】

放射性医薬品の血管外漏出は、画像や定量値に及ぼすため、投与時には血液の逆流を確認するなどの対策を行い、血管外漏出を起こさないことである。

【教えて！核医学あるあるネタ⑦】

「PET 検査、待機患者監視の心得」

高知医療センター 核医学検査科
岡崎 敬介

PET 検査は患者が検査室来室から検査終了まで約3時間と長時間に渡って拘束される検査であり、その特性上、患者単独で待機室で待つ時間が検査時間のほとんどを占める。また、患者は高齢患者も多く、その待機時間にトラブルが生じることがある。トラブルは本を読むや携帯電話などの機器類を操作するなど軽微なものから、時に検査中に待機室から抜け出し、院外へ出ようとするなどインシデントにもなり得る重大なものなどさまざまである。今回、待機室からの脱走の中でも特異的な脱走を経験したため、事例とともに、今後の対策や監視上の問題点などを報告する。

【脱走典型例】

よく遭遇する脱走の典型例を紹介する。脱走しようする患者は認知症や高齢で認知機能が低下した状態であることがほとんどである。脱走の特徴を以下に示す。(タイミング)PET撮像後の待機時間中。(心理状態)検査が終了したと思いつつ勘違いや、待機時間中であることを忘れるなど。(行動)更衣室に移動し着替えをし始めたりや道に迷い廊下を彷徨うなど。典型例は脱走中に監視カメラで確認が容易にでき、阻止しやすい。

【事例詳細】

事前問診ではADL自立、認知症無しとの情報を受け、関係者に付き添い依頼はしなかった。本事例の脱走の特徴を以下に示す。(タイミング)FDG投与後の待機時間中。(心理状態)今自分がどこにいるか、また核種を注射したことも把握できておらず、帰りたいという一心。(行動)検査着を着たまま病院敷地内にあるコンビニへ直行。脱走を阻止できなかったが、撮像時間内には発見に至り、その後の検査は問題なく施行された。

【問題点】

患者状態の把握不足により付き添い依頼をかけられなかったこと。脱走時、患者が待機室から出口まで迷うことなく僅かな時間で移動し、監視カメラによる確認が困難な状況であったこと。受付窓口に職員が不在という状況であったこと等が問題点として考えられた。受付職員が不在であった背景に診療放射線技師は受付職員もPET検査の安全管理(脱走防止)を担う一員という認識であったが、受付職員は脱走防止の一端を担っているという意識は無く、職種間で安全管理(脱走防止)に対する意識齟齬がみられた。

【対応策】

認知機能低下がある患者には付き添いを必須条件であることをスタッフ内で再確認を行った。また受付が不在となる際には検査室内に連絡を入れてもらうこととした。

【教えて！核医学あるあるネタ⑧】

装置更新したら見直してみよう

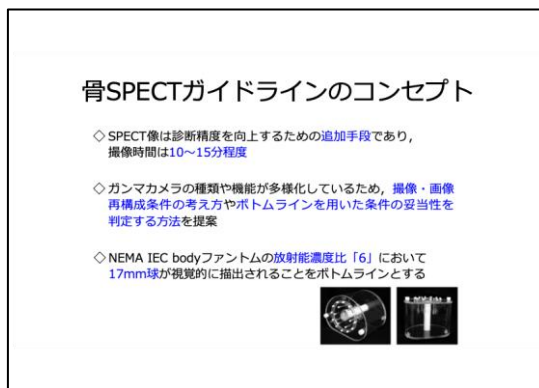
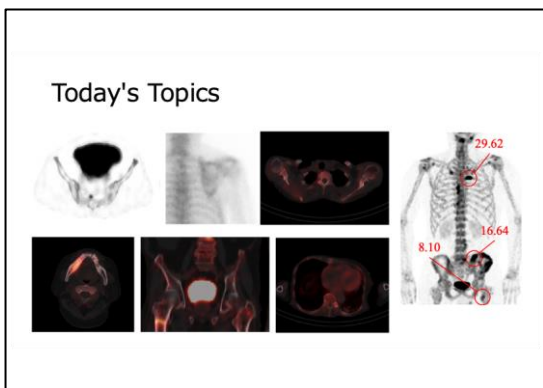
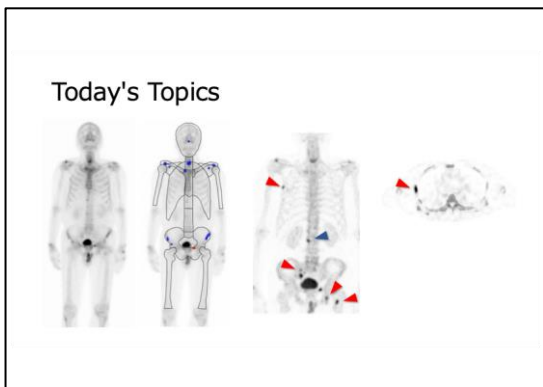
小林直紘（松江市立病院 放射線部）

ガンマカメラの更新に伴い収集条件の見直しや画質改善に取り組んでいる。脳血流 ECD シンチにおいて収集条件を変更しメーカー推奨の条件で画像作成を依頼した。その結果、画像が以前のものとかなり違っていた。装置の特性によるものかと思われたが同じデータを使用しても変わるため画像再構成方法を見直してみたところ、バターワースフィルタ関数に変更されていた。関数を調整し診断しやすい画像を作成できた。核医学検査はパラメータを少し変更するだけで画質が大きく変わる場合があり、どのようになるかを自分で実感することが大事である。

【特別講演①】

「臨床を支える画質評価：Hone Graphが目指す未来」

豊橋市民病院 放射線技術室 市川 肇



骨SPECT撮像ガイドライン

骨SPECTで求められる陽性病変の描出能を担保するために各施設で実現可能なボトムライン（最低基準）を策定する



すべての施設で陽性病変描出能を客観的に確認できる方法を提示

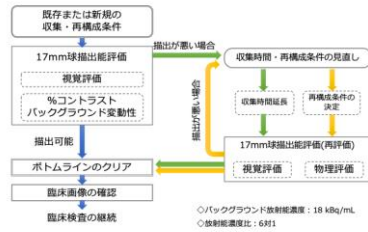
- ① 基準となる腫瘍径・放射能濃度の決定
- ② NEMA IEC Bodyファントムによる陽性描出能の評価方法を確立
- ③ 臨床を再現した骨SPECT評価用ファントムの作製

判定基準

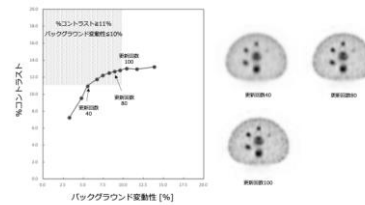


物理評価指数や基準とした収集時間は、使用する装置や投与量により変化するためあくまでも推奨値として記述して各施設で評価を実施する

ガイドライン試験の流れ



GLに基づく逐次画像再構成条件の決定

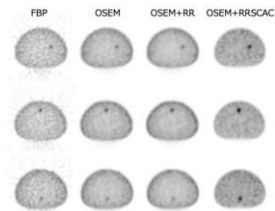


陽性描出能評価-視覚評価-

17 mm球体の描出能を視覚的に評価する。

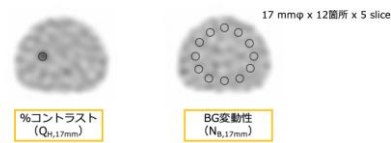
1. 核医学専門医と十分な経験を有する核医学担当診療放射線技師（核医学専門技師が望ましい）で実施
2. 画像の表示は読影端末で行い、LUTはInvert gray scale、表示ウィンドウレベルは最大値100%、最小値0%として表示する
3. 表示ガンマ値は臨床で使用している値とする
4. センタリキャプチャ画像を使用している場合は、施設基準の条件で表示する
5. 評価基準点は、0点：検出できない、1点：集積を認識できるが球体と判定できない、2点：球体として検出可能とし、その平均点で判定する

