ドパミントランスポータ SPECT における各補正法が specific binding ratio および standardized uptake value に及ぼす影響

塩川暁大¹ 小野口昌久² 澁谷孝行² 前田優汰³ 米山寛人⁴ 小西貴広⁴ 若林大志⁵

¹ 金沢大学医薬保健学域保健学類放射線技術科学専攻

(現 JA 長野厚生連佐久総合病院佐久医療センター診療放射線科)

² 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

³ 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科量子医療技術学講座

(現 社会福祉法人函館厚生院函館五稜郭病院放射線科)

⁴ 金沢大学附属病院放射線部

⁵ 金沢大学附属病院核医学診療科

論文受付

2019 年 1 月 14 日

論文受理

2019 年 3 月 31 日

Code No. 332

Influence of the Each Correction Method for the Specific Binding Ratio and Standardized Uptake Value in the Dopamine Transporter SPECT

Akihiro Shiokawa,¹ Masahisa Onoguchi,^{2*} Takayuki Shibutani,² Yuta Maeda,³ Hiroto Yoneyama,⁴ Takahiro Konishi,⁴ and Hiroshi Wakabayashi⁵

¹ Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, College of Medical Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University (Current address: Department of Radiology, Saku Central Hospital Advanced Care Center)

² Department of Quantum Medical Technology, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

³ Department of Quantum Medical Technology, Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University (Current address: Department of Radiology, Hakodate Goryoukaku Hospital)

⁴ Department of Radiological Technology, Kanazawa University Hospital

⁵ Department of Nuclear Medicine, Kanazawa University Hospital

Received January 14, 2019; Revision accepted March 31, 2019

Code No. 332

Summary

This study was to reveal the characteristics for each correction effect of specific binding ratio (SBR) and standardized uptake value (SUV) in the dopamine transporter (DAT) single photon emission computed tomography (SPECT). We created the ¹²³I solution of five radioactive concentrations, which was filled with two types of striatum phantom such as separated or integrated caudate and putamen. We created 10 striatum accumulation models by combining the ¹²³I solution. Images were reconstructed using ordered subset expectation maximization (OSEM) incorporating attenuation correction (AC), scatter correction (SC) or resolution recovery (RR) for the collected data of 10 striatum accumulation models and 66 patients. Correction combinations were AC, ACSC, ACRR and ACSCRR. The SBR, SUV_{mean} and SUV_{max} were evaluated correlation and relative error between SBR, SUV_{mean} and SUV_{max} by each correction method. The SBR and SUV had a significant positive correlation with all correction methods. The minimum values of relative error for SBR, SUV_{mean} and SUV_{max} were 39.7% with ACSCRR, 18.4% with AC and 16.5% with ACSC, respectively. In addition, the ACSC of SBR and SUV_{mean} was almost same value. The SBR showed significantly higher values by incorporating SC, while the SUV was significantly higher values by incorporating RR. It was suggested that SUV could be used for the quantitative index of DAT SPECT. Furthermore, we demonstrated the characteristic among each correction for SBR and SUV.

Key words: ¹²³I-FP-CIT single photon emission computed tomography (SPECT), dopamine transporter, standardized uptake value (SUV), specific binding ratio (SBR), image correction

*Corresponding author

Fig. 1 Striatum phantom DaT1308 (NBS, Japan).
(a) B.G, (b) Separate type, (c) Integrate type

