資料

国内の核医学検査における追加撮像の実態調査

加藤豊大¹ 市川 肇¹ 三輪建太² 奥田光一³ 澁谷孝行⁴ 長木昭男⁵ 對間博之⁶¹ 豊橋市民病院放射線技術室² 国際医療福祉大学保健医療学部放射線・情報科学科³ 金沢医科大学自然科学領域⁴ 金沢大学医薬保健研究域保健学系医療科学領域量子医療技術学講座⁵ 倉敷中央病院放射線技術部⁶ 茨城県立医療大学保健医療学部放射線技術科学科論文受付
2019年6月14日論文受理
2019年12月4日

Code No. 330

緒言

近年のガンマカメラおよび positron emission tomography (PET) 装置の進歩は著しく, computed tomography (CT) との複合装置の普及は PET/CT 装置の登場から急速に普及し, 今日では single photon emission computed tomography (SPECT)/CT 装置も一般的になりつつある. 画像処理技術は, コンピュータの高速化により逐次近似画像再構成法がほぼすべて

の施設で日常的に利用され, SPECT では減弱補正, 散乱線補正, コリメータ開口補正も一般的になった. また, 一部では standardized uptake value (SUV) を利用した定量画像や computer-assisted diagnosis (CAD) の利用も始まっている. 同様に PET においては, 装置によって高分解能画像や呼吸同期収集, 金属アーチファクト除去 (metal artifact reduction: MAR), 点応答関数 (point spread function: PSF) を用いた分解能補

A Nationwide Survey on Additional Scan in Nuclear Medicine Imaging

Toyohiro Kato,^{1*} Hajime Ichikawa,¹ Kenta Miwa,² Koichi Okuda,³ Takayuki Shibutani,⁴ Akio Nagaki,⁵ and Hiroyuki Tsushima⁶¹ Department of Radiology, Toyohashi Municipal Hospital² Department of Radiological Sciences, School of Health Science, International University of Health and Welfare³ Department of Physics, Kanazawa Medical University⁴ Department of Quantum Medical Technology, Faculty of Health Sciences, Kanazawa University⁵ Department of Radiological Technology, Kurashiki Central Hospital⁶ Department of Radiological Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Received June 14, 2019; Revision accepted December 4, 2019

Code No. 330

Summary

The aim of the present study was to clarify the routine protocols and the frequency of added or omitted imaging on nuclear medicine imaging in Japan. A nationwide survey on routine protocols and current state of added or omitted imaging in major nuclear medicine imaging were performed for Japanese nuclear medicine technologist. The survey showed that the routine protocols were almost 100% fixed, some of the routine protocols were found to be useful and percentage of imaging techniques such as single photon emission computed tomography/computed tomography that increased patient burden and reduced throughput were low. Furthermore, the survey showed that additional or omission imaging were frequently performed on bone scintigraphy and positron emission tomography and added or omitted judgements were often depend upon the rule of thumb by nuclear medicine technologist. In this study, we have concluded that the quality of examination and the diagnosis might depend on the knowledge of nuclear medicine technologist, performed added or omitted imaging.

Keywords: nuclear medicine imaging, routing protocol, evidence, additional scan, omission scan

*Corresponding author

正などさまざまな撮像方法や画像再構成・補正方法を容易に利用することが可能となった。

核医学検査は撮像時の異常所見やアーチファクトの有無により、通常行っている検査いわゆるルーチン検査に対して診断能の向上を目的として撮像や画像処理を追加することがしばしばある。例えば、骨シンチグラフィ（以下、骨シンチ）における SPECT または SECT/CT の追加は診断能を向上させる^{1~9)}、心筋血流シンチグラフィ（以下、心筋血流シンチ）におけるコリメータ開口補正機能付き ordered subset expectation maximization method (OSEM) 法の追加は病変部の歪みや部分容積効果による影響を低減させる^{10~12)}、PET における呼吸同期収集の追加は病変の検出能を向上させる^{13, 14)}、MAR の追加は金属アーチファクトが生じている部分の SUV の精度低下を改善する^{15, 16)}などが報告されている。これらのように、撮像や画像処理の追加は適切に行われることによって、ルーチン検査のみでは得られなかった新たな診断価値が見出されることは少なくない。一方で、施設の検査状況によっては患者一人に費すことができる検査時間が短く SPECT などの有用である追加撮像が困難である場合や所有する装置によっては呼吸同期収集または MAR などの収集方法や画像処理が行えない場合も考えられる。このように、施設によって撮像の方法、画像再構成・処理方法、出力画像が異なることが予想される。

核医学検査の実態調査は、日本アイソトープ協会による全国の核医学実態調査¹⁷⁾がある。この実態調査では核医学検査の検査件数の推移や装置の種類および台数については把握できるものの、撮像の方法、回数、出力画像については把握することができない。そのほかに国内の検査内容について調査した報告はないため、各施設がエビデンスに基づき正しく撮像されているかは明らかではない。厚生労働省の通達(医政発 0430 第 1 号)では診療放射線技師として読影の補助が明記されており、施設によっては追加撮像または撮像省略の判断を検査担当技師が行う場合も考えられ、検査の質更に診断の結果が技師の知識に左右される可能性がある。このような状況の中、検査において撮像の不足、あるいは過剰な追加撮像が行われていることが懸念され、診断目的に応じた検査プロトコルの確立が早急に求められる。追加撮像または撮像省略の実態を明らかにするためには、まず各施設のルーチン検査内容を把握し、ルーチン検査に対して何を追加し、何を省略しているのかを調査する必要がある。更に、これらの撮像内容や追加・省略に至るプロセスについてエビデンスを構築することが必要である。

そこで、われわれは国内の主な核医学検査におけるルーチン検査の内容、および追加撮像または撮像省略の頻度と判断基準についてアンケート調査し、それらの実態を明らかにすることを目的とした。