位置依存性

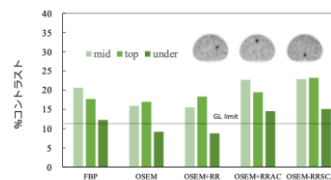


陽性描出能評価-物理評価-

%コントラストとバックグラウンド変動性を評価



位置依存性



骨SPECT標準化ガイドラインの課題

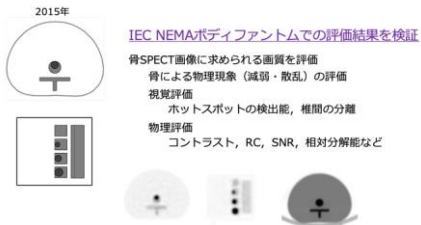
- ・視覚評価の基準が曖昧
- ・物理評価結果がファントムセッティングに依存する
- ・ROI設定の再現性
- ・骨SPECTの画質評価結果を本当に反映できているのか？

骨シンチにおけるSPECT撮像への意識や画質評価の準備は整いはじめた

骨シンチ評価用胸部ファントム



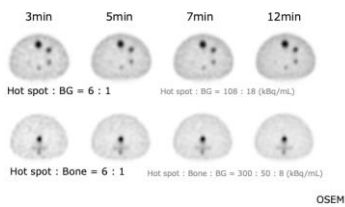
骨SPECT評価用ボディファントム



SIM² bone ファントム



Bodyファントム vs. 骨SPECTファントム



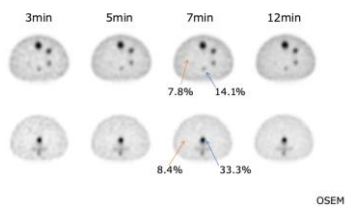
SIM² boneファントム

- ・骨シンチ評価用のファントム開発の経緯
 - ✓ 骨SPECT評価用ボディファントムでは不十分であった
 - ・ NEMA IEC ボディファントムに照準しすぎた
 - ・ ホットスポットの数が不足
 - ✓ 骨SPECT評価用胸部ファントムは詰め込みすぎた
 - ・ 本当に評価が必要な項目に限定
 - ・ 扱いやすさを重視

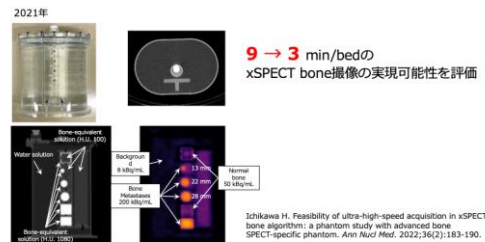
自動解析ソフトウェア構築可能なデザイン

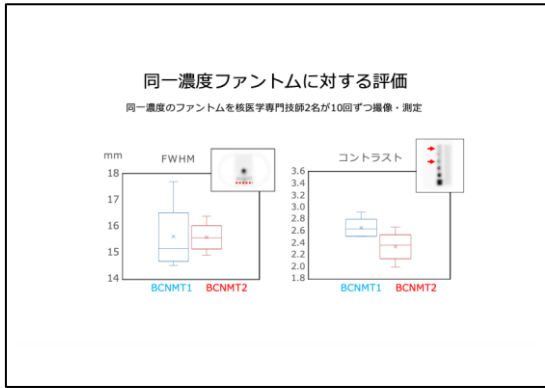
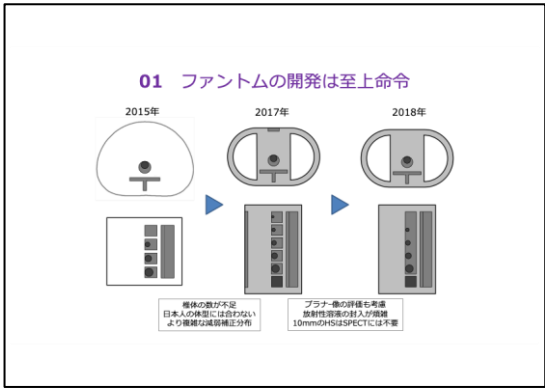
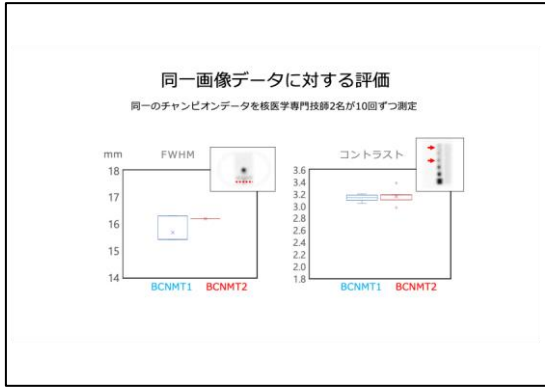
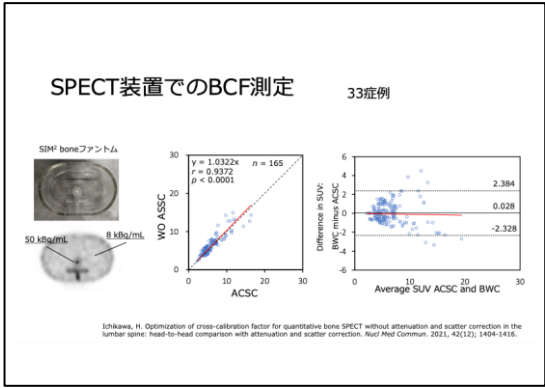
- ・ 技術的なエビデンス構築の必要性
- 商用化して多くのエビデンスを構築したい

Bodyファントム vs. 骨SPECTファントム

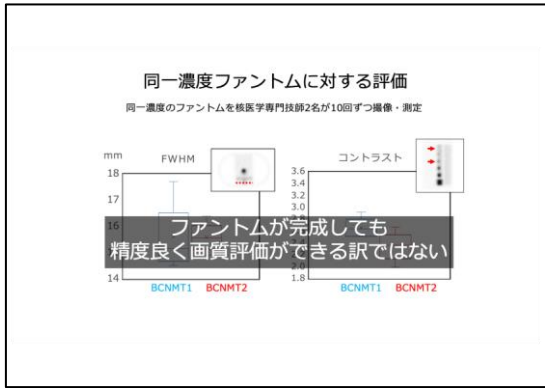


xSPECT Bone評価用ファントム

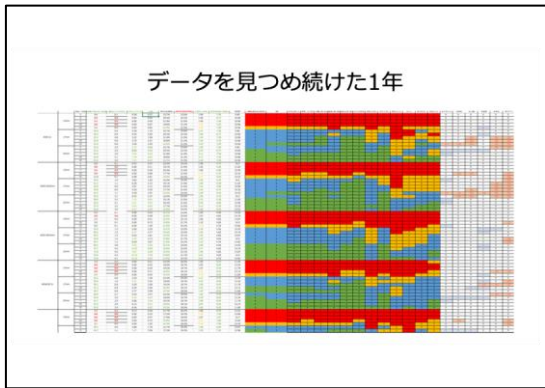




- ### Agenda
- 01 | **ファントムの開発は至上命令**
骨SPECTの技術的エビデンスはほとんどなかった
 - 02 | **自動解析ソフトの開発は必然**
絶対にできないと言われた検出能の自動解析
 - 03 | **Hone Graphが目指す未来**
骨SPECT画像の最適化・調和化を目指す




- ### 博士後期課程での課題 2019
1. 骨SPECT画像において最も重要な画質指標である**視覚的な検出能とよく相関する物理的指標**を明らかにする
 2. 骨SPECT自動解析ソフトウェアに実装し、**クラウドでの利用を実現**する
 3. 骨SPECTの**最適パラメータの共有化**を目指す





Hone Graph ?

