

NUCLEAR MEDICINE IN CLINIC

臨床核医学

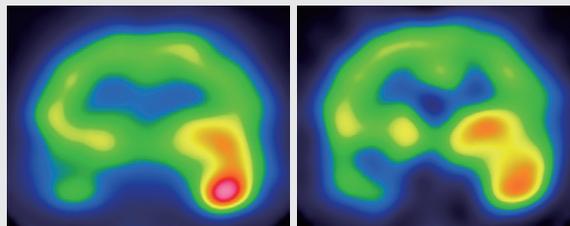
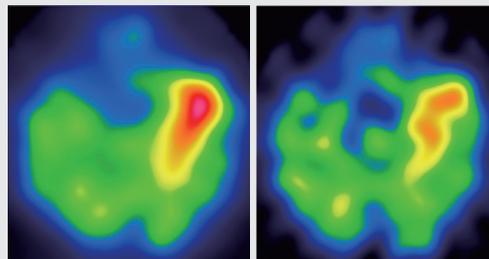
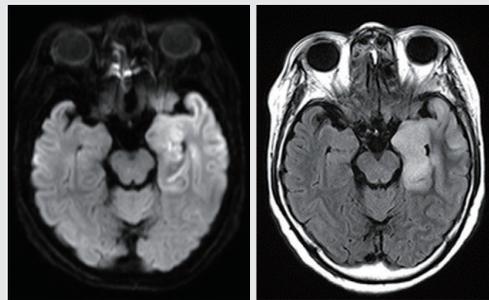
2019

Vol.52 No.4

7月号 49~64頁

放射線診療研究会

1968年創刊通算250号(奇数月刊行)

<http://www.meteo-intergate.com>(本誌論文検索用)*See Page 50*ホームページ・Online版 www.rinshokaku.com

- [症例報告] 単純ヘルペス脳炎における¹²³I-IMP脳血流SPECT超早期像…………… 50
猪狩 知美
- [TOPICS from ANM] 冠動脈CTと負荷心筋血流SPECTを用いた慢性冠動脈疾患の
リスク層別化の有用性…………… 54
桐山 智成
- [連載 核医学物理] PET装置の開発 その1. シンチレータ結晶編…………… 58
高橋 美和子

症例報告

単純ヘルペス脳炎における ^{123}I -IMP脳血流SPECT超早期像Super-early images of brain perfusion SPECT using ^{123}I -IMP in herpes simplex encephalitis

猪狩 知美 IKARI Tomomi 井上 優介 INOUE Yusuke 原 敏将 HARA Toshimasa
三井 康平 MITSUI Kohei

Key Words : SPECT, ^{123}I -IMP, herpes simplex encephalitis

《はじめに》

^{123}I -IMPの脳における初回取り込みは脳血流をよく反映し、 ^{123}I -IMP脳血流シンチグラフィは高血流と低血流のコントラストが高い^{1, 2)}。静注後、脳に十分集積するのを待って15~30分後から25~40分間かけて早期像を撮像するのが標準的であるが、高血流域では洗い出しが速く、コントラストは経時的に低下する³⁻⁵⁾。静注後10分以内に撮像した超早期像は高いコントラストで高血流を可視化することが想定されるが、脳集積が低い時点での短時間収集の画像であり、通常の2検出器型ガンマカメラでは高画質の画像は得にくく、一般的には用いられてない。しかしながら、高血流域は低血流域よりも低カウントによる画質低下の影響を受けにくく、2検出器型ガンマカメラを用いて超早期像が虚血後過灌流の評価に貢献しうることが示唆されている⁶⁾。我々は、 ^{123}I -IMP脳血流シンチグラフィの超早期像で高血流域が明瞭に描出

された単純ヘルペス脳炎患者を経験したので報告する。

《症例》

65歳の女性。1週間前より上気道感染の症状を認め、近医で感冒薬が処方された。その後、39度台の発熱と見当識障害を認め、前医に救急搬送された。頭部単純CT検査では、左側頭葉内側の軽度の腫脹と吸収値の低下を認めた。単純ヘルペス脳炎が疑われ、治療目的に当院に転院となった。既往歴に2型糖尿病があり、特記すべき家族歴はなかった。来院時、38.4度の発熱と軽度の項部硬直を認め、Glasgow Coma ScaleはE3V1M5であった。血液検査では炎症反応を含めて特記すべき所見を認めなかった。髄液検査では細胞数増加(単核球88%)、蛋白増加を認めた。入院初日に頭部MRI検査が施行された。左側頭葉の内側および先端の灰白質は肥厚し、拡散強調画像、T2強調

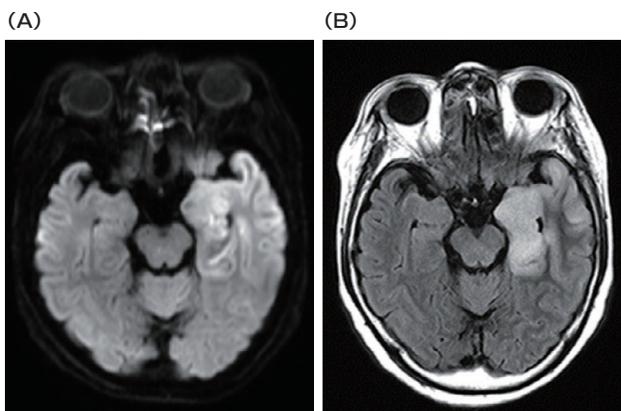


図1 MRI
拡散強調画像(A)とFLAIR像(B)で左側頭葉に高信号域を認める。

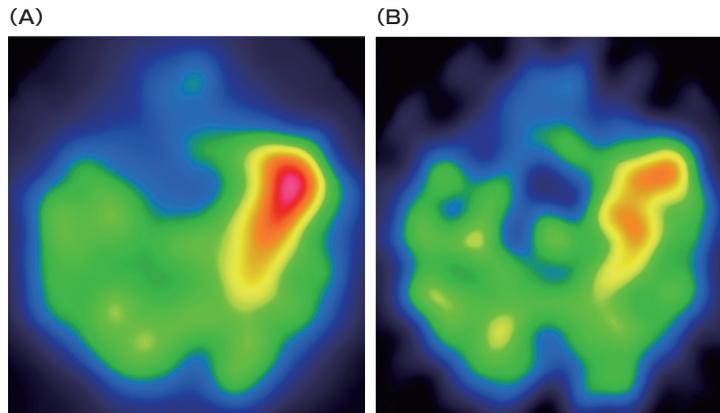


図2 ^{123}I -IMP脳血流SPECT軸位断像
超早期像(A)および早期像(B)で、MRI上の異常信号部位に対応する集積増加域を認め、特に超早期像で対側とのコントラストが高い。