1. 方 法

アンケートは、公益社団法人日本放射線技術学会の会員を対象に同学会 web サイトで実施し、メールマガジンにてアンケートへの協力を要請した。なお、同施設であっても個々の技師の撮像方法に差がある可能性があるため、アンケート対象は診療放射線技師個人とした。したがって、アンケート結果には 1 施設から複数の回答を得る場合もあった。倫理的配慮のため、アンケートは回答者の自由意志で参加できるようにし、回答をもって同意を得たことを同 web サイトに掲示した。調査期間は 2017 年 10 月 4 日から 12 月 20 日までとし、アンケート内容は回答者の背景(施設形態、経験年数、核医学専門技師の取得の有無、装置の種類)、ルーチン検査の内容(ルーチン検査の有無、撮像方法、画像再構成法、画像処理・解析方法)、追加撮像または撮像省略の実態(追加撮像または撮像省略の有無、判断方法および根拠)とした(Table 1)。調査した核医学検査は、検査件数が多く追加撮像または撮像省略が行われている頻度が高いと予想し、以下のものとした。^{99m}Tc-hydroxy methylene diphosphonate (HMDP)、^{99m}Tc-methylene diphosphonate (MDP) を用いた転移性骨腫瘍の診断目的の骨シンチ、^{99m}Tc-tetrofosmin (TF)、^{99m}Tc-sestamibi (MIBI) を用いた虚血性心疾患の診断目的の心筋血流シンチ(以下、^{99m}Tc 心筋血流シンチ)、²⁰¹TlCl を用いた虚血性心疾患の診断目的の心筋血流シンチ(以下、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ)、¹²³I-metaiodobenzylguanidine (MIBG) を用いたパーキンソン病またはレビー小体型認知症の診断目的の心筋交感神経シンチグラフィ(以下、心筋 MIBG シンチ)、^{99m}Tc-フチン酸、^{99m}Tc-スズコロイドを用いた乳がんにおけるセンチネルリンパ節の検索目的のセンチネルリンパ節シンチグラフィ(以下、センチネルリンパ節シンチ)、¹⁸F-Fluorodeoxyglucose を用いた悪性腫瘍の診断目的の PET(以下、FDG-PET)。

2. 結 果

2-1 回答者の背景

アンケート回答者数は 249 名であった。回答者の施設形態の割合は、公的病院が最も多く 36%で、次いで民間病院 34%、大学病院 28%、その他 2.4%であった。核医学経験年数の平均は 11.6 年であり、回答者の

Table 1 A survey with 27 questions geared towards the routine protocols of nuclear medicine imaging

Question	Option
Demographics	
Q1. Your place of medical institution	University hospital, Public hospital, Private hospital, Others
Q2. Experience in nuclear medicine technologist	Year
Q3. Possession of JBNMT	Yes or No
Q4. Equipment for gamma camera imaging	SPECT imaging systems, SPECT/CT imaging systems, Planar imaging systems, SPECT imaging systems with semiconductor detector, SPECT/CT imaging systems with semiconductor detector, Others
Q5. Equipment for PET imaging	PET imaging systems, PET/CT imaging systems, PET/MRI imaging systems, PET/(CT) imaging systems, Others
Routine protocol	
Bone scintigraphy	
Q6. Existence of routine protocol	Yes or No
Q7. Image acquisition method	Whole-body, Planar, SPECT, SPECT/CT
Q8. Image reconstruction method	FBP, OSEM with RR, OSEM without RR
Q9. Image correction method	AC, SC, ACSC, ACSC+NC, NC
Myocardial perfusion scintigraphy (^{99m}Tc and ^{201}Tl)	
Q10. Existence of routine protocol	Yes or No
Q11. Image acquisition method	Planar, SPECT, SPECT/CT
Q12. Image reconstruction method	FBP, OSEM with RR, OSEM without RR
Q13. Image correction method	AC, SC, ACSC, ACSC+NC, NC
Q14. Image analysis method	ECG-gated image, Scoring, Phase analysis, CAD, Fusion of SPECT and coronary CT images, Body cross-sectional images, Absolute quantitative analysis, Fusion of SPECT and CT images, Washout rate(^{201}Tl), Lung to heart ratio(^{201}Tl), Others
MIBG scintigraphy	
Q15. Existence of routine protocol	Yes or No
Q16. Image acquisition method	Planar, SPECT, SPECT/CT
Q17. Image reconstruction method	FBP, OSEM with RR, OSEM without RR
Q18. Image correction method	AC, SC, ACSC, ACSC+NC, NC
Q19. Image analysis method	Washout rate, CAD, QGS, QPS, Fusion of SPECT and CT images, Others
Sentinel lymph scintigraphy	
Q20. Existence of routine protocol	Yes or No
Q21. Image acquisition method	Planar, SPECT, SPECT/CT
Q22. Position and direction for planar acquisition	Potition: Supine, Half supine, Upright, Direction: Anterior, Latelal, Oblique
FDG-PET	
Q23. Scan ranges for early imaging	Top: Scalp, Orbital, Neck, Bottom: Inguinal region, Femur, Knee, Tone
Q24. Implementation of delayed scan	Yes or No
Q25. Image reconstruction or correction method	AC, SC, PSF, TOF, Metal artifact reduction, High resolution image, Respiratory-gated image, Uncorrected image, Others
Additional or omission imaging	
Q26. Implementation of additional or omission scan	Yes or No
Q27. Judgment method and ground for additional or omission scan	Method: Institutional agreement, Consultation with physician, Decision by technologist, Other, Ground: Literature, Rule of thumb, No ground, Others

SPECT: single photon emission computed tomography, CT: computed tomography, MRI: magnetic resonance imaging, FBP: filtered back projection, OSEM: ordered subset expectation, RR: resolution recovery, AC: attenuation correction, SC: scatter correction, NC: no correction, ECG: electro-cardiogram, MIBG: meta-iodobenzylguanidine, CAD: computer-assisted diagnosis, QGS: quantitative gate SPECT, QPS: quantitative perfusion SPECT, PSF: Point spread function, TOF: time of flight