- SIM² boneファントム専用画像解析ソフトウェア
- 検出能, コントラスト, S/N, 分解能などを自動解析
- 高い再現性・繰り返し性
- わかりやすい結果レポート



%DEV: percentage of detectability equivalent volume

解析画像 → 二値化画像

↓ 最大カウントの40%で二値化

予備実験によってthreshold値を決定


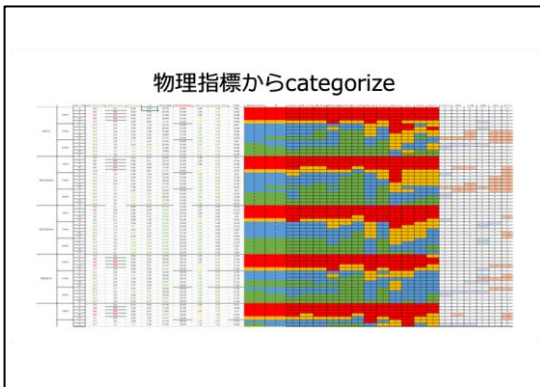
Spherical lesion用VOIのピクセル数

二値化後にspherical lesion用VOI内に属したピクセル数

$$\%DEV = \frac{\text{二値化後のピクセル数}}{\text{Spherical lesion用VOIピクセル数}} \times 100$$

Hone graphが目指す(した)画質評価

- 画像解析の自動化
- ライセンスフリー
- あらゆるプラットフォームに対応
- 初学者からベテランまで満足できる結果レポート
- 画質改善サイクルへ発展 → 私自身が実感したい

骨SPECT自動解析ソフトウェア: Hone Graph

Ichikawa H, et al. Ann Nucl Med. 2021;35(8).



ソフトウェアの起動・データ入力

- * ローカルディスク(C:)の直下
- * インターネット環境が必須

Hone Graph: Image analysis procedure



Visual analysis

- 検出能のGold standardを定義
 - 核医学専門技師 3名 (臨床経験18-26年)
 - ソフトウェアの開発用 30組のSPECT画像 (120 lesions)
 - ソフトウェアの検証用 24組のSPECT画像 (96 lesions)
- 検出能(detectability score: DS)を4段階評価
 - DS1: Poor (病変として検出できない)
 - DS2: Average (病変として検出可能な限界)
 - DS3: Adequate (診断に影響するノイズやボクを認めるが、確実に検出可能)
 - DS4: Excellent (診断に影響するノイズやボクがなく、確実に検出可能)

Hone Graph: Quantitative indexes

- %DEV**: 各SLの検出能に関連する新しい物理評価指標
- CNR**: 各SLと正常骨部のコントラストノイズ比
- CV**: 正常骨部およびリファレンス部における変動係数
- TNR**: 正常骨に対する各SLのカウンtr比 (Target-to-normal bone ratio)
- RC**: リファレンス部の最大カウンtrを基準として各SLの最大カウンtrの比
- FWHM**: 棘突起および横突起のFWHM

DTA: decision tree analysis

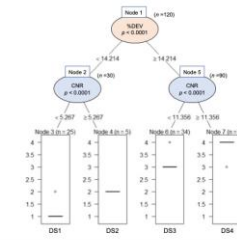


Image analysis: CNR

CNR測定における検者内・検者間再現性の評価

- 1つの投影データから位置情報のみが異なる7組のSPECT画像を作成
 - X,Y,Z軸方向に対して850 mm移動して同条件で画像再構成
- 画像に関する情報を知らない核医学専門技師4名
 - 核医学経験年数平均11 (9-16)年
- 13, 17, 22, 28 mmのSLと正常骨部のCNRを計測
 - ImageJを使用して手動によるROI設定 (手動法)
 - Hone Graphによる自動測定
- 検者間および検者内の%CVを算出



Statistical analysis

DSの分類基準

DSと物理評価指標の関連を決定木解析
開発用30組のSPECT画像 (120 lesion)

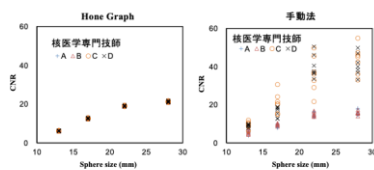
分類基準の検証

自動分類の精度を検証
検証用24組のSPECT画像 (96 lesion)
一致率およびkappa係数を算出

Zhang Z. Decision tree modeling using R. Ann Transl Med 2016;4(15):275

再現性・繰り返し性

位置情報のみが異なる7組のSPECT画像を4名の核医学専門技師が測定



Detectability score

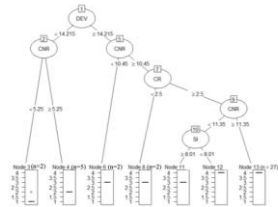
検証用24組のSPECT画像 (96 lesion)

PA; 91.7% κ係数; 0.93

Hone Graph	Gold standard				Total
	1	2	3	4	
1	22	0	0	0	22
2	0	2	0	0	2
3	0	1	26	1	28
4	0	0	6	38	44
Total	22	3	32	39	96

DS: 1. Poor 2. Average 3. Adequate 4. Excellent

DTA: decision tree analysis



- 01 | ファントムの開発は至上命令
骨SPECTの技術的エビデンスはほとんどなかった
- 02 | 自動解析ソフトの開発は必然
絶対にできないと置かれた検出能の自動解析
- 03 | Hone Graphが目指す未来
骨SPECT画像の最適化・調和化を目指して

Agenda

再現性・繰り返し性

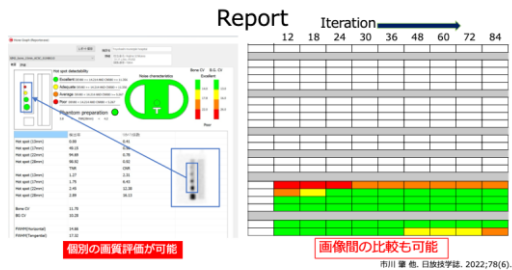
位置情報のみ異なる7組のSPECT画像を4名の核医学専門技師が測定

	検者内再現性	検者間再現性
Hone Graph	1.7% (1.2-2.2)	0%
手動法	13.2% (5.4-24.6)	39.6% (18.3-55.8)

Hone Graphが目指す未来

1. 各施設での最低基準画質の達成
2. 各施設での最適化
3. 国内での調和化

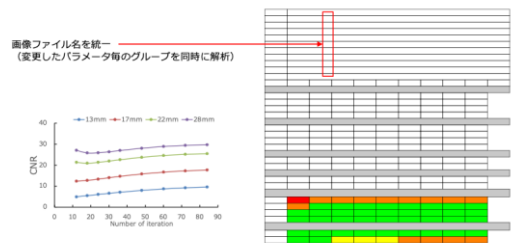
Report



最適化と調和化

- ・ 調和化を目指すには画質の最適化は犠牲になる?
- ・ 低画質装置に揃える? (施設内におけるmulti-venderでも)
Smoothing処理を過大(≦15 mm Gaussian filter)に行う
Nakahara et al. EJNMMI Research (2017) 7:53
- 骨SPECTにおいては
- ・ SUVの調和化は研究として興味深い
- ・ SUVの調和化を最優先することの臨床的意義は?
- ・ 病変の検出能を優先

解析する際のポイント



現状のSPECT/CT装置で最適化を目指す

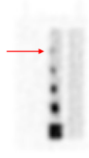
Ichikawa H. Physical and Engineering Sciences in Medicine (2023) 46:839-849



Hone Graphを用いた骨SPECTの最適化

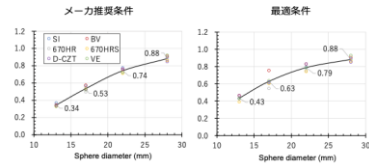
最適化へは“最適化”の定義が必要

1. 陽性病変の検出能 感度
2. 正常骨の均一性(CV) 特異度
3. 骨病変のCNR
4. バックグラウンド (縦隔) の均一性 読影時の負担軽減・画像の信頼性



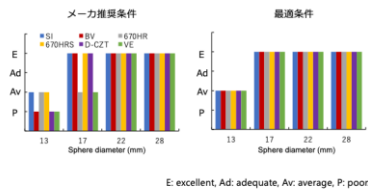
Recovery coefficient

$p < 0.001$



Detectability score

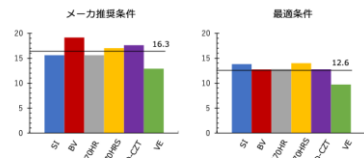
$p = 0.038$



E: excellent, Ad: adequate, Av: average, P: poor.