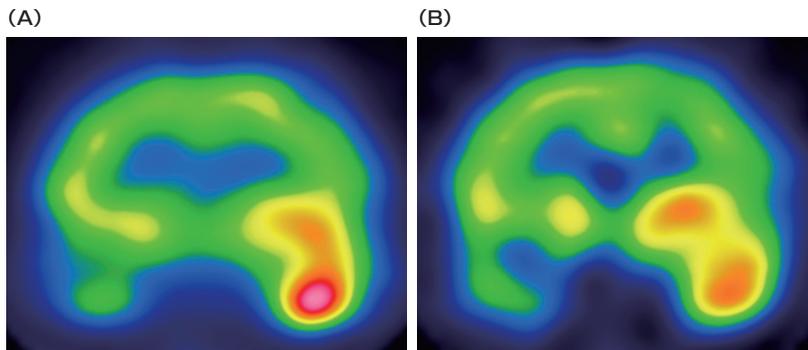


図3 ^{123}I -IMP脳血流SPECT冠状断像
超早期像(A)および早期像(B)で左側頭葉を中心とした集積増加域を認め、超早期像でコントラストが高いことが確認される。

画像およびFLAIR像で左側の島、眼窩回背側から前部帯状回の灰白質に及ぶ高信号域を認めた(図1)。単純ヘルペス脳炎の臨床診断でアシクロビルが投与され、併用してステロイドパルス療法とレベチラセタムの投与が行われた。後日、髄液HSV-DNA PCRで 3.4×10^4 copy/mlと陽性の結果が示され、単純ヘルペス脳炎と確定診断された。

入院9日目に ^{123}I -IMP脳血流シンチグラフィが施行された。 ^{123}I -IMP 167MBqを静注し、直後からgraph plot法による脳血流の定量評価のために2分間の平面動態撮像を行った。超早期像と通常の早期像のデータはそれぞれ静注4分後から6分間と静注15分後から30分間収集した。撮像には低中エネルギーコリメータを装着した2検出器型ガンマカメラ(シーメンス社製e.cam)を用いた。超早期像と早期像で左側頭葉内側を中心に集積増加域を認め、MRIで指摘された異常信号域と対応

した(図2, 3)。超早期像と早期像それぞれに径20mmの円形の関心領域を集積増加域と対側の正常域に置き、平均カウントの比をコントラスト比として算出すると、超早期像で1.69、早期像で1.38であり超早期像の方が早期像よりもコントラスト比が高かった。

入院3日目には解熱を認め、8日目には軽度ではあるが意識障害の改善を認めた。16日目に髄液HSV-DNAの陰転化を確認してアシクロビル投与を終了し、入院36病日にリハビリ目的に転院した。

《考 察》

単純ヘルペス脳炎は散発性致死性脳炎の中で最も一般的な病因である⁷⁾。年長児から高齢者まで幅広い年代に発症し、発熱、頭痛や意識障害などの脳炎の典型的な症状の他、失語、食欲不振や痙攣発作は単純ヘルペス脳炎に特徴的な症状と報告

されている⁷⁾。病理組織学的には側頭葉内側や前頭葉下面の大脳皮質の炎症や鬱血を反映した出血性壊死を特徴とし、島皮質、帯状回や対側の対側の大脳半球の皮質などに進展することもある⁸⁾。確定診断はPCR法による髄液中のHSV-DNAの検出によりなされる⁹⁾。未治療での死亡率は70%と高く、アシクロピルの投与で10-15%にまで低下するが、死亡率と高度後遺症を含めた転帰不良率は依然として高いため、単純ヘルペス脳炎を疑った時点での早期治療が重要である⁹⁾。

単純ヘルペス脳炎の急性期では頭部単純CT検査で異常を捉えることは困難である⁷⁾。単純ヘルペス脳炎が疑われる患者では頭部MRI検査の施行が強く推奨され、可及的速やかに行われるべきとされる⁹⁾。T2強調画像やFLAIR像で側頭葉や大脳辺縁系などの高信号域が描出される^{7, 10, 11)}。83~96%で側頭葉に、4~17%で大脳辺縁系などの側頭葉以外に異常を認め、61~79%で片側性に、20~21%で両側性に異常を認めると報告されている⁹⁾。頭部MRI検査は診断の他、治療効果判定にも有用である¹⁰⁾。脳血流シンチグラフィでは、一側の側頭葉の限局的な高血流は単純ヘルペス脳炎に特徴的な所見と報告される^{12, 13)}。炎症による血流増加や血管新生を捉えていると考えられている¹³⁾。高血流域はMRIのT2強調画像での高信号域と一致することが知られている¹³⁾。慢性期では脳炎の終息に伴い、脳実質が萎縮し代謝の低下を起こして低血流となる¹³⁾。

¹²³I-IMPは脳での初回循環抽出率が高く、脳内での初回取り込みは脳血流をよく反映するため、高血流域と低血流域のコントラストは高い^{1, 2)}。一方で、¹²³I-IMPの脳組織からの洗い出しは高血流域の方が低血流域よりも速いため、高血流域と低血流域のコントラストは時間の経過とともに低下する³⁻⁵⁾。¹²³I-IMP静注後10分以内に撮像された超早期像は画質は低いもののコントラストが高く、虚血後過灌流の評価において、早期像に超早期像を追加することが有用だったことが報告されている⁶⁾。

今回、単純ヘルペス脳炎患者において、通常の脳血流SPECT早期像に加えて静注4分後から6分間の超早期像を撮像した。超早期像、早期像ともにMRIのT2強調画像の高信号域と対応する領域で集積増加域を認めた。超早期像は早期像よりも高いコントラスト比を示したが、超早期像がよ

り忠実に血流増加の程度を反映していることが想定される。軽度の血流増加の場合には、早期像で検出できない血流増加を超早期像で描出できるかもしれない。また、長時間の安静臥床が困難な場合には、超早期像で単純ヘルペス脳炎に特徴的な一側の側頭葉の限局性の高血流を確認できれば、通常の早期像の撮像を省略し、検査時間の短縮に貢献する可能性も考えられる。

診療ガイドラインでは単純ヘルペス脳炎には頭部MRI検査が強く推奨されている⁹⁾。しかしながら、頭部MRI検査では長時間の安静保持が必要であるため、意識障害あるいは精神症状の強い急性期の患者では検査困難な場合がある。また、MRI非対応の心臓ペースメーカーや体内金属など、MRI検査を受けることができない患者も存在する。脳血流シンチグラフィの高血流域とMRIのT2強調画像での高信号域は一致することが知られている¹³⁾。通常の2検出器型ガンマカメラによる¹²³I-IMP脳血流SPECT超早期像は短時間で検査が可能であり、超早期像は頭部MRI検査が施行できない患者の代替検査として有用な可能性が示唆された。また虚血後過灌流や単純ヘルペス脳炎以外に、てんかんやミトコンドリア脳筋症の発作時などの高血流を起こす他の疾患の血流評価にも、脳血流SPECT超早期像は有用な可能性が期待できる。

《参考文献》

- 1) Matsuda H, Li YM, Higashi S, et al. Comparative SPECT study of stroke using Tc-99m ECD, I-123 IMP, and Tc-99m HMPAO. Clin Nucl Med 1993; 18: 754-8.
- 2) Tsuchida T, Nishizawa S, Yonekura Y, et al. SPECT images of technetium 99m-ethyl cysteinyl dimer in cerebrovascular disease: comparison with other cerebral perfusion tracers and PET. J Nucl Med 1994; 35: 27-31.
- 3) Nishizawa S, Tanada S, Yonekura Y, et al. Regional dynamics of N isopropyl-(¹²³I) p-iodoamphetamine in human brain. J Nucl Med 1989; 30: 150-6.
- 4) Takeshita G, Toyama H, Nakane K, et al. Minor changes in regional cerebral blood flow revealed by the early distribution of I-123 IMP in brain. Radiat Med 1991; 9: 196-201.