43%が10年以上核医学検査に携わっていた。また、回答者の約半数の47%が核医学専門技師を取得していた。ガンマカメラの種類は、SPECT装置が74.6%、SPECT/CT装置が46.6%、半導体検出器を搭載したSPECT装置が8.5%、半導体検出器を搭載したSPECT/CT装置が0.8%であった。PET装置は、

PET/CT装置が95.8%、SPECT/PET複合装置を含むPET装置が5.6%、半導体検出器を搭載したPET装置が0.7%、PET/magnetic resonance imaging(MR)装置が0.7%であった。各検査のアンケート回答者数は、骨シンチで230、 ^{99m}Tc 心筋血流シンチで178と ^{201}Tl 心筋血流シンチで174、心筋MIBGシンチで

Fig. 1 Percentage of routine acquisition method with gamma camera imaging.
WB: Whole-body, SPECT: single photon emission computed tomography, CT: computed tomography
(a) Bone scintigraphy, (b) Myocardial perfusion scintigraphy (^{99m}Tc), (c) Myocardial perfusion scintigraphy (^{201}Tl), (d) MIBG scintigraphy (^{123}I), (e) Sentinel lymph scintigraphy

Table 2 Percentage of image reconstruction and correction method with Bone scintigraphy, Myocardial perfusion scintigraphy and MIBG scintigraphy

	Percentage of response (%)							
	Image reconstruction method			Correction method				
	FBP	OSEM (with/without RR)	FBP+OSEM (with/without RR)	NC	AC	SC	ACSC	ACSC+NC
Bone scintigraphy (n=230)	7.4	62.2	0.9	22.9	4.8	6.0	29.9	1.8
Myocardial perfusion scintigraphy (^{99m}Tc) (n=178)	47.8	28.7	20.8	34.8	6.7	9.0	23.6	3.4
Myocardial perfusion scintigraphy (^{201}Tl) (n=174)	59.2	22.4	14.9	36.2	8.0	9.8	14.4	3.4
MIBG scintigraphy (^{123}I) (n=214)	25.7	18.7	4.2	26.6	2.3	7.0	0.0	0.0

MIBG: meta-iodobenzylguanidine, FBP: filtered backprojection, OSEM: ordered subset expectation, RR: resolution recovery, NC: no correction, AC: attenuation correction, SC: scatter correction, ACSC: attenuation correction and scatter correction, ACSC+NC: attenuation correction, scatter correction and no correction

214, センチネルリンパ節シンチで 141, PET で 143 であった。

2-2 ルーチン検査の内容

ルーチン検査内容は、すべての検査において 100% 決まっていたが、その撮像内容や出力画像は多岐に渡った。Figure 1 に各ガンマカメライメージングにおけるルーチン撮像方法、Table 2 に骨シンチ、心筋血流シンチ、心筋 MIBG における画像再構成法および各種補正法、Table 3 に心筋血流シンチにおける画像解析法、Table 4 に心筋 MIBG シンチにおける画像解

析法、Table 5 にセンチネルリンパ節シンチにおけるプラナーの撮像方法を示した。また、Table 6 に FDG-PET における早期像の撮像範囲、Table 7 に FDG-PET における撮像方法および各種補正法を示した。

骨シンチにおいて SPECT を撮像する割合は、全身像と SPECT を撮像する割合 (17%) と全身像とプラナーと SPECT を撮像する割合 (5%) の合計 22% であり、SPECT/CT を撮像する割合は全身像と SPECT/CT を撮像する割合 (14%) と全身像とプラナーと SPECT/CT を撮像する割合 (4%) の合計 18% であっ

Table 3 Percentage of image analysis method with Myocardial perfusion scintigraphy

Image analysis method	Percentage of response (%)	
	^{99m} Tc (n=178)	²⁰¹ Tl (n=174)
ECG-gating scan (e.g. EDV, ESV and LVEF)	95.5	71.3
Scoring (e.g. SSS, SRS and SDS)	58.4	56.3
Phase analysis	45.5	28.7
CAD (e.g. ANN score)	33.7	28.7
Fusion of SPECT and coronaly CT images	15.2	8.0
Body cross-sectional images (e.g. axial, coronal or sagittal image)	8.4	11.5
Absolute quantitative analysis (e.g. MBF)	6.7	4.6
Fusion of SPECT and CT images	6.2	4.6
Washout rate	—	56.3
Lung to heart ratio	—	9.2

ECG: electro-cardiogram, EDV: left ventricular end diastolic volume, ESV: left ventricular end systolic volume, LVEF: left ventricular ejection fraction, SSS: summed stress score, SRS: summed rest score, SDS: summed difference score, CAD: computer-assisted diagnosis, ANN: artificial neural network, SPECT: single photon emission computed tomography, CT: computed tomography, MBF: myocardial blood flow

Table 4 Percentage of image analysis method with MIBG scintigraphy

Image analysis method	Percentage of response (%) (n=214)
Washout rate	46.7
CAD (e.g. Smart MIBG)	43.9
Quantitative Gate SPECT (QGS)	7.9
Quantitative Perfusion SPECT (QPS)	4.7
Fusion of SPECT and CT images	2.3
Others	6.5

CAD: computer-assisted diagnosis, MIBG: meta-iodobenzylguanidine, SPECT: single photon emission computed tomography, CT: computed tomography, QGS: quantitative gate SPECT, QPS: quantitative perfusion SPECT

Table 5 Percentage of planar acquisition method with Sentinel lymph scintigraphy

Position	Percentage of response (%) (n=141)		
	Direction		
	Anterior	Latelal	Oblique
Supine	83.7	17.0	39.0
Oblique	17.7	0.0	17.7
Upright	0.7	0.0	0.7

Table 6 Scan ranges for early scan with FDG-PET

Field of view	Percentage of response (%) (n=139)
TOP	
Scalp	88.5
Orbital	3.6
Neck	5.0
Bottom	
Inguinal region	47.5
Femur	46.0
Knee	11.5
Tone	16.5

Table 7 Percentage of image acquisition and correction method with FDG-PET

Correction or acquisition method	Percentage of response (%) (n=139)
AC	91.4
SC	80.6
PSF	48.9
TOF	40.3
NC	28.1
Respiratory gated image	10.1
High resolution image	7.2
Metal artifact reduction	7.2
Others	2.2