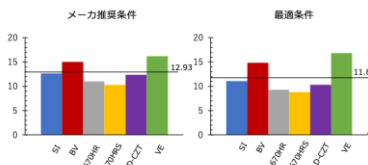
FWHM

$p = 0.003$

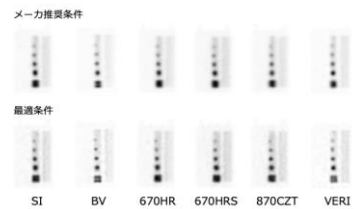


%CV

$p = 0.53$

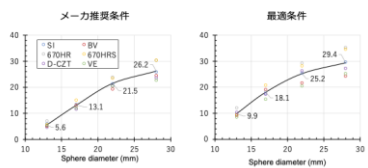


SPECT: sagittal



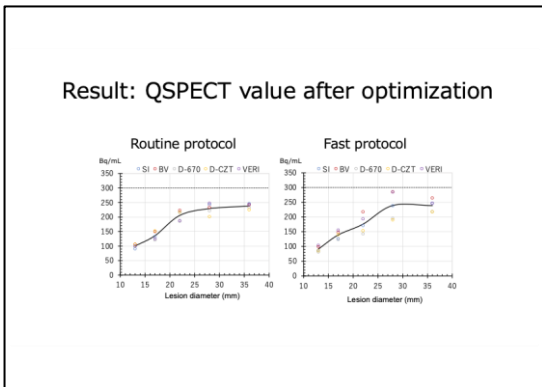
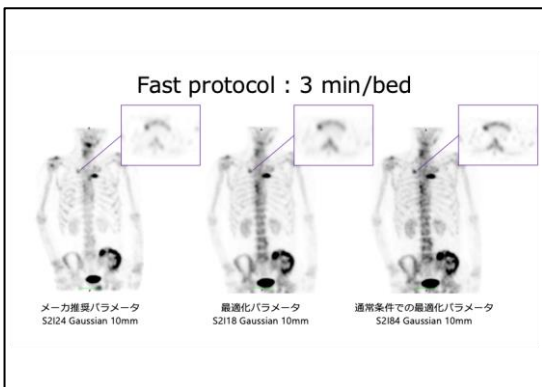
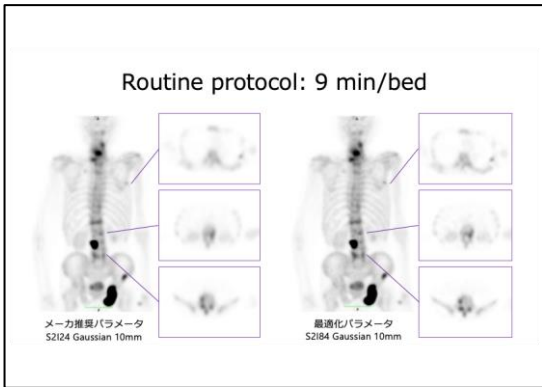
CNR

$p < 0.001$



Result: fast protocol

	Recommended	Optimized	P
Detectability	3.1 ± 1.1	3.4 ± 1.0	0.063
%CV	16.1 ± 2.5	16.9 ± 3.2	0.363
CNR	14.0 ± 7.0	13.0 ± 6.7	0.659
RC	0.63 ± 0.2	0.66 ± 0.2	0.006
FWHM	18.3 ± 3.8	16.4 ± 3.8	0.016



- まとめ
- 骨シンチの画質評価ファントムを開発
 - ✓ 2回の改修を経てようやく商用化
 - Hone Graphを開発し、最適化の環境整備
 - ✓ データの蓄積・解析中
 - ✓ まもなく big data を公開 (準備中)
 - ✓ アップデート進行中
 - 装置・収集カウント毎に最適な再構成パラメータがある

【調査報告】

中国四国地方における核医学治療の運用実施アンケート調査報告

高知大学医学部附属病院 林 直弥

近年, RI 内用療法の需要と適用が拡大しており, 特に ^{177}Lu -oxodotreotide (ルタテラ) を用いた治療は特別措置病室を設置することにより, 治療病室をもたない施設においても実施可能となった. しかし, 一方でその運用方法や投与後の撮像条件等に関する国内の報告はほとんどない. そこで, 今回中国四国地方を対象とした内用療法に関するアンケート調査を実施した.

アンケートは, 中国四国地方において RI 病室もしくは特別措置病室を使用した RI 内用療法を実施している施設とし, 15 施設から回答を得た. アンケートは, 「設備と申請状況」, 「 ^{131}I を用いた甲状腺癌治療」, 「 ^{177}Lu を用いた神経内分泌腫瘍治療」に関する内容で調査を行った.

本アンケート結果の詳細は, 論文にて報告予定である.

【特別講演②】


「核医学治療の現状と将来展望」

横浜市立大学大学院医学研究科 放射線治療学 高野 祥子

2024年7月4日 日本放射線技術学会中国・四国支部第25回夏季学術大会

横浜市立大学附属病院 核医学診療科
横浜市立大学大学院医学研究科 放射線治療学

高野祥子


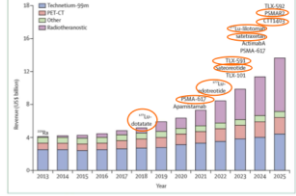


COI開示

共同研究費：PDRファーマ株式会社

出典の記載のない画像・データは自撮り

Lu-177を用いたTargeted Radionuclide Therapy

投資家向けの経済予想雑誌でも、その急成長が予想され、Lancet Oncologyにも転載されている。

Herrmann K, et al. Radiotheranostics: a roadmap for future development. Lancet Oncol. 2020

核医学治療薬 (Targeted Radionuclide Therapy; TRT) の代表薬

- ¹³¹I 甲状腺癌・甲状腺機能亢進症 ※ TAT: Targeted Alpha nuclide Therapy
- ~~⁸⁹Sr 造骨性骨転移~~
- ²²³Ra 前立腺癌の骨転移
- ~~⁹⁰Y-ibritumomab tiuxetan 濾胞性悪性リンパ腫~~
- ¹³¹I-MIBG 神経芽腫、褐色細胞腫
- ¹⁷⁷Lu-DOTATATE 神経内分泌腫瘍 (Peptide Receptor Radionuclide Therapy (PRRT))
- ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 前立腺癌 (Radioligand Therapy (RLT))

最近増は盛り上がってるけど、本当に続くの？
導入大変そうだし、前立腺癌って置たって実際に治療する患者さんいるの？

Peptide Receptor Radionuclide Therapy

腫瘍細胞
ソマトスタチン受容体
ペプチド
キレートドブド
核種(放射線物質)

腫瘍内の放射線濃縮
ソマトスタチンレセプター-多量発現時に染色した写真 (黄色) ソマトスタチン受容体 (青色) 核種 (赤)

Reubi JC, Pathology University of Bern, Switzerland

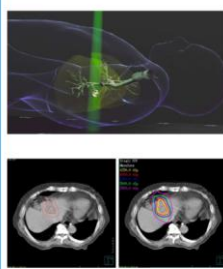
Peptide Receptor Radionuclide Therapy

腫瘍細胞
ソマトスタチン受容体
核種(放射線物質)

腫瘍内の放射線濃縮
ソマトスタチンレセプター-多量発現時に染色した写真 (黄色) ソマトスタチン受容体 (青色) 核種 (赤)

Reubi JC, Pathology University of Bern, Switzerland

Radio-Theranostics



THERAPY × DIAGNOSIS

Radio-Theranostics とは

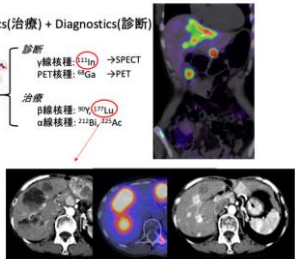
Theranostics = Therapeutics (治療) + Diagnostics (診断)

診断
γ線核種: ¹¹¹In → SPECT
PET核種: ⁶⁸Ga → PET

治療
β線核種: ⁹⁰Y, ¹⁷⁷Lu
α線核種: ²¹³Bi, ²²⁵Ac

ペプチド (トレーサー)

受容体 (ターゲット)



Precision Medicine

I'm launching a new Precision Medicine Initiative. We can do this!