- 5) Yonekura Y, Nishizawa S, Mukai T, et al. Functional mapping of flow and back-diffusion rate of N-isopropyl-p-iodoamphetamine in human brain. *J Nucl Med* 1993; 34: 839-844.
- 6) Inoue Y, Hara T, Ikari T, et al. Super-early images of brain perfusion SPECT using ¹²³I-IMP for the assessment of hyperperfusion in stroke patients. *Ann Nucl Med* 2018; 32: 695-701.
- 7) Koeller KK, Shih RY. Viral and prion infections of the central nervous system: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics* 2017; 37: 199-233.
- 8) Love S, Wiley CA. Viral diseases. *Greenfields Neuropathology*, Vol 2, 7th Ed, Graham D, Lanos PL (eds), Edward Arnold, London, 2002; 19-23.
- 9) 「単純ヘルペス脳炎診療ガイドライン」作成委員会. 単純ヘルペス脳炎診療ガイドライン 2017. 南江堂 2017: 30-5.
- 10) Tien RD, Felsberg GJ, Osumi AK. Herpesvirus infections of the CNS: MR findings. *AJR* 1993; 161: 167-76.
- 11) Soares BP, Provenzale JM. Imaging of herpesvirus infections of the CNS. *AJR* 2016; 206: 39-48.
- 12) Launes J, Nikkinen P, Lindroth L, et al. Diagnosis of acute simplex encephalitis by brain perfusion single photon emission computed tomography. *Lancet* 1988; 1: 1188-91.
- 13) Schmidbauer M, Podreka I, Wimberger D, et al. SPECT and MR imaging in herpes simplex encephalitis. *J Comput Assist Tomogr* 1991; 15: 811-5.

冠動脈CTと負荷心筋血流SPECTを用いた慢性冠動脈疾患のリスク層別化の有用性

Feasibility of combined risk stratification with coronary CT angiography and stress myocardial SPECT in patients with chronic coronary artery disease

Annals of Nuclear Medicine 2018; 32: P22-33

桐山 智成¹⁾ KIRIYAMA Tomonari 福嶋 善光¹⁾ FUKUSHIMA Yoshimitsu 林 宏光¹⁾ HAYASHI Hiromitsu
高野 仁司²⁾ TAKANO Hitoshi 汲田 伸一郎¹⁾ KUMITA Shin-ichiro

《Ⅰ. 背景・研究目的》

急性冠症候群の原因のおよそ3分の2は高度狭窄を示さない脆弱プラークの破綻とされている。また、急性冠症候群を発症した症例の40%はSPECTで正常または軽微の異常であったと報告もある。一方、冠動脈CTで得られる狭窄の数や位置、脆弱プラークを疑う所見の有無が虚血とは独立した予後予測因子であると注目されている。本研究の目的は冠動脈CTと心筋血流SPECTから得られる情報と予後との関係を調査することである。

《Ⅱ. 対象・研究方法》

6ヶ月以内(平均37.9±37.2日)に負荷心筋血流SPECTと冠動脈CTが施行された連続167例のうち転帰を追跡できた157例を対象とした。急性冠症候群、冠動脈バイパス術後、慢性腎臓病(Cre>2.0ml/dl)の非透析症例、ヨードアレルギー、妊娠、画質不良でCTが読影できない場合、2つの検査間に心事故や再灌流療法が施行された症例は除外した。

CTはGE社製64列CT(LightSpeed VCT)で撮影を行い、冠動脈石灰化スコアを算出、読影ではAHA 15セグメントモデルに従って、各セグメントの狭窄(>50%)および高リスクプラーク(20%以上の陽性リモデリングかつCT値<30HU)の有

無を判定した。

負荷心筋血流SPECTは安静先行の1日法でTc-TFを安静時296MBq、負荷時740MBqを投与し、GE社製ガンマカメラ(Infinia)で撮影した。運動負荷は症候限界または目的心拍数の85%以上を達成し、薬剤負荷は6分間のアデノシン投与で行った。読影はCTの結果を参照せずに、2名の読影医がSSS、SDSおよびSRSを判定した。負荷後のスタニング(5%以上のLVEF低下)、一過性心拡大(視覚的に明瞭もしくはTID比が運動負荷>1.22または薬剤負荷>1.36)も判定した。

一次エンドポイントをMACE(心臓死、非致死性心筋梗塞、入院を必要とする不安定狭心症)、二次エンドポイントを検査60日以降の再灌流療法とし、すべての症例で少なくとも1年以上(平均45±19ヶ月、12-82ヶ月)の経過観察を行った。

《Ⅲ. 結果》

経過を追跡し得た157症例の内訳は男性120例(76%)、年齢69±8.9歳(41-90歳)、糖尿病53例(34%)、高脂血症111例(71%)、高血圧129例(82%)、現喫煙者68例(43%)、肥満(BMI>27)25例(16%)、心筋梗塞の既往41例(26%)、PCIの既往50例(32%)であった。検査前リスクは中等度59例(38%)、高度29例(18%)であり、残り69例(44%)は冠動脈疾患が既知であった。

1) 日本医科大学放射線医学 〒113-0022 東京都文京区千駄木1-1-5日本医科大学付属病院
TEL: 03-3822-2131 (代表) FAX: 03-5685-1795 E-mail: s7026@nms.ac.jp

Department of Radiology, Graduate School of Radiology, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8603, Japan

2) 日本医科大学循環器内科学

Division of Cardiology, Hepatology, Geriatrics, and Integrated Medicine, Department of Internal Medicine, Nippon Medical School, Tokyo, Japan