AC: attenuation correction, SC: scatter correction, NC: no correction

た (Fig. 1a). 画像再構成法および各種補正法においては、コリメータ開口補正機能付き OSEM 法と減弱・散乱線補正を行う割合が、それぞれ 62.2%と 29.9%であり、^{99m}Tc 心筋血流シンチ、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ、心筋 MIBG シンチより高い割合であった (Table 2). ^{99m}Tc 心筋血流シンチにおいて、SPECT を施行

する割合は 70%で SPECT/CT を施行する割合は 28%であり、SPECT に比べ SPECT/CT の施行割合が低かった. (Fig. 1b). 画像再構成法および各種補正法においては、filtered back projection (FBP) 法を用い減弱・散乱線補正を行わない割合が高かった (Table 2). これらは、²⁰¹Tl 心筋血流シンチにおいても同様な

Table 8 Judgment method and ground for additional or omission scan

	Percentage of response (%)							
	Judgement method				Judgement ground			
	Institutional agreement	Consultation with physician	Decision by technologist	Other	Literature	Rule of thumb	No basis	Others
Bone scintigraphy (n=195)	16.4	27.7	76.9	0.0	7.7	58.5	20.5	18.5
Myocardial perfusion scintigraphy (Tc) (n=32)	18.8	37.5	56.3	0.0	18.8	25.0	12.5	15.6
Myocardial perfusion scintigraphy (Tl) (n=24)	16.7	79.2	29.2	4.2	20.8	25.0	16.7	8.3
MIBG scintigraphy (¹²³ I) (n=38)	26.3	28.9	44.7	0.0	10.5	36.8	23.7	23.7
Sentinel lymph scintigraphy (n=40)	26.3	39.5	42.1	0.0	2.5	40.1	12.5	2.6
FDG-PET (n=98)	31.6	53.1	49.0	2.0	10.2	53.1	11.2	17.3

傾向であった。画像解析法においては、²⁰¹Tl 心筋血流シンチは^{99m}Tc 心筋血流シンチと同様の画像解析に加え、washout rate や lung to heart ratio が算出されていた (Table 3)。心筋 MIBG シンチにおいて、早期と後期のプラナのみを撮像する割合は 43% であり、プラナと SPECT または SPECT/CT を撮像する割合は 42% であった (Fig. 1d)。画像解析法においては、washout rate と CAD の使用割合が、それぞれ 46.7% と 43.9% であった (Table 4)。センチネルリンパ節シンチのルーチン検査内容において、SPECT/CT は回答者数の 40% が施行しており、骨シンチ、^{99m}Tc 心筋血流シンチ、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ、心筋 MIBG と比べ高い割合であった (Fig. 1e)。プラナの撮像体位および方向においては、仰臥位正面のプラナの施行割合が 83.7% であった (Table 5)。FDG-PET のルーチン検査内容において、早期像の撮像範囲の上端を「頭頂」とする割合が 88.5%，下端を「鼠径部」あるいは「大腿中部」までとする割合がそれぞれ 47.5% と 46.0% であった (Table 6)。ルーチンで胸腹部またはその都度の範囲を決定して後期像を撮像する割合は 58.3% であった。撮像方法と各種補正においては、減弱補正、散乱線補正の施行割合がそれぞれ 91.4% と 80.6%，PSF 補正、TOF 収集の施行割合がそれぞれ 48.9% と 40.3%，高分解能画像、呼吸同期収集、MAR の施行割合は 10% 程度であった (Table 7)。

2-3 追加撮像または撮像省略の実態

ルーチン検査に対して撮像を追加または省略する割合は、骨シンチで 84.8%，^{99m}Tc 心筋血流シンチで 18.0%，²⁰¹Tl 心筋血流シンチで 13.8%，心筋 MIBG シンチで 17.8%，センチネルリンパ節シンチで 28.4%，FDG-PET で 70.5% であった。Table 8 に追加撮像お

よび撮像省略の判断方法および根拠を示した。追加撮像および撮像省略の判断方法は、²⁰¹Tl 心筋血流シンチと FDG-PET 以外のすべての検査で「担当技師に委ねられている」という回答割合が他の回答に比べ最も高く、その根拠はすべての検査において「経験則」という回答割合が他の回答に比べ最も高かった (Table 8)。

3. 考 察

国内の核医学検査におけるルーチン検査内容と追加撮像または撮像省略の実態を明らかにするため、骨シンチ、^{99m}Tc 心筋血流シンチ、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ、心筋 MIBG シンチ、センチネルリンパ節シンチ、FDG-PET におけるルーチン検査内容およびルーチン検査に対する追加撮像または撮像省略についてアンケート調査した。六つの核医学検査の内容は、すべてルーチン化されていることが明らかになったが、各検査のルーチン撮像内容は多岐に渡った。

骨シンチは、ルーチン検査における SPECT または SPECT/CT の撮像割合がそれぞれ 22% と 18% であり、SPECT または SPECT/CT 装置の所有割合 (それぞれ 74.6% と 46.6%) に比べ低い傾向であった。骨シンチにおいて全身像に SPECT や SPECT/CT を追加すると、前立腺がん、乳がん、肺がん、脊椎病変において、感度・特異度・陽陰性的中率が向上する^{1~6)}、あるいは良悪性診断に有効^{7~9)} との報告がされている。一方で、CT 撮影による被ばく線量が 1.88 mGy/bed 増加する¹⁾ という報告がされている。ルーチン検査における SPECT または SPECT/CT の施行は、上記の特定のがんに対して診断能あるいは診断精度の向上が期待できると考えられるが、CT 撮影による被ばくを上回る利益があるかどうか慎重に判断しているため、所有割合に対し、施行割合が低かったのではないかと