State of the Union Address, 2015

神経内分泌腫瘍とは

神経内分泌腫瘍とは

神経内分泌腫瘍は分化を示す腫瘍の総称。全身の様々な臓器に発生する。

Steve Jobs 1955-2011

全てのがんの発生率

神経内分泌腫瘍の発生率

腸消化管原発の神経内分泌腫瘍

年間発生率 3.53人/10万人^{#1}

年間受療者数 11,467人^{#2}

Incidence per 100,000 for Neuroendocrine Tumors

Year

神経内分泌腫瘍の内科的治療戦略

ゾマトスタチン受容体アナログ製剤

オクトレオチド(LAR) ランレオチド(ソマチリン)

2011年11月消化管神経内分泌腫瘍に保険適応 2017年7月腸・消化管神経内分泌腫瘍に保険適応

分子標的薬

エベロリムス(アフィニートル) スニチニブ(スニセント)

2011年12月腸に、2016年8月に神経内分泌腫瘍に適応拡大 2012年8月 保険承認

抗がん剤

ストレプトゾシン(ザリサー)

2015年2月保険承認 販売開始

NETTER-2 study

Singh S, et al. Lancet. 2024;403(10446):2807-2817.

グレード2および3 (Ki67=10-55%)の進行性消化管神経内分泌腫瘍 (GEP-NET) 患者に対する多施設共同無作為化phase III試験。

Control群の無増悪生存期間(PFS)の中央値が8.5ヵ月に対し、¹⁷⁷Lu-DOTATATE群は22.8ヵ月と有意に延長を示した。

Progression Free Survival

¹⁷⁷Lu-DOTATATE群: Lu-177 DOTATATE 8週おき4回

Control群: オクトレオチドLAR 4週間投与

切除不能/進行性神経内分泌腫瘍の初期治療として、PRRTが実施されていく可能性

NETTER-1 study (適応疾患: SSTR陽性の切除不能神経内分泌腫瘍)

Progression-Free Survival Overall Survival

A Progression-free Survival

B Overall Survival (Intention Analysis)

Median PFS, Not reached

Median OS, Not reached

Estimated Median PFS in the ¹⁷⁷Lu-DOTATATE arm = 42 months

Hazard ratio: 0.23 (95% CI, 0.13-0.40)

P=0.001

P=0.004

No. at Risk

¹⁷⁷Lu-DOTATATE 116 97 76 59 42 28 19 12 3 2 0

Control group 113 80 47 28 17 10 4 3 1 0 0

J. Strosberg et al. N Engl J Med 2017;376:125-135

国立がんセンター院内がん登録からみる診断時病期と初期治療選択

日本は1期で見つかる方が約6割、初回治療として手術治療を受けられる方が9割。

ただし、中壮年期に発症のボリュームゾーンがあり、その後長期経過で再発→薬物治療を必要とする方も多い。

ソマトスタチン受容体陽性患者割合 約80% (Ann Oncol. 2004;15(6):966-73).

遠隔転移患者割合 約10% (Gastroenterol. 2015;50(1):58-64).

一全原発の神経内分泌腫瘍発生率を10万人あたり5人とすると、PRRTの適応になるのは、100万人あたり5人?

Kozumi, T, et al. Epidemiology of neuroendocrine neoplasms in Japan: based on analysis of hospital-based cancer registry data, 2009 - 2015. BMC Endocr Disord 22, 105 (2022).

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) に関する神経内分泌腫瘍診療ガイドライン委員会からの要旨

第1-消化管神経内分泌腫瘍診療ガイドライン 2019年

ガイドライン委員会 伊藤 典英 委員長 伊藤 典英 副委員長 河本 亮 理事 佐藤 俊彦

内科・消化器科 渡辺 公光 理事 佐藤 俊彦

内科・放射線科 佐藤 俊彦 理事 佐藤 俊彦

内科・放射線科 佐藤 俊彦 理事 佐藤 俊彦

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) の1つである¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) の1つである¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

神経内分泌腫瘍の内科的治療戦略

薬剤名	腫瘍	消化管	肝・その他	備考
ゾマトスタチンアナログ製剤	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は高い。
オクトレオチド	△	△	△	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は低い。
ランレオチド	○	○	×	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は低い。
エベロリムス	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は低い。内服薬である。予後や副作用に注意が必要。
スニチニブ	○	×	×	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は低い。内服薬である。予後や副作用に注意が必要。
放射線腫瘍療法(ブツド治療)	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は高い。
PRRT	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は高い。
Lu-177 DOTATATE	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は高い。
Lu-177 DOTATATE	○	○	○	副作用は少ない、実用しやすい。腫瘍を小さくする効果は高い。

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) の1つである¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) の1つである¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

放射線腫瘍療法(ブツド治療) (peptide receptor radionuclide therapy: PRRT) の1つである¹⁷⁷Lu-DOTATATEは、2017年6月23日に、ゾマトスタチン受容体陽性の神経内分泌腫瘍に対する薬効が認められ、保険適応となりました。

本日の内容

- ・¹⁷⁷Lu-DOTATATE治療 当院の体制について
- ・特別措置病室のキホン
- ・特別措置病室の実際と今後
- ・放射線治療医からみたPRRTの適応と線量評価

患者さんの流れ

1. 臨床腫瘍科外来にて 適応判断と治療エントリー
2. カンファランスにて 適性判断と投与日の仮決定
3. 放射線治療科外来にて 放射線安全管理の説明と薬剤発注
4. 臨床腫瘍科に入院
5. 放射線診断学医師が核医学検査室で薬剤投与

患者さんの流れ

3. 放射線治療科外来にて 放射線安全管理の説明と薬剤発注

入病中の主な注意点

- ・トイレ内では喫煙や携帯電話を禁止し、廊下で喫煙する。扉は閉めないようにし、金属製容器は部屋に持ちこたない。
- ・喫煙禁止。入り口に設置した検知機により、喫煙は検知され、警告音が鳴ります。
- ・病室への出入り禁止（原則急病時）
- ・病室へ手荷物・入り口を設置した検知機により、手荷物の持ち込みは検知され、警告音が鳴ります。
- ・医療スタッフとの距離を可能な限り、2m以上とる。

退院後の主な注意点（投与後3週間まで）

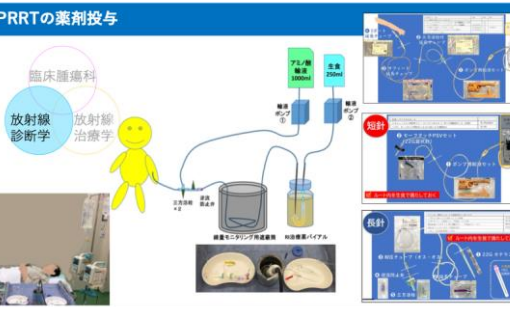
- ・公衆の場（映画館やショッピングセンターなど）への外出は可能な限り控える。
- ・公共交通機関内でもできるだけ人との距離を2m以上とる。同一乗降場や乗降口付近で待たないよう注意。
- ・タクシーでは、乗車前から乗降口付近まで乗車を控える。乗降口付近で下車し、乗車前から乗降口付近まで乗車を控える。