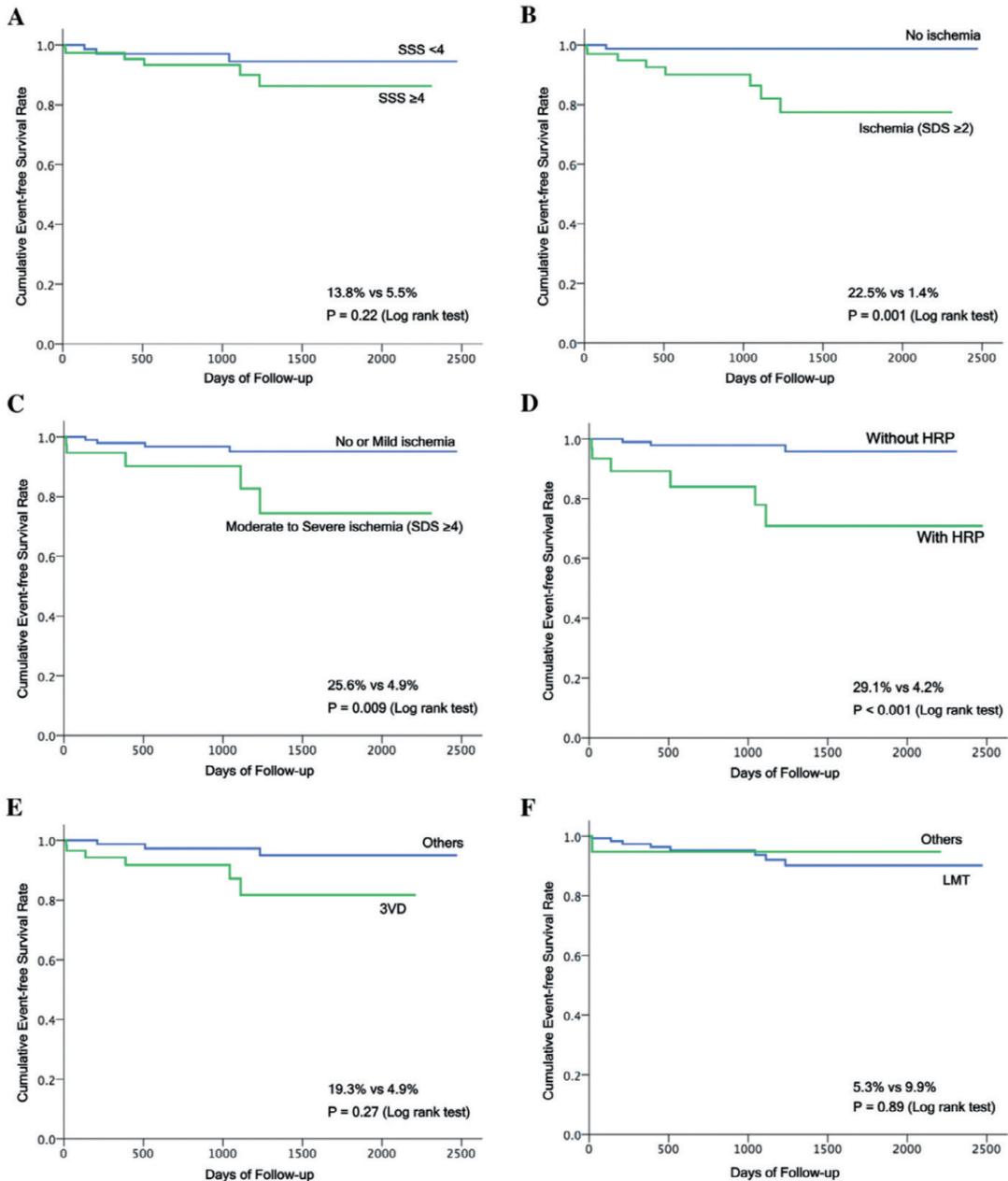


図1 一次エンドポイントのカプラン・マイヤー生存曲線。心筋虚血(SDS2以上), 中等度から高度の虚血(SDS4以上) および高リスクプラークを有する群では有意にエンドポイントの発生が多かった。SSS : summed stress score, SDS : summed difference score, HRP : 高リスクプラーク, 3VD : 3枝病変, LMT : 左主幹部病変 (ANM2018; 32: 22-33)

SPECTは115名(73%)が運動負荷で行われた。SSS 0点が58例(37%), 1-3点が16例(10%), 4-7点が14例(9%), SSS 8点以上が67例(43%), 心筋虚血(SDS 2以上)は65例(41%), SDS 4以上は43例(27%)であった。CTは15例(10%)が狭窄なし, 1枝病変32例(20%), 2枝病変45例(29%), 3枝病変65例(41%), 左主幹部病変21例(13%)で

あった。高リスクプラークは33例(21%)に認められた。

転帰は9例(6%)が一次エンドポイントに達した。内訳は心臓死1例(0.6%), 心筋梗塞5例(3%), 不安定狭心症3例(2%)であった。16例(10%)で検査60日以降に再灌流が施行された。

一次エンドポイントの生存曲線を図1に示す。SDS 2点以上, SDS 4点以上, 高リスクプラーク

表1 一次エンドポイントの予測因子

(ANM2018; 32: 22-33)

Variable	MACE		P value
	+	-	
	n=9	n=148	
SSS	11.4±10.2	7.2±8.2	0.139
SSS≥4	6 (67%)	77 (52%)	0.502
SDS	3.9±2.4	2.3±3.6	0.043
SDS≥4	5 (56%)	38 (26%)	0.064
Ischemia (SDS≥2)	8 (89%)	57 (39%)	0.004
SRS	7.6±9.2	4.9±7.0	0.434
Agatston score	1345±2636	856±1302	0.312
HRP	6 (67%)	27 (18%)	0.003
Diseased vessels	2.6±0.7	2.0±1.0	0.093
3VD	6 (67%)	59 (40%)	0.114
LMT	1 (1%)	20 (14%)	0.838
Male	6 (67%)	114 (77%)	0.478
Age (years)	63.3±7.6	68.8±8.9	0.072
Diabetes	3 (33%)	50 (34%)	0.978
Hypercholesterolemia	6 (67%)	105 (71%)	0.785
Hypertension	8 (89%)	121 (82%)	0.589
Current smoking	5 (56%)	63 (43%)	0.447
Obesity (BMI>27 kg/m ²)	2 (22%)	23 (16%)	0.596
Old myocardial infarction	2 (22%)	39 (26%)	0.785
History of PCI	3 (33%)	47 (32%)	0.922
Variable	P value	Odds ratio	CI
HRP	0.006	8.020	1.793-35.878
Ischemia (SDS ≥ 2)	0.025	11.487	1.355-97.374

SSS summed stress score, SDS summed difference score, SRS summed rest score, HRP high-risk plaque, 3VD three-vessel disease, LMT left main trunk, BMI body mass index, PCI percutaneous coronary intervention, CI confidence interval