考える。また、骨シンチは他の検査に比べ画像再構成法にコリメータ開口補正機能付き OSEM 法を用い、減弱・散乱線補正を加える頻度が高かった。OSEM 法は、被写体内における γ 線の減弱・散乱、コリメータ開口径における空間分解能の低下に対して各補正パラメータを画像再構成アルゴリズムに組み込み補正できるため、定量精度の向上が期待できる。骨シンチは、SPECT 定量画像の研究や開発、臨床応用が進んでおり^{18, 19)}、より精度の高い SUV 解析を行うため OSEM 法やそれに組み込むことができる減弱・散乱線補正の利用頻度が高いと考えられる。

^{99m}Tc 心筋血流シンチと²⁰¹Tl 心筋血流シンチは、SPECT に比べ SPECT/CT の施行割合が少ない傾向にあった。また、画像再構成法に未だ FBP 法を用い、各種補正を加える頻度が少ない傾向にあった。心筋血流シンチにおいて SPECT/CT を用いることで、CT 画像による冠動脈の石灰化の評価^{20, 21)}や予期せぬ病変の検出²²⁾、CT 画像を用いた減弱・散乱線補正の利用により冠動脈疾患検出の特異度の改善^{23, 24)}や病変部のコントラスト向上²⁵⁾する利点があり、その有用性に関する報告は多い。一方で、SPECT/CT の施行には、CT と SPECT の呼吸位相の違いからミスアライメントによるアーチファクトが生じる²⁶⁾、CT 画像を用いた減弱補正により前壁側の偽陽性率が上昇する²⁷⁾、CT 画像を用いた減弱補正に関する有用性がまだ確立していない²⁷⁾との報告がされている。ルーチン検査における SPECT/CT の利用は、CT 画像による新たな診断価値や画質改善を期待することができると考えるが、SPECT/CT 特有のアーチファクトや減弱補正エラーが生じるため、その施行割合が少なかったのではないかと考えられる。画像再構成法においては OSEM 法を用いることで、FBP 法で問題となる高カウント領域からのストリークアーチファクトや低カウント領域における S/N を改善する^{28, 29)}、更に OSEM 法にコリメータ開口補正を組み込み部分容積効果を改善することによって、病変部と正常心筋のコントラストが向上する¹⁰⁾、病変部の歪みが回避¹¹⁾できる、small heart の解析時に問題となる心室駆出率の過大評価の影響を低減させる¹²⁾と報告がされている。従来より、心筋血流シンチにおいては FBP 法で再構成した画像を用いており、読影についても FBP 法での診断実績が長い。したがって、OSEM 法やコリメータ開口補正機能付き OSEM 法についての有用性は多くあるが、FBP 法と異なる画像の読影についての経験が乏しいため、それらの画像再構成法が利用されていないのではないかと考えられる。また、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ

は^{99m}Tc 心筋血流シンチに比べ、washout rate や lung to heart ratio が行われていた。Washout rate には冠動脈の多肢病変や高度狭窄の補助指標としての有用性^{30~32)}、lung to heart ratio には、冠動脈の多肢病変の診断^{33~35)}や病態の重症度・予後評価^{36~38)}に有用との報告がされている。²⁰¹Tl 心筋血流シンチにおいてルーチン検査でプラナ像を撮像している施設は、これらの追加解析により診断精度の向上を目的としていると考えられる。

心筋 MIBG シンチは、早期像と後期像のプラナ像のみ撮像する割合とプラナ像に SPECT を撮像する割合が同等であり、画像解析法に washout rate や CAD の使用頻度が高い傾向にあった。心筋 MIBG シンチにおけるプラナの撮像は、早期と後期のプラナ像の H/M や washout rate を算出することで、アルツハイマー病とレビー小体型認知症の鑑別診断^{39~43)}や SPECT の撮像により心筋への MIBG 集積の限局的な欠損の評価に有用⁴⁴⁾とする報告がされている。また、H/M 解析時に関心領域の設定を半自動化するソフトウェア (Smart MIBG) の利用によって、施設間やコリメータ間差を補正し、H/M を標準化できる^{45, 46)}との報告がされている。心筋 MIBG シンチは、H/M による集積低下の診断が確立しその診断に有用な CAD が開発されているため、ルーチン検査での SPECT を施行する施設としない施設に分かれたと考えられる。

センチネルリンパ節シンチにおいては、他の検査と比較して SPECT/CT が最も高い割合 (40%) で行われていた。センチネルリンパ節シンチは SPECT/CT の利用により、リンパ節の同定率や位置関係の把握が容易になる^{47, 48)}との報告がされている。センチネルリンパ節シンチは、放射性医薬品が主にリンパ節に集積することから、他の検査と比較して SPECT 像のみで解剖学的な位置関係を把握することが困難である。SPECT/CT は CT によって解剖学的な情報を同時に取得できるため、センチネルリンパ節シンチは他検査に比べ SPECT/CT の施行割合が高いと考えられる。また、プラナ像の撮像体位および方向は、ほとんど (83.7%) が仰臥位正面であった。センチネルリンパ節シンチにおいて、仰臥位正面のプラナ像単体のリンパ節の検出率は低く多方向からの撮像が必要^{49, 50)}であるため、斜位や座位^{49, 50)}によって注射部位とセンチネルリンパ節の位置を遠ざけ、リンパ節の検出能の改善が得られてきた。センチネルリンパ節シンチにおいて斜位や座位などの撮像法は、リンパ節の検出能を改善させるための補助的な役割として有用であると考えられるが、SPECT/CT の撮像により、その施行割合が低