PRRTの薬剤投与




7.4GBq点線源からの距離と時間あたりの被ばく線量（遠慮体なしの場合）						
距離	10cm	50cm	1m	1.5m	2m	3m
線量	64	3	1	0.3	0.2	0.1
単位	μSv/min					

PRRTの薬剤投与



臨床腫瘍科 放射線診断学

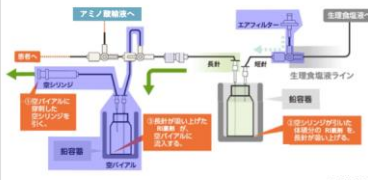
薬剤投与の準備と実施の様子

PRRTの薬剤投与

付録-3 減量投与の調整方法

ルテチラ-ライザアラインの三方活栓を介してエアバブルを接続し、エアバブルに埋め込まれたシリンジを13mL程度引くことで、ルテチラ静注溶液の半量（12.5mL）をエアバブル内に採取します。残ったルテチラ静注溶液の全量を事前に投与します。

- ・管段と違うルートになる。
- ・減量後は、ライン内に尿液の残留物が充満されるため、不要な被ばくが増える。
- ・手順が多く、間違いや汚染リスクが増える。



ノバルティス社資料 投与の手引きより引用

当院の減量方法（50%投与量：3.3~4.1GBq）

- ① とりあえず、通常の投与準備（短針は輸液ポンプにセットしなくてもよい）
- ② 10mLシリンジ（QQカート）をセット（QQカートは必ずセット）
- ③ 短針側ルートの開放（輸液ポンプのルートを外す）
- ④ 三活の向きをエアバブル側に向け、減量分（エアを含め17cc）を引く。（減量分はエアを含め17ccを引く）
- ⑤ ドーズキャリブレーション測定（ルテチラ-ライザアラインも考慮して、3.3~4.1GBq（減量が7.4GBqの場合）であることを確認）

本日の内容

- ・¹⁷⁷Lu-DOTATATE治療 当院の体制について
- ・特別措置病室のキホン
- ・特別措置病室の実際と今後
- ・放射線治療医からみたPRRTの適応と線量評価

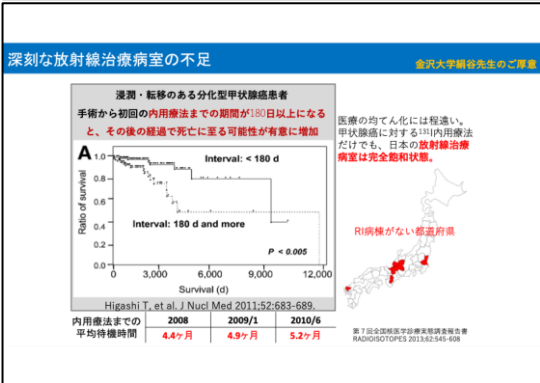
国内で承認された核医学治療薬

薬剤名	対象疾患	投与量	線源からの実効線量定数	
[131I] NaI	甲状腺癌、甲状腺機能亢進症	1.1~7.4GBq	$<0.050\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	入院治療
[125I] MIBG	褐色細胞腫	5.55~7.4GBq	$<0.050\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	入院治療
⁹⁰ Y-ibritumomab tiuxetan	悪性リンパ腫	max 1184MBq (14.8MBq/kg)	0.00263 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	外来投与可能
⁹⁰ Y-strontium chloride	造血性骨転移	max 141MBq (2.0MBq/kg)	0.00118 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	
²²³ Ra	骨転移	55kBq/kg	0.0454 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	外来投与可能
¹⁷⁷ Lu-DOTATATE	神経内分泌腫瘍	7.4GBq	0.00517 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ (14.5%) 0.00527 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ (0.73%)	入院治療

必要な被ばく管理は、投与量×放出される放射線の性質(種類・エネルギー・半減期etc)×代謝・排泄経路で異なる。

RI投与後の患者管理についての規制

医療法施行規則 第30条の15
RI薬剤により治療を受けている患者をRI病床以外に入院させてはならない。



RIの性質や薬剤の代謝経路により、本当に必要な放射線管理は異なる。

I-131 (甲状腺癌の治療) の場合
呼気や不感蒸泄等からもRIが放出され、専用の排気管理等が必要となる。

Lu-177 (神経内分泌腫瘍の治療) の場合
RIの殆どが尿から排泄されるため、特殊な排気設備等は必要ない。

※薬剤は、そのほとんどが尿から排泄されるので、尿を適切に管理するのが1番のポイントです。(汗や血液、便や唾液などにも多少の放射能が含まれます。)

RI投与後の患者管理についての規制

医療法施行規則 第30条の15
RI薬剤により治療を受けている患者をRI病床以外に入院させてはならない。

RI投与後の患者管理についての規制

医療法施行規則 第30条の15
RI薬剤により治療を受けている患者をRI病床以外に入院させてはならない。ただし適切な防護措置を講じた場合には、このかぎりではない。

解釈通知
医薬発第188号
適切な防護措置とは、
(ア) 他入院患者の被ばくが3ヶ月につき1.3mSv以下となるようにすること。
(イ) 「放射性医薬品を投与された患者の退室基準(平成10年6月30日医薬安第70号)」に係る患者及び介護者等への指導並びに退室の記録について徹底すること。

ルテチウムオキシドレオチド(Lu-177)および特別措置病室に関わるマニュアル

日本アイソトープ協会ホームページ公開中

管理区域からの退室基準 (医薬安発第70号通知)

抑制すべき線量の基準
公衆被ばく 1mSv/年
介護者被ばく 5mSv/年

具体的には下記いずれかを満たすこと。
(1) 投与量に基づく退室基準
 $^{90}\text{Y} \leq 200\text{MBq}$, $^{125}\text{I} \leq 500\text{MBq}$, $^{90}\text{Y} \leq 1184\text{MBq}$
(2) 測定線量率に基づく退室基準
 $^{125}\text{I} \leq 30\mu\text{Sv/h}$
(3) 患者ごとの積算線量計算に基づく退室基準
実効半減期etcを考慮し、患者ごとに計算した結果が、上記の抑制すべき線量を守る場合。

1m

→(3)の基準を使用する場合には、どのように積算を算出したか、記録を残すことが義務づけられている。つまりに併せて、 ^{125}I 1110MBq(外来投与の標準量)を投与した際には、学会ガイドラインに従って管理する場合、上記基準を満たすことが書かれている。

¹⁷⁷Lu-DOTATATE の積算線量

内部被ばくの評価

もしも日本中の切除不能NET患者が全員この治療を受けて、投与されたすべての¹⁷⁷Luが河川に流れたら...



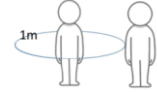
浄化処理利用率の高い淀川水系モデルで試算

公衆の内部被ばく線量 0.36μSv/年
内部被ばくは十分に少ない。

¹⁷⁷Lu-DOTATATE 適正投与マニュアル(案) 総研研報第...

外部被ばくの評価

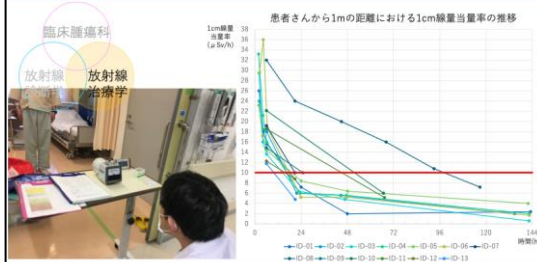
もしも患者から1mの距離に、
・介護者が1日12時間一緒にいたら...
・公衆人が1日6時間一緒にいたら...