クありで有意に心事故が多かった。二次エンドポイント(図非提示)ではSSS 4点以上(P=0.046)と3枝病変(P<0.001)で有意に再灌流が多かった。

一次エンドポイントに対する単変量解析および多変量解析の結果を表1に示す。単変量解析では高いSDS(P=0.043)、心筋虚血(SDS≥2)(P=0.027)、高リスクプラーク(P=0.003)が有意な心事故予測因子であった。多変量解析(ロジスティック回帰分析)では高リスクプラーク(HR=8.02, P=0.006)、心筋虚血(HR=11.487, P=0.025)ともに有意な予測因子であった。二次エンドポイント(非提示)では単変量解析で狭窄数(P=0.003)、3枝病変(P=0.006)および高脂血症(P=0.04)、多変量解析で3枝病変(HR=4.981, P=0.009)のみが有意な予測因子であった。

一次エンドポイントの予測において、図2に示すように心筋虚血(SDS≥2)と高リスクプラーク

を併せて用いたほうが、いずれか単体より高い予測が可能であった。

《IV. 考察》

CTで得られる脆弱プラークの有無はSPECTの虚血情報と同等に予後予測に有用であり、両者の併用はより精度の高い予後予測に繋がること示唆された。

SPECTでは左主幹部病変や多枝病変の偽陰性や過小評価が問題となること、急性冠症候群の原因の多くが有意狭窄を示さない脆弱プラークの破綻であることから、MACE(一次エンドポイント)の予測には心筋血流情報に冠動脈の形態的情報を加味する有用性があると考えられた。また、実臨床では虚血の多い症例は検査後早期(60日以内)に再灌流が行われるため、安定プラークの陰性リモデリングの進行による安定狭心症の増悪(二次

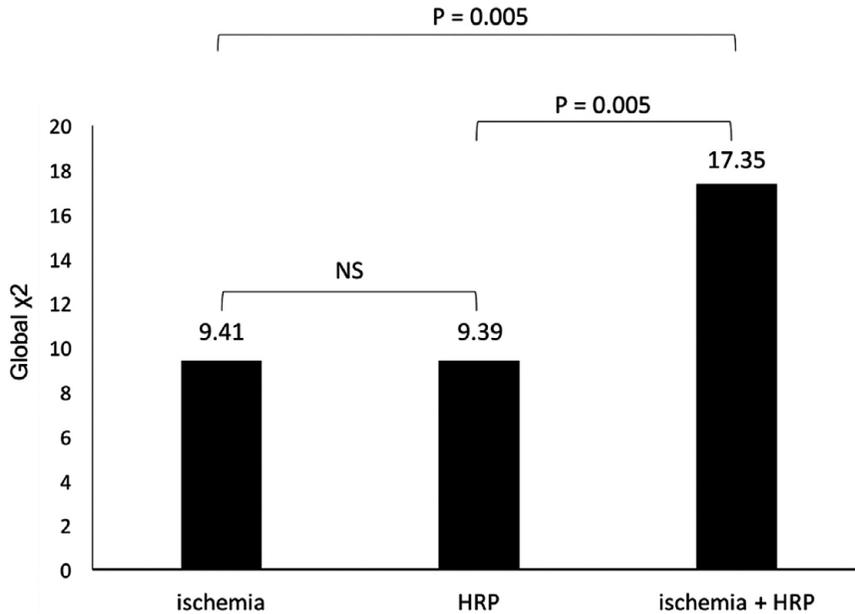


図2 一次エンドポイント予測におけるロジスティック回帰分析モデル。心筋虚血あるいは高リスクプラーク単体よりも両者を併用したモデルで一次エンドポイントの予測は有意に高かった。
HRP：高リスクプラーク (ANM2018; 32: 22-33)

エンドポイント)の予測にはMACEとは違い虚血量よりも狭窄数が関連していたと考えられた。

《V. 結論》

臨床リスクファクターとSPECTによる予後評価にCTで得られる形態的情報を併用することで、より精度の高い予後評価・リスク層別化が可能となり得る。

連載 核医学物理

PET装置の開発 その1. シンチレータ結晶編

高橋 美和子 TAKAHASHI Miwako 錦戸 文彦 NISHIKIDO Fumihiko 山谷 泰賀 YAMAYA Taiga

私たちは主に ^{18}F -FDGを利用して、がん診療においてはその進展範囲や悪性度を診断しています。癌腫によってはかなり高い精度です。組織を採取するには難しい心疾患(^{18}F -FDG-PETの保険適応は心サルコイドーシス)でも有用性が高く、また、そもそも生検では診断できないような、てんかん焦点診断など、その活躍の場は多岐にわたります。その基盤をなす専門領域も多くの学問分野を含み(たとえば、核物理, 放射性医薬品, 放射線計測, 品質・安全管理), 医学的知識と合わせて解釈され、患者に還元されています。本シリーズでは、なか

でも計測装置の柱であるPET装置に注目し、その開発過程を知り、核医学の理解を深めるための一助になればと考えています。核医学は、現状でも多くの課題を抱えています。核医学を支える多くの専門家がその問題点にとどつき、解決に向かうには、双方に基礎領域を共有することが重要と考えます。今回は、「PET装置の開発」と題して、放射線医学総合研究所・イメージング物理研究グループが、PET開発のプロセスと基礎をQ and Aスタイルで紹介していきます。

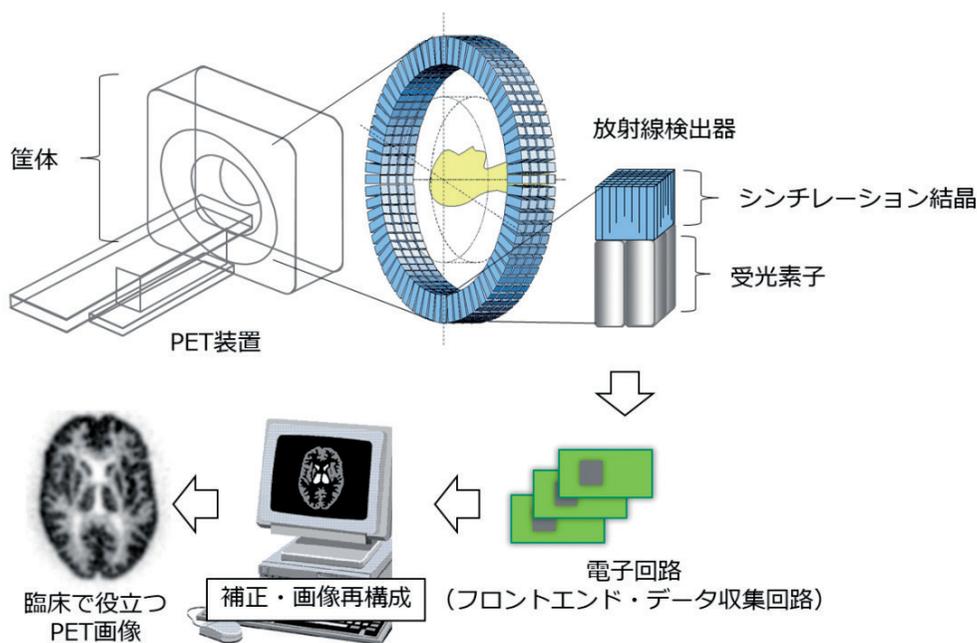


図1 PET装置開発の要素

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門放射線医学総合研究所 先進核医学基盤研究部
イメージング物理研究グループ 〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1
TEL : 043-206-3260 FAX : 043-206-0819 E-mail : takahashi.miwako@qst.go.jp