かったのではないかと考えられる。

FDG-PET においては、早期像の撮像範囲を頭頂から鼠径部あるいは大腿中部とする回答が最も高く、下肢まで撮像する割合は低い傾向であった。FDG-PET においては、悪性リンパ腫や悪性黒色腫等の全身性病変を呈す疾患に対して頭頂から下肢末梢まで撮像することにより、治療方針が変わった^{51, 52)}との報告がされている。全身性の疾患や病変の有無は事前の CT や他の画像検査によって判明していることが多いこと、更に撮影範囲の延長によりスループットの低下や CT 撮影による被ばく線量の増加が伴うため、ルーチン検査で下肢まで撮像する割合が低いと考えられる。また、ルーチン検査で後期像を撮像している施設は 58.3% であり、約半数は後期像を撮像していなかった。FDG-PET における後期像の追加は、腫瘍とバックグラウンドのコントラストが上昇することによって病変検出の感度が改善^{53~57)}する、あるいは良悪性の判断に有用^{58~60)}とされる報告が多くあった。ルーチン検査における後期像の撮像は、病変の検出感度の改善や良悪性判断に有用であると考ええるが、撮像回数の増加によるスループットの低下、患者の拘束時間の延長、CT 撮影による被ばく線量の増加が懸念されるため、ルーチンで実施する施設としない施設に分かれたと考えられる。また、各種補正・撮像方法には、高分解能画像、呼吸同期収集、MAR の新しい技術の利用頻度が低い傾向にあった。FDG-PET において呼吸同期収集や長時間撮像を行うことにより肝臓への転移性病変の検出能が向上する^{18, 19)}、MAR を行うことにより金属アーチファクト部分の SUV の精度低下を改善できる^{20, 21)}、高分解能画像を追加することにより小さな病変 (<11 mm) の SUV 精度の向上⁶¹⁾やリンパ節の検出に有効⁶²⁾との報告がされている。FDG-PET において、呼吸同期収集、MAR、高分解能画像を利用することにより病変の検出能や SUV 精度の向上が改善が期待できると考えるが、装置によってはその撮像方法や機能が利用できなかったり、診断可能な S/N を担保するためには撮像時間延長を要するため、利用頻度が低くなったと考える。

追加撮像または撮像省略の頻度は、骨シンチと FDG-PET で高く、その他の検査では追加撮像または撮像省略がほとんど行われていなかった。また、その判断は、「施設の決まりがある」より「検査担当技師に委ねられている」の割合が高く、その根拠の多くは「経験則」であるものが多くみられた。当初の予想通り核医学検査の追加撮像または撮像省略の判断は、検査担当技師に委ねられている場合が多く施設内でもそ

の判断方法にばらつきがあると予想され、検査の質が技師の知識に左右される可能性があると考えられる。

本研究では、国内の主な核医学検査におけるルーチン検査の内容、および追加撮像または撮像省略の頻度と判断基準についてアンケート調査し、それらの実態を報告することを目的とした。よって、本調査内で示した結果の中で使用頻度が高い撮像法や画像出力が必ずしも最適であるかどうかはわからない。これらを明らかにするためには、最低限ルーチン検査で示す情報やどのようなときに何の撮像や画像出力を追加または省略すべきかを今後の研究で検証することが必要であると考ええる。しかしながら、本研究によって各疾患あるいは個々の患者に適した追加撮像または撮像省略を系統的に行うためのエビデンスの構築の第一歩となることを切望する。

4. 結 語

核医学検査の中で、追加撮像または撮像省略の頻度が高いと予想した骨シンチ、^{99m}Tc 心筋血流シンチ、²⁰¹Tl 心筋血流シンチ、心筋 MIBG シンチ、センチネルリンパ節シンチ、FDG-PET についてのルーチン検査内容および追加撮像または撮像省略の実態の把握に向けてアンケート調査を行った。ルーチン検査はすべての施設で決まっており、SPECT や SPECT/CT など診断に有用とされる撮像法や新しい画像再構成法・技術の利用頻度が少ないことが明らかになった。また、追加撮像や撮像省略の判断は検査担当技師に委ねられている場合が多くその根拠は経験則であったため、検査の質や診断の結果が追加撮像または撮像省略を行う技師の知識に左右される可能性があると考えられた。各検査において、疾患に応じた適切な撮像や画像出力が行われることを切望する。