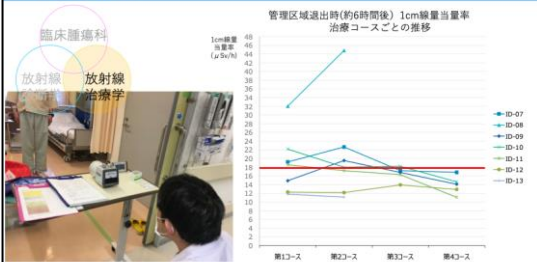
7.4GBq × 4回投与を行った場合の積算線量は			
mSv/件	投与直後	投与24h後	投与48h後
介護者	2.00mSv	1.40mSv	1.04mSv
公衆人	1.00mSv	0.70mSv	0.52mSv

投与直後に退室した場合、公衆の被ばく線量が基準値ぎりぎりになってしまいます。

病室からの退出時



病室からの退出時



令和4年4月1日 医療法施行規則改正 放射線治療病室と特別措置病室



特別措置病室の構造設備基準 (※要約 原文もご参照ください)

改正後 医療法施行規則第30の12の2

- 一) 面壁等の外側の実効線量が1週間につき1mSv以下になるように必要な遮蔽等を設置。
 - 二) 出入口付近に人がみだりに立ち入らないための注意事項を提示。
 - 三) RI汚染が起きる可能性のある床や壁やその他の場所を、汚染除去しやすいもので覆う。
 - 四) 出入口付近にRI汚染検査に必要な測定器と、RI汚染除去に必要な器材および作業衣を備える。
- ※プラスチック製のみの場合には、四)は必要なし。



看護師による下膳

検討課題① 病室準備



検討課題① 病室準備



トイレの汚染防止措置

治療時



患者	治療	001-1	001-2	001-3	001-4	001-5	001-6	002-1	002-2	002-3	002-4	002-5	002-6	002-7
17歳児	PN/A	PN/A	120	70	67	80	80	100	112	1,200	100	100	100	100
18歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
19歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
20歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
21歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
22歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
23歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
24歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
25歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
26歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
27歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
28歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
29歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
30歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
31歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
32歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
33歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
34歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
35歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
36歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
37歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
38歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
39歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100
40歳児	PN/A	PN/A	120	80	80	70	80	100	112	1,200	100	100	100	100

トイレの汚染防止措置

治療時



臨床開始後



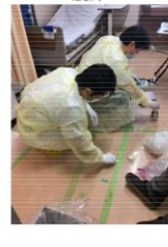
トイレの汚染防止措置

治療時



トイレの汚染防止措置

治療時



7.17Lu-DOTATATE 放射線科 加藤 二さん

排尿時の手順

1. 患者さんに「排尿の際は、必ずこの手順を守ってください。」と説明します。
2. 患者さんがトイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
3. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
4. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
5. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
6. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
7. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
8. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
9. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
10. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。

個患者教育が何より重要。多職種力を借りて何度も確認。

←スリッパは2着用して、トイレ内と室内を分けた。

患者教育と院内連携の重要性 ～院内売店や柴橋さん・医事課とも連携～

購入物品 患者専用となるもの → 病院売店と連携し、セット販売

トイレ付個室 差額ベッド代 プラキと同様扱い → 病院都合のため、患者請求はなし

汚染リスクの高い入院者 → 服を着替えて レンタルを強くお勧め

SHIBAHASHI 実業株式会社

プラスチック手袋 \$1,500

使い捨てグローブ \$200 (K10)

ペーパータオル \$420

特別措置病室の汚染防止措置 当院の工夫

患者さんの持ち物

- ・持ち物は最小限にしていただく。
- ・入院中に使用しないものは、ビニール袋に入れて保管していただく。

→ 袋に入れていたものは、それ以外が混ざらないように、シールを作成し患者さんに貼ってもらうようにした。

清潔の遵守と汚染拡大防止

排尿時の手順

1. 患者さんに「排尿の際は、必ずこの手順を守ってください。」と説明します。
2. 患者さんがトイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
3. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
4. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
5. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
6. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
7. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
8. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
9. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。
10. トイレに行く際は、必ずこの手順を守ってください。

個患者さん用の手順書を作成した。更に、多職種力を借りて何度も確認。

当院の特別措置病室 多職種連携の賜物！！

設定 1部屋あたり 10-15分くらい。 解除 1部屋あたり 15-30分くらい。

マニュアル通りに看護助手さんが汚染拡大防止措置

放射線診療技師(1-2名) 臨床腫瘍科Dr. (1名) がチームで除染・測定

本日の内容

- ・¹⁷⁷Lu-DOTATATE治療 当院の体制について
- ・特別措置病室のキホン
- ・特別措置病室の実際と今後
- ・放射線治療医からみたPRRTの適応と線量評価

緊急時 ICU入室した場合～他入院患者の線量が3か月につき1.3mSv以下～

ルテチウムキレート剤(Lu-177) 注射液中の放射性核種の濃度を測定するマニュアル第1版
表1 単位換算における線量患者の換算係数*

1セグ10 線量当量率 (μ Sv/h)	放射能 (MBq)	距離 (m)	換算係数		
			なし 線量実効線量 (mSv)	コンタクト (厚さ:5cm) (mSv)	鉛 (厚さ:2mm) (mSv)
46	7,400	1m	1.523	1.384	0.293
		2m	0.621	0.496	0.073
		3m	0.250	0.220	0.032
30	4,745	1m	1.631	1.283	0.188
		2m	0.408	0.321	0.047
		3m	0.191	0.149	0.021
20	3,190	1m	1.068	0.855	0.126
		2m	0.272	0.214	0.031
		3m	0.121	0.095	0.014
15	2,392	1m	0.816	0.641	0.094
		2m	0.204	0.160	0.024
		3m	0.091	0.071	0.010

定期的運用される特別措置病室と異なり、ICUなどでは、投与後患者が毎週新規で入室して行くことは想定されない。
→緊急時のICU入室で隣ベッド患者の線量は問題にならない。

* 投与患者：入院期間(入院日数×患者数) × 線量 × 病室内に滞在時間(壁ごと換気：1)。
* 隣室患者：投与患者が入院している間、隣室の病室内に滞在時間(壁ごと換気：1)。



表面汚染の拡大と内部被ばくの防止措置

汚染リスクがある場所を繰り返し等して、出入の際にはスリッパの履き替え等を行う。

汚染リスクの高い場所は、あらかじめ養生する。

処置を行う際には手袋やガウンを着用し、明らかな汚染の場合などには積極的に交換を行う。特に尿を扱う際には注意する。

汚染が認められた場合には、医療法施行規則別表第4に掲げる濃度の10分1以下になるように汚染を除去する。特別措置病室に係る基準、管理・運用及び行動規範に関するマニュアル(2022年10月)

緊急時対応にあたる場合の注意点

・できるかぎり妊婦さんは、緊急時対応を避ける。(可及的速やかに他の人と交代する。)

・患者に近接する際は、可能な限り**鉛プロテクター**を装着する。
鉛厚0.25mm:約20%低減
鉛厚0.5mm:約40%低減

・患者に触れる際は、**使い捨ての手袋**を着用する。

・尿や血液が跳ねて付着する場合に備え、必要に応じてマスクや保護メガネ等を着用する。

・尿や血液(特に尿)による**汚染拡大を可能な限り防止する**。

・患者と**近接する時間を極力短くする**。

・患者が自らの歩行による移動が難しい場合、患者との距離を確保するために、**車椅子**ではなく**ストレッチャー**を使用することが望ましい。
患者との距離 車椅子:約10-20cm?
ストレッチャー:約50cm?