Imaging Physics Group

Dept. of Nuclear Medicine Science

National Institute of Radiological Sciences (NIRS), in National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)

Q. 医学にもっと役立つ新しいPETを作りたいのですが、PET装置を作るためのプロセスにはどのようなステップがありますか？

A. 開発要素を大別すると、放射線検出器、ソフトウェア、^{きょうたい}筐体の3つになります。そのうち、研究要素が強いのが前者の2つで、511keVの放射線を検出し、臨床で役立つような画像にするまでに、さらに次のような要素に分けられます；シンチレーション結晶、受光素子、電子回路(フロントエンド回路、データ収集回路)、データ補正、画像再構成などです(図1)。放射線検出器は、入射放射線の位置情報のほか、エネルギー情報とタイミング信号の取得も行います。ソフトウェアには、他のModalityとの組み合わせなども含まれます。それぞれに高精度化への工夫があります。

では、今回はシンチレータ結晶について詳しくご紹介したいと思います。

《1. シンチレータ結晶》

Q. PET装置におけるシンチレータ結晶の役割は何ですか？

A. 511keVの消滅放射線を停止させた後に可視光に変換し、次要素である受光素子へ情報を伝えます。光を利用することは情報伝達法として最も速い方法と言えます。

結晶の最先端の研究や実物は、下記ホームページでみることができます。

東北大学 先端結晶工学研究部 吉川研究室

<http://yoshikawa-lab.imr.tohoku.ac.jp/theme/scintillator.html>

Q. シンチレータ結晶にはどのようなものがありますか？

A. 大きくわけて有機シンチレータと無機シンチレータがありますが、PETで使われるのは無機固体シンチレータのみです。有機シンチレータは単一分子のエネルギー準位間の遷移によって発光します。分子の種類に依存するため、気体あるいは個体など物理的状態には依存しません。一方、無機固体シンチレータは材料の結晶格子で決まるエネルギー状態の遷移によって発光します。前者の多くは発光が速いという利点がありますが、511keVに対する検出効率が低いためPET装置に向きません。一方、無機固体シンチレータの中で

密度の高いものが核医学領域で使われています。たとえば、NaI(Tl)、BGO、GSO、LSOなどです。新たな材料や添加物を加えるなどで発光効率や減衰時間を調整したりなど、新しい無機固体シンチレータの研究が進められています。

Q. そもそもどうして結晶が光るのでしょうか？

A. 消滅放射線がシンチレータと相互作用を起こした際に生成される光電子や反跳電子によって、シンチレータのエネルギー状態が励起され、基底状態へ遷移することで光を発生します(図2)。

電子や陽電子のような荷電粒子性放射線は電荷を持つため、物質中を通過すると、物質の電子とクーロン力により相互作用します。一方、消滅放射線や γ 線のような“非荷電性”放射線は、クーロン力を伴わないため、物質と相互作用を起こさないと何の痕跡も残さず突き抜け、その存在を知り得ません。消滅放射線や γ 線と物質の相互作用として重要なものは、光電吸収、コンプトン散乱、電子対生成があります(ただし、電子対生成は核医学で取り扱う γ 線のエネルギー領域ではほとんど起きません)。“荷電”粒子と物質との相互作用に比べると、“非荷電性”放射線である γ 線と物質との相互作用は急激で突然の変化、というイメージが妥当のようです。光電吸収では γ 線が完全に消失し、 γ 線のエネルギーを電子(光電子)が受け取ります。また、コンプトン散乱では消滅放射線や γ 線が散乱するときにエネルギーの一部を電子(反跳電子)に与えます。

シンチレータには材料の結晶格子で規定されるエネルギー状態があり、光電子・反跳電子の運動エネルギーによってシンチレータのエネルギー状態が励起され、基底状態へ遷移することで光を発生します。図2のように、電子が存在しうる軌道は離散的なエネルギー帯に規定されていて、電子にエネルギーが付与されると基底状態(価電子帯)から禁止帯を超えて伝導帯へ移行します。伝導帯から基底状態へ遷移する際、発光が起きます。ただし、このエネルギーギャップが可視光のエネルギーよりも大きい場合は、添加物を入れることで新たなエネルギー状態を形成します。新たに形成されたエネルギーギャップは小さくなり、可視光の放出確率を高めます。多くのシンチレータ結晶では紫～青色を発光し、そのエネルギーは3eV(光子1つあたり)くらいになります。消滅放射線

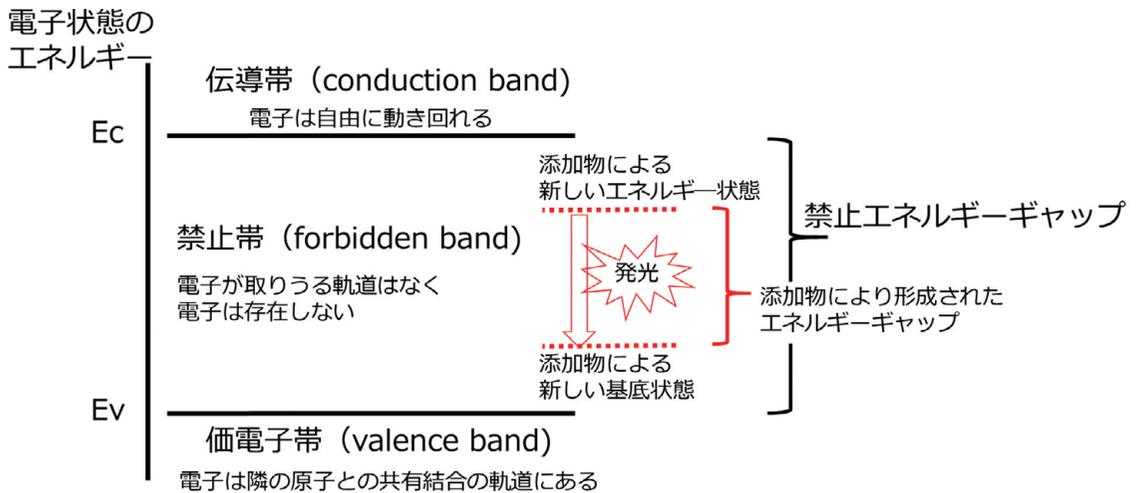


図2 シンチレータ結晶のエネルギー帯と発光過程のイメージ図

を可視光に変換する利点は、可視光エネルギーに対する受光素子の感度が高いということと、発光量(情報量)を多くできるということが挙げられます。発光現象を伴わない遷移過程も複数存在し、まとめてクエンチングとも呼ばれます。クエンチングは主には熱によるエネルギー損失です。