謝 辞

本研究に際しアンケート調査にご協力いただいた施設の皆様に感謝申し上げます。

なお、本論文の要旨は第 46 回日本放射線技術学会秋季大会(2018 年、仙台)にて発表した。

本研究は日本放射線技術学会より平成 29、30 年度学術調査班研究助成を受けて行った。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) Palmedo H, Marx C, Ebert A, et al. Whole-body SPECT/CT for bone scintigraphy: diagnostic value and effect on patient management in oncological patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2014; 41(1): 59-67.
- 2) Even-Sapir E, Metser U, Mishani E, et al. The detection of bone metastases in patients with high-risk prostate cancer: 99mTc-MDP Planar bone scintigraphy, single- and multi-field-of-view SPECT, 18F-fluoride PET, and 18F-fluoride PET/CT. *J Nucl Med* 2006; 47(2): 287-297.
- 3) Iqbal B, Currie GM, Wheat JM, et al. The incremental value of SPECT/CT in characterizing solitary spine lesions. *J Nucl Med Technol* 2011; 39(3): 201-207.
- 4) Schirrmester H, Glatting G, Hetzel J, et al. Prospective evaluation of the clinical value of planar bone scans, SPECT, and (18)F-labeled NaF PET in newly diagnosed lung cancer. *J Nucl Med* 2001; 42(12): 1800-1804.
- 5) Strobel K, Burger C, Seifert B, et al. Characterization of focal bone lesions in the axial skeleton: performance of planar bone scintigraphy compared with SPECT and SPECT fused with CT. *AJR Am J Roentgenol* 2007; 188(5): W467-W474.
- 6) Horger M, Eschmann SM, Pfannenberger C, et al. Evaluation of combined transmission and emission tomography for classification of skeletal lesions. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 183(3): 655-661.
- 7) Even-Sapir E, Martin RH, Barnes DC, et al. Role of SPECT in differentiating malignant from benign lesions in the lower thoracic and lumbar vertebrae. *Radiology* 1993; 187(1): 193-198.
- 8) Delpassand ES, Garcia JR, Bhadkamkar V, et al. Value of SPECT imaging of the thoracolumbar spine in cancer patients. *Clin Nucl Med* 1995; 20(12): 1047-1051.
- 9) Love C, Din AS, Tomas MB, et al. Radionuclide bone imaging: an illustrative review. *Radiographics* 2003; 23(2): 341-358.
- 10) 富口静二. SPECT/CT 時代の新しい 3 次元画像再構成法 (Astonish). *Medix* 2008; 48: 25-30.
- 11) Römer W1, Reichel N, Vija HA, et al. Vija, et al. Isotropic reconstruction of SPECT data using OSEM3D: correlation with CT. *Acad Radiol* 2006; 13(4): 496-502.
- 12) Yoneyama H, Nakajima K, Okuda K, et al. Reducing the small-heart effect in pediatric gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Nucl Cardiol* 2017; 24(4): 1378-1388.
- 13) Crivellaro C, De Ponti E, Elisei F, et al. Added diagnostic value of respiratory-gated 4D 18F-FDG PET/CT in the detection of liver lesions: a multicenter study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018; 45(1): 102-109.
- 14) Revheim ME, Haugvik SP, Johnsrud K, et al. Respiratory gated and prolonged acquisition 18F-FDG PET improve preoperative assessment of colorectal liver metastases. *Acta Radiol* 2015; 56(4): 397-403.
- 15) Harnish R, Prevrhal S, Alavi A, et al. The effect of metal artefact reduction on CT-based attenuation correction for PET imaging in the vicinity of metallic hip implants: a phantom study. *Ann Nucl Med* 2014; 28(6): 540-550.
- 16) van der Vos CS, Arens AIJ, Hamill JJ, et al. Metal artifact reduction of CT scans to improve PET/CT. *J Nucl Med* 2017; 58(11): 1867-1872.
- 17) 日本アイソトープ協会医学・薬学部会 全国核医学診療実態調査専門委員会. 第 8 回全国核医学診療実態調査報告書. *RADIOISOTOPES*. 2018; 67(7): 339-387.
- 18) Zeintl J, Vija AH, Yahil A, et al. Quantitative accuracy of clinical 99mTc SPECT/CT using ordered-subset expectation maximization with 3-dimensional resolution recovery, attenuation, and scatter correction. *J Nucl Med* 2010; 51(6): 921-928.
- 19) 中西哲也. 新たな SPECT 画像再構成技術「xSPECT」. *日放技誌* 2015; 62(3): 228-231.
- 20) Einstein AJ, Johnson LL, Bokhari S, et al. Agreement of visual estimation of coronary artery calcium from low-dose CT attenuation correction scans in hybrid PET/CT and SPECT/CT with standard Agatston score. *J Am Coll Cardiol* 2010; 56(23): 1914-1921.
- 21) Schepis T, Gaemperli O, Koepfli P, et al. Use of coronary calcium score scans from stand-alone multislice computed tomography for attenuation correction of myocardial perfusion SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34(1): 11-19.
- 22) Goetze S, Pannu HK, Wahl RL. Clinically significant abnormal findings on the "nondiagnostic" CT portion of low-amperage-CT attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT/CT studies. *J Nucl Med* 2006; 47(8): 1312-1318.
- 23) Utsunomiya D, Tomiguchi S, Shiraishi S, et al. Initial experience with X-ray CT based attenuation correction in myocardial perfusion SPECT imaging using a combined SPECT/CT system. *Ann Nucl Med* 2005; 19(6): 485-489.
- 24) Sharma P, Patel CD, Karunanithi S, et al. Comparative accuracy of CT attenuation-corrected and non-attenuation-corrected SPECT myocardial perfusion imaging. *Clin Nucl Med* 2012; 37(4): 332-338.
- 26) Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C, et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2015; 42(12): 1929-1940.
- 27) 玉木長良, 日下部きよ子, 汲田伸一郎, 他. 循環器病の診断と治療に関するガイドライン (2009 年度合同研究班報告) 心臓核医学検査ガイドライン (2010 年改訂版). <http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2010tamaki.h.pdf> (cited 2012.10.12)
- 28) 柳沢正道. 心筋 SPECT における定量化と標準化. *日放技学誌* 2004; 60(5): 666-675.
- 29) 中田智明, 市川和弘, 大堀克己, 他. 統計的な画像再構成法の臨床応用への可能性 2. OS-EM 法の心筋 SPECT への応用. *日本医放会誌* 2000; 60(7): 16-19.
- 30) Bateman TM, Maddahi J, Gray RJ, et al. Diffuse slow washout of myocardial thallium-201: a new scintigraphic indicator of extensive coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1984; 4(1): 55-64.
- 31) Koskinen M, Pöyhönen L, Seppänen S. Thallium-201 washout in coronary artery disease using SPECT—a comparison with coronary angiography. *Eur J Nucl Med* 1987; 12(12): 609-612.
- 32) Yamada M, Chikamori T, Doi Y, et al. Negative washout rate of myocardial thallium-201—a specific marker for high grade coronary artery narrowing. *Jpn Circ J* 1992; 56(10): 975-982.
- 33) Boucher CA, Zir LM, Beller GA, et al. Increased lung uptake of thallium-201 during exercise myocardial imaging: clinical, hemodynamic and angiographic implications in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1980; 46(2): 189-196.
- 34) Matoh F, Tawarahara K, Mikami N, et al. [Usefulness of lung