**患者さんへのお願い
～放射能汚染物減量へのご協力について～**

特に通常の下着では、男性の股間部の放射能汚染率はほぼ100%となっており、ベッドシートまでの汚染もしばしばみられています。

今度、売店に協力をお願いし、超薄タイプのオムツやパッド(各2枚入)をご用意しました。今後は、**裏附投与当日～退院までの間オムツまたは尿取りパッドどちらかの着用を必須**とさせていただきます。

ご不便をおかけして大変申し訳ありませんが、ご理解ご協力の程どうかよろしくお願い申し上げます。

オムツパッドご使用の場合は、清潔可能なブリーチまたはのりテープを必ずご用意ください。(トランクス不可)

※女性用には、使い捨てコットンショーツもご用意があります。ご活用ください。

患者教育と院内連携～放射線安全管理+RI汚染ごみの削減～

放射線科外来(初診外来) 病棟看護部(入院後説明)

患者サポートセンター(入院前説明)

中/長期的目線での特別措置病室 ～遮蔽設備～

- ① 病室に遮蔽板を設置
- ② ベッド周りに遮蔽板を設置
- ③ 遮蔽板を埋め込んだ病室

デメリット
・密着。
・移動が重い

写真提供 近畿大学 細野真先生のご厚意

メリット
・普段からあるものが利用できるかも?
・遮蔽に安心感

デメリット
・特注品?
・普段の保管場所は?

メリット
・圧迫感が少なめ

中/長期的目線での特別措置病室 ～尿の管理～

- ① 患者さん自身が管理
- ② 尿道カテーテルの使用
- ③ R貯留槽に直接流入させる

デメリット
・患者さんが大変。
・常に着れるリスクあり。

メリット
・患者さん・医療従事者双方の被ばく低減
・病室境界に必要な遮蔽材の量を減らせる

デメリット
・尿回収時の被ばくと汚染リスク
・感染対策
・不要な被ばく
・病室境界に必要な遮蔽材の量を減らせる

メリット
・管理上の安心感
・ADLや理解力や低い方にも可

検討課題① 病室準備

治療時 臨床開始後 改裝工事後

検討課題① 病室準備



検討課題① 病室準備



本日の内容

・¹⁷⁷Lu-DOTATATE治療 当院の体制について

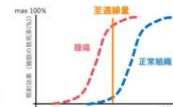
・特別措置病室のキホン

・特別措置病室の実際と今後

・放射線治療医からみたPRRTの適応と線量評価

放射線治療の効果

Bergonié-Tribondeauの法則



一般的に腫瘍の放射線感受性は、発生母地の正常細胞の放射線感受性に似て、放射線エネルギーが深く吸収されるほど大きい。
 ・血流量が豊富な（酸素分圧が高い）ほど大きい。
 放射線感受性になる要素となり、内因も多量あり。

腫瘍の正常組織のダメージとの兼ね合いで至適線量が決まる。S字カーブではあるが、基本的には線量が高いほど、致死率は高くなる。

$$\text{放射線感受性} \times \text{照射される放射線量} = \text{治療効果 (腫瘍)} - \text{毒性 (正常組織)}$$

放射線感受性、照射量と照射期間等もfactor

Comparison of commercial dosimetric software platforms in patients treated with ¹⁷⁷Lu-DOTATATE for peptide receptor radionuclide therapy

Erick Mora-Ramirez, Lore Santoro, Emmanuelle Cassol, Juan C. Ocampo-Ramos, Naomi Clayton, Gurjan Kayal, Soufiane Chouat, Dorian Trauchessec, Jean-Pierre Pouget... See all authors

First published: 06 July 2020 | <https://doi.org/10.1002/mp.14375> | Citations: 3

世界と日本の核医学事情

米国(人口約3億人)
 Radiation Oncology 専門医 15,000人
 Diagnostic Radiology 専門医 17,000人
 Nuclear Medicine 専門医 15,000人

日本(人口1.3億人)
 放射線診断学 専門医 1,000人
 放射線治療学 専門医 1,000人

Search query: (radiology[Affiliation]) AND (radionuclide therapy)
 Search query: (radiation oncology[Affiliation]) AND (radionuclide therapy)
 Search query: (nuclear medicine[Affiliation]) AND (radionuclide therapy)

世界と日本の核医学事情

RI内用療法に関するアンケート調査結果 (JASTRO 2020)

入院では何科の医師が受け持っていますか？

放射線治療科 27
 核医学科 9
 放射線診断科 6
 耳鼻咽喉科 1
 内科 6
 外科 3
 その他 1

まとめ

- 核医学治療はRadio-Theranosticsとして、今後、新たながん治療の柱になると期待されている。
- 急激なニーズの増加と治療キャパシティの不足が現在進行形で深刻化している。
- 核医学治療にはRI安全管理への理解と多職種連携が非常に重要である。

横浜市立大学放射線治療学 高野祥子
 tshoko@yokohama-cu.ac.jp

【資料：開催時のプログラム】

公益社団法人日本放射線技術学会 中国・四国支部 核医学研究会

第 52 回 核医学研究会（夢工房）プログラム

日 時：令和 6 年 7 月 7 日（日）10：00 ～ 15：00

開催方式：現地開催

会 場：岡山大学 鹿田キャンパス内 J-Hall（Junko Fukutake Hall）

総合司会：愛媛大学医学部附属病院 石村 隼人

午前の部

1. 開会挨拶・注意事項 10：00 ～ 10：05

2. 一般講演 10：05 ～ 11：00

座長：香川大学医学部附属病院 植原 佑輔

1) 「食道がんの術後リンパ瘻に対するリンパ管シンチグラフィが有用であった症例」

川崎医科大学総合医療センター 吉田 誠

2) 「脳血流シンチグラフィ～Twig-like MCA 疑いの症例～」

島根大学医学部附属病院 日野 勇希

3) 「脳血流シンチグラフィ ～マタステスト～」

愛媛大学医学部附属病院 和田 悠吾

4) 「ついに始まる婦人科センチネルリンパ節シンチグラフィ」

広島大学医学部附属病院 荒田 大介

5) 「I-123 MIBG 心筋シンチグラフィおよび F-18 FDG PET/CT で経験した稀な 2 症例」

徳島大学病院 阿實 翔太

3. 特別講演① 11：00 ～ 12：00

座長：広島市立安佐市民病院 古田 明大

「臨床を支える画質評価：Hone Graph が目指す未来」

豊橋市民病院 放射線技術室 市川 肇 先生

休憩（12：00 ～ 13：00）

午後の部

4. 教えて！核医学あるあるネタ 13：00 ～ 13：50

座長：松江赤十字病院 陰山 真吾

1) 「SPECT 検査における適切なコリメータの選択」

香川大学医学部附属病院 植原 佑輔

2) 「私の経験した核医学あるある」

徳島大学病院 高志 智

3) 「こどもの検査こまっています。」

山口大学病院 安野 成美

4) 「キュリーメータのあれこれ」

愛媛大学医学部附属病院 根津 翔吾

5) 「核医学初心者あるある」

鳥取大学医学部附属病院 大原 桃子

6) 「核医学検査の血管外漏出にもほどがある」

川崎医科大学附属病院 阿部 俊憲

7) 「PET 検査における待機時間中に遭遇したトラブルの報告」

高知医療センター 核医学検査科 岡崎 敬介

8) 「装置更新したら見直してみよう」

松江市立病院 小林 直紘

5. 調査報告 13：50 ～ 14：10

座長：広島大学病院 高内 孔明

「中国四国地方における核医学治療の運用実施アンケート調査報告」

高知大学医学部附属病院 林 直弥

6. 特別講演② 14：10 ～ 15：00

座長：広島大学病院 高内 孔明

「核医学治療の現状と将来展望」

横浜市立大学大学院医学研究科 放射線治療学 高野 祥子 先生

7. 閉会挨拶

公益社団法人日本放射線技術学会 中国・四国支部 核医学研究会（夢工房）

代表世話人：島根大学医学部附属病院 矢田 伸広