Q. PET用のシンチレータ結晶はどのようなものが理想的ですか？

A. 1)発光効率が高い。2)発光速度が速く、減衰時間が短い。3)光電吸収の確率が高い(光電吸収確率は原子番号の4~5乗に比例するため、原子番号が大きいほうが良い)。4)密度が大きい。5)発光波長に対して透明であること。6)高価でないこと。7)潮解性がないほうが望ましい。といった点が挙げられます。

Q. エネルギーを光に変換する以外の方法はありますか？

A. 放射線を半導体で直接検出する検出器も開発されていますが、一般的にPET用シンチレータよりも原子番号が小さい組成のため、消滅放射線の検出効率が高くないという欠点があります。また、伝導率(電気の流れやすさ)に温度依存性があり、高くなると電子が移動しにくくなり、情報伝達が遅くなるという欠点があります。このため、

低温で一定に保つ必要があります。

《補足》

1)「消滅放射線」と「 γ 線」は、しばしば同じように扱われ、放射線計測の本を読む際、混乱の原因ともなっている。これは、検出器側から見たら両者は同じなので説明しやすいから。しかし、厳密に言うと、陽子(電子の反物質)と電子の消滅過程によって放出される消滅放射線は、「原子核から放出される」と定義される γ 線とは区別される。

2)NaI(Tl)(Thallium activated sodium iodide, ヨウ化タリウムを添加したヨウ化ナトリウム)。1948年にHofstadterによって初めて発表された(R.Hofstadter, Phys. Rev. 74, 100)。それまでの有機物シンチレータに比べ高い発光量を持ち、当時、 γ 線計測に大きなインパクトを与え、今なお、ガンマカメラ・SPECTなどで広く使われている結晶である。発光量は1MeVのエネルギー付与に対し約38,000光子。様々なシンチレータの発光量はこの相対値で示されることが多く、現在、PETで広く使用されるシンチレータの一つであるLSOの発光量は相対値で約75(NaI(Tl)を100とする)。

NaI(Tl)は、LSOやBGOと比して密度が小さく、消滅放射線の検出効率が低い。また、発光減衰時間はそれぞれNaI(Tl) 230ns, LSO 41ns, とLSO

の方が短く、発光減衰時間が短いほうがPETには向いている。このためNaI(Tl)は現代のPETでは使われていない。

3)主な参考図書

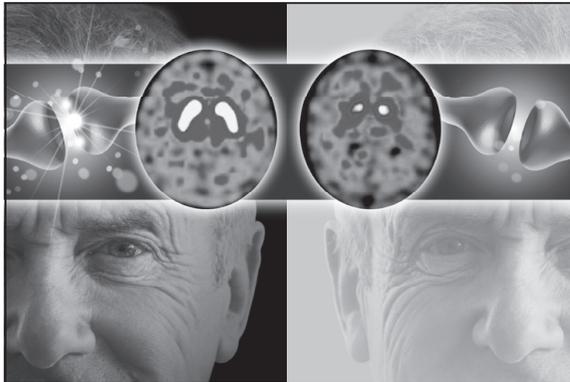
- ・放射線計測ハンドブック 第4版 Glenn F. Knoll, 共訳 神野郁夫 他, 株式会社オーム社
- ・核医学物理学 村山秀雄 編著 日本医学物理学学会 監修 国際文献社

編集 後記

今月から「連載 核医学物理」が始まりました。PET装置の開発に関する話題を5回シリーズでお届けする予定です。核医学関係者でも物理系は苦手だという読者も多いと思います。本号のシンチレータ結晶編では素朴な疑問に専門家がわかりやすく答えるという問答形式で書かれており、読みやすい内容になっております。次号もご期待ください。

問答形式といえば、一般市民に説明するパンフレットでもよく用いられており、一方的な講義や説明に比べて理解を深める効果があります。実地研修で行う問答形式では相手がどれだけ理解しているかを確認できるのでより効果的です。私も大学では核医学の学生実習で、馴染みの薄い核医学をなんとかわかってもらおうと問答しながら学生を指導しています。身近な内容から質疑応答し、ステップアップして理解させることができます。間に復習として授業スライドを見せながら自学させ、最後は実際の読影をしてもらいます。学生は習得する喜び、教育者は理解してもらった満足感を得ることが出来ます。私が受けていた頃の教育は父権主義的なところがありました。現代は目線をなるべく低くして相手の理解度を確認しながら進めていく教育が求められます。都内のある中学校では定期試験をやめて小テストを小刻みに行き、生徒の理解度を確認しながら教育したところ学力がアップしたそうです。その学校の校長は、定期試験は先生が生徒を単に評価するためのツールであり、必ずしも生徒のためになっていないと言います。世間ではネットに支配され情報が氾濫しています。学力低下が叫ばれる現代、これらの情報を正しく判断するためにも基礎力、学習能力、批判的な能力を養う、時代に合った教育の工夫が必要となるでしょう。

(編集委員長)



nihon
medi+physics

処方箋医薬品^(注)
放射性医薬品・脳疾患診断薬

薬価基準収載

ダットスキャン[®] 静注

放射性医薬品基準イオフルパン (123I) 注射液

注) 注意—医師等の処方箋により使用すること

®:登録商標

※効能・効果、用法・用量、禁忌を含む使用上の注意等は
添付文書をご参照ください。

(症例提供: 順天堂大学医学部附属順天堂医院)

資料請求先
日本メジフィジックス株式会社

〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号

製品に関するお問い合わせ先 | ☎ 0120-07-6941

弊社ホームページの“医療関係者専用情報”サイトで
SPECT検査について紹介しています。

<http://www.nmp.co.jp>

2015年1月作成

核医学装置QC用線源

装置のデータ精度に心配ありませんか？

ガンマカメラ検出器
精度管理用線源



⁵⁷Co 370MBq

PET検出器用校正線源



⁶⁸Ge

ドーズキャリブレーション用
チェック線源



⁶⁸Ge 37MBq

お問合せ・ご注文は

公益社団法人
日本アイソトープ協会 〒113-8941
Japan Radioisotope Association 東京都文京区本駒込2-28-45
医薬品・アイソトープ部 放射線源課 TEL: 03-5395-8031 FAX: 03-5395-8054

製品輸入元

株式会社 **千代田テクノロ** **Technol** 〒113-8681
東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル
URL: <http://www.c-technol.co.jp>
e-mail: ctc-master@c-technol.co.jp

FUJIFILM

Value from Innovation



放射性医薬品／神経内分泌腫瘍診断薬

処方箋医薬品[※]