- and right ventricular thallium-201 uptake during single photon emission computed tomography in exercise testing of patients with coronary artery disease]. *J Cardiol* 2005; 46(4): 131-140 (in Japanese).
- 35) Georgoulas P, Tsougos I, Valotassiou V, et al. Long-term prognostic value of early poststress (99 m)Tc-tetrofosmin lung uptake during exercise (SPECT) myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37(4): 789-798.
 - 36) Daou D, Coaguila C, Delahaye N, et al. Discordance between exercise SPECT lung Tl-201 uptake and left ventricular transient ischemic dilation in patients with CAD. *J Nucl Cardiol* 2004; 11(1): 53-61.
 - 37) Hansen CL, Cen P, Sanchez B, et al. Comparison of pulmonary uptake with transient cavity dilation after dipyridamole Tl-201 perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2002; 9(1): 47-51.
 - 38) Sanders GP, Pinto DS, Parker JA, et al. Increased resting Tl-201 lung-to-heart ratio is associated with invasively determined measures of left ventricular dysfunction, extent of coronary artery disease, and resting myocardial perfusion abnormalities. *J Nucl Cardiol* 2003; 10(2): 140-147.
 - 39) Sawada H, Oeda T, Yamamoto K, et al. Diagnostic accuracy of cardiac metaiodobenzylguanidine scintigraphy in Parkinson disease. *Eur J Nucl Med* 2009; 16(2): 174-182.
 - 40) Nagamachi S, Wakamatsu H, Kiyohara S, et al. Usefulness of rCBF analysis in diagnosing Parkinson's disease: supplemental role with MIBG myocardial scintigraphy. *Ann Nucl Med* 2008; 22(7): 557-564.
 - 41) Kashihara K, Ohno M, Kawada S, et al. Reduced cardiac uptake and enhanced washout of 123I-MIBG in pure autonomic failure occurs conjointly with Parkinson's disease and dementia with Lewy bodies. *J Nucl Med* 2006; 47(7): 1099-1101.
 - 42) Nagayama H, Hamamoto M, Ueda M, et al. Reliability of MIBG myocardial scintigraphy in the diagnosis of Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2005; 76(2): 249-251.
 - 43) Satoh A, Serita T, Seto M, et al. Loss of 123I-MIBG uptake by the heart in Parkinson's disease: assessment of cardiac sympathetic denervation and diagnostic value. *J Nucl Med* 1999; 40(3): 371-375.
 - 44) Reinhardt MJ, Jüngling FD, Krause TM, et al. Scintigraphic differentiation between two forms of primary dysautonomia early after onset of autonomic dysfunction: value of cardiac and pulmonary iodine-123 MIBG uptake. *Eur J Nucl Med* 2000; 27(5): 595-600.
 - 45) Okuda K, Nakajima K, Hosoya T, et al. Semi-automated algorithm for calculating heart-to-mediastinum ratio in cardiac Iodine-123 MIBG imaging. *J Nucl Cardiol* 2011; 18(1): 82-89.
 - 46) Nakajima K, Okuda K, Matsuo S, et al. Standardization of metaiodobenzylguanidine heart to mediastinum ratio using a calibration phantom: effects of correction on normal databases and a multicentre study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2012; 39(1): 113-119.
 - 47) van der Ploeg IM, Olmos RA, Kroon BB, et al. The hidden sentinel node and SPECT/CT in breast cancer patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009; 36(1): 6-11.
 - 48) Kraft O, Havel M. Sentinel lymph nodes and planar scintigraphy and SPECT/CT in various types of tumours. Estimation of some factors influencing detection success. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2013; 16(1): 17-25.
 - 49) 市原裕紀, 小野口昌久, 日吉和久, 他. 乳がんセンチネルリンパ節シンチグラフィにおける半仰臥位正面像撮像体位の有用性. *日放技学誌* 2012; 68(4): 461-467.
 - 50) Tsushima H, Takayama T, Kizu H, et al. Advantages of upright position imaging with medium-energy collimator for sentinel node lymphoscintigraphy in breast cancer patients. *Ann Nucl Med* 2007; 21(2): 123-128.
 - 51) Sebro R, Mari-Aparici C, Hernandez-Pampaloni M. Value of true whole-body FDG-PET/CT scanning protocol in oncology: optimization of its use based on primary diagnosis. *Acta Radiol* 2013; 54(5): 534-539.
 - 52) Osman MM, Chaar BT, Muzaffar R, et al. 18F-FDG PET/CT of patients with cancer: comparison of whole-body and limited whole-body technique. *AJR Am J Roentgenol* 2010; 195(6): 1397-1403.
 - 53) Kubota K, Itoh M, Ozaki K, et al. Advantage of delayed whole-body FDG-PET imaging for tumour detection. *Eur J Nucl Med* 2001; 28(6): 696-703.
 - 54) Higashiyama A, Komori T, Juri H, et al. Detectability of residual invasive bladder cancer in delayed 18F-FDG PET imaging with oral hydration using 500 mL of water and voiding-refilling. *Ann Nucl Med* 2018; 32(8): 561-567.
 - 55) Lee JW, Kim SK, Lee SM, et al. Detection of hepatic metastases using dual-time-point FDG PET/CT scans in patients with colorectal cancer. *Mol Imaging Biol* 2011; 13(3): 565-572.
 - 56) Arena V, Skanjeti A, Casoni R, et al. Dual-phase FDG-PET: delayed acquisition improves hepatic detectability of pathological uptake. *Radiol Med* 2008; 113(6): 875-886.
 - 57) Hassler S, Hubele F, Constantinesco A, et al. Comparing respiratory gated with delayed scans in the detection of colorectal carcinoma hepatic and pulmonary metastases with 18F-FDG PET-CT. *Clin Nucl Med* 2014; 39(1): e7-e13.
 - 58) Chang CY, Chang CP, Shih CC, et al. Added value of dual-time-point 18F-FDG PET/CT with delayed imaging for detecting aortic graft infection: an observational study. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94(27): e1124.
 - 59) Hustinx R, Smith RJ, Benard F, et al. Dual time point fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography: a potential method to differentiate malignancy from inflammation and normal tissue in the head and neck. *Eur J Nucl Med* 1999; 26(10): 1345-1348.
 - 60) Nakamoto Y, Higashi T, Sakahara H, et al. Delayed (18)F-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography scan for differentiation between malignant and benign lesions in the pancreas. *Cancer* 2000; 89(12): 2547-2554.
 - 61) Koopman D, van Dalen JA, Lagerweij MC, et al. Improving the detection of small lesions using a state-of-the-art time-of-flight PET/CT system and small-voxel reconstructions. *J Nucl Med Technol* 2015; 43(1): 21-27.
 - 62) Li CY, Klohr S, Sadick H, et al. Effect of time-of-flight technique on the diagnostic performance of 18F-FDG PET/CT for assessment of lymph node metastases in head and neck squamous cell carcinoma. *J Nucl Med Technol* 2014; 42(3): 181-187.