薬価基準収載

オクトレオスキャン[®] 静注用セット

Octreoscan[®] Injection

インジウムペンテトレオチド (¹¹¹In) 注射液 調製用

[※]注意－医師等の処方箋により使用すること。

【禁忌(次の患者には投与しないこと)】

本剤の成分に対し過敏症の既往歴のある患者

【効能又は効果】

神経内分泌腫瘍の診断におけるソマトスタチン受容体シンチグラフィ
(効能又は効果に関連する使用上の注意)

神経内分泌腫瘍(NET)であってもソマトスタチン受容体(SSTR)を発現していない場合は検出できないことに留意すること。また、インスリンノーマについてはSSTRの発現が他のNETに比べて少ないため、本剤により検出できない場合があることに留意すること。

【用法及び用量】

1. インジウムペンテトレオチド(¹¹¹In)注射液の調製

バイアルAの全量をバイアルBに加えて振り混ぜた後、常温で30分間放置する。

2. ソマトスタチン受容体シンチグラフィ

通常、成人には本品111MBqを静脈内投与し、4時間後及び24時間後にガンマカメラを用いてシンチグラムを得る。必要に応じて、48時間後にもシンチグラムを得る。投与量は、患者の状態により適宜増減する。

必要に応じて、断層像を追加する。

【使用上の注意】

1. 慎重投与(次の患者には慎重に投与すること)

腎機能障害を有する患者(本剤は主に尿中に排泄されるため、被曝線量が増加する可能性がある。)

2. 重要な基本的注意

(1) 診断上の有益性が被曝による不利益を上回ると判断される場合にのみ投与することとし、投与量は最小限度にとどめること。

(2) オクトレオチド酢酸塩等のソマトスタチンアナログによる治療が行われている患者においては、本剤の腫瘍への集積が抑制され、診断能に影響を及ぼす可能性が考えられるため、オクトレオチド酢酸塩等の休薬を検討することが望ましい。なお、休薬することにより離脱症状が発現する可能性があるため、休薬の要否及び休薬期間は、患者の状態及び使用製剤を考慮して決めること。休薬する場合は、患者の症状の変化に十分注意すること。

3. 副作用

承認前の臨床試験における安全性評価対象症例(国内第Ⅲ相試験+国内追加第Ⅲ相試験)63例中、副作用は7例(11.1%)8件に認められ、主な副作用は、潮紅2件(3.2%)、ほてり2件(3.2%)であった。

また、海外で行われた臨床試験における安全性評価対象症例365例中、副作用は1例(0.3%)に潮紅、頭痛、各1件が認められた。

その他の副作用

以下のような副作用があらわれた場合には、症状に応じて適切な処置を行うこと。

	0.1～5%
精神・神経系	頭痛
血管障害	潮紅、ほてり
その他	熱感、ALT増加、AST増加

【承認条件】

医薬品リスク管理計画を策定の上、適切に実施すること。

※その他の使用上の注意等は添付文書をご参照ください。

製造販売元

富士フイルム 富山化学株式会社

資料請求先：〒104-0031 東京都中央区京橋 2-14-1 兼松ビル
ホームページ：http://fftc.fujifilm.co.jp

TEL03(5250)2620

輸入先：Mallinckrodt Medical B.V.(オランダ)

2018年10月作成

Canon

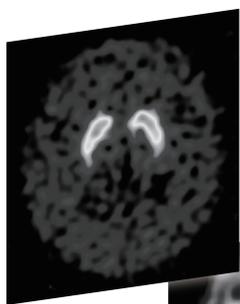
4倍の実効感度

従来の汎用装置*に対して、三つの検出器で1.5倍、ファンビームコリメータで2倍、3D-OSEM再構成で1.3倍、合計4倍のデータ収集効率を実現。高画質イメージング、短時間イメージング、さらに動態イメージングへの応用が可能です。

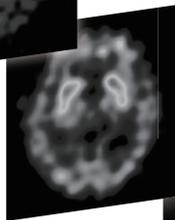
*二検出器型・LHERコリメータ・FBP再構成を想定。

7mmの空間分解能

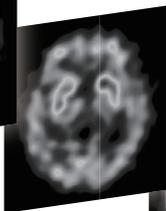
データ収集効率と空間分解能はトレードオフの関係。優れたデータ収集効率を有するからこそ、SPECT分解能7mmの超高分解能ファンビームコリメータが実用可能です。PETに迫る高分解能イメージングを追求します。



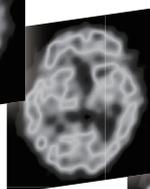
3H



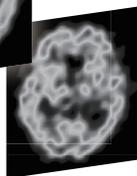
16 min



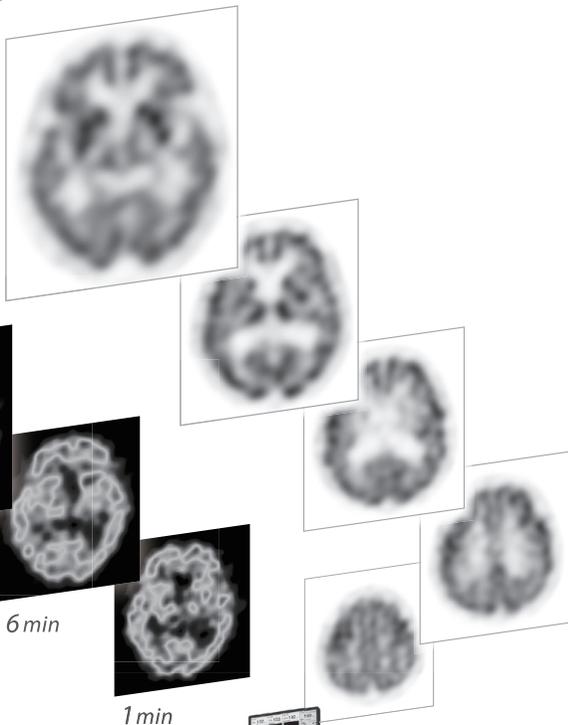
14 min



6 min



1 min



最高のSPECT画像を『GCA-9300R』で。

GCA-9300R™

To meet your demand for the highest quality.



デジタルガンマカメラ GCA-9300R
認証番号:225ADBZX00120000

キヤノンメディカルシステムズ株式会社 <https://jp.medical.canon>

東芝メディカルシステムズ株式会社は、2018年1月に「キヤノンメディカルシステムズ株式会社」へ社名変更いたしました。

Made For life

放射線診療研究会会長

橋本 順

〒259-1193 神奈川県伊勢原市下糟屋143 東海大学医学部専門診療学系画像診断学

臨床核医学編集委員長

百瀬 満 (発行者)

〒162-0033 杉並区清水2-5-5 百瀬医院 内科・循環器内科

TEL. 03-5311-3456 FAX. 03-5311-3457 E-mail: momose.mitsuru@twmu.ac.jp

臨床核医学編集委員

井上優介, 内山眞幸, 波田伸一郎, 高橋美和子, 橋本 順, 丸野廣大,

南本亮吾, 百瀬敏光

2019年7月22日発行