緒言

パーキンソン病 (Parkinson's disease: PD) を含むパーキンソン症候群 (Parkinson's syndrome: PS) およびレビー小体型認知症 (dementia with Lewy bodies: DLB) は、運動症候および非運動症候を呈する神経変性疾患であり¹⁾、線条体シナプス節前神経に存在するドパミントランスポータ (dopamine transporter: DAT) の密度が低下することが知られている²⁻⁴⁾。DAT に高い親和性を有する ^{123}I -N- ω -fluoropropyl-2 β -carboxymethoxy-3 β -(4-iodophenyl) nortropane (^{123}I -FP-CIT) を用いた single photon emission computed tomography (SPECT) 検査は、DAT 密度の低下および変性を反映した画像を取得でき、PS および DLB の診断に寄与する⁵⁻⁸⁾。 ^{123}I -FP-CIT による DAT SPECT 画像は、視覚的評価の結果に定量的評価を加味することで診断能が向上するとの報告がある⁹⁾。DAT SPECT の定量的評価は、Tossici-Bolt らが提唱する Southampton 法が多く用いられており^{10, 11)}、この手法は線条体領域および線条体以外の background (B.G) 領域に region of interest (ROI) 設定を行い、結合濃度の比である specific binding ratio (SBR) を算出する。Southampton 法は、SPECT 装置の空間分解能が低いことおよび線条体容積が小さいことに由来する部分容積効果の影響を除去するために、線条体部分を中心に線条体より大きい ROI を用いる手法で、再現性の高い方法である¹⁰⁾。

しかし、Transaxial 画像の角度変化および散乱線補正 (scatter correction: SC) による B.G 領域のカウント変化は SBR の測定精度に影響を及ぼす^{12, 13)}。再構成画像の傾きを軽減する方法として、magnetic resonance imaging (MRI) 画像と SPECT 画像を fusion することで前交連 (anterior commissure: AC) - 後交連 (posterior commissure: PC) ラインを同定し、線条体描出の再現性を高める Fusion 法¹²⁾ があるが、患者ごとに MRI 画像を必要とする点や fusion 用の処理装置が必須となる。

一方、従来の SPECT 検査では、positron emission tomography (PET) 検査と比較し定量精度が乏しく定量評価が困難であったが、近年の SPECT/computed tomography (CT) 装置の普及による正確な減弱補正 (attenuation correction: AC)、空間分解能補正 (resolution recovery: RR) アルゴリズムを組み込んだ画像再構成技術および SC により、SPECT 検査においても SUV の利用が期待され始めている^{14, 15)}。Suh らは、骨 SPECT/CT 検査において、standardized uptake value (SUV) を用いた定量評価の臨床的有用性を報告しており¹⁶⁾、DAT SPECT においても SBR と SUV の診断能の比較がされている^{17, 18)}。SBR および SUV は正常群と疾患群を鑑別する指標となるが、各補正により変化するため、各補正効果の特徴を明らかにすることは重要な意味を持つ。しかしながら、DAT SPECT において、各補正による SBR と SUV の挙動を詳細に検討した報告は少ない。

本研究の目的は、DAT SPECT における SBR と SUV の関係性を導き出し、各種補正間での特徴を明らかにすることである。

1. 方法

1-1 使用機器

SPECT/CT 装置は Discovery NM/CT 670 Qsuite Pro (GE healthcare 社)、コリメータは extended low-energy general-purpose (ELEGP)、線条体ファントムは DaT1308 型 (エヌ・エム・ピービジネスサポート社) の線条体分割型 (被殻 6.6 mL、尾状核 4.4 mL) および線条体一体型 (線条体 12 mL) ファントムを使用した (Fig. 1)。解析ソフトは、DaTView (AZE 社) および Q.Metrix (GE healthcare 社)、ファントム試料の放射能濃度の計測にキューリーメータ IGC-7 (ALOKA 社) を使用した。

1-2 ファントム作成

核種は ^{123}I を用い、放射能濃度は、36.0, 26.6, 18.0,

Table 1 Striatum accumulation model

(a)	Right		Left		(b)	Right	Left
	Caudate	Putamen	Caudate	Putamen			
Radioactive ratio	4	3	4	1	Radioactive ratio	4	3
	8	3	8	1		6	3
	8	6	8	4		8	4
						6	8

(a) Separate type, (b) Integrate type

Table 2 Patients characteristics and clinical diagnoses in our study

	Age (years)	Sex		Height (cm)	Weight (kg)	N=66
		Male=34	Female=32			
Normal	52±18	3	3	163.6±10.2	67.2±12.2	6
Parkinson disease	62±12	8	9	160.1±10.1	56.8±9.3	17
Progressive supranuclear palsy	68±9	7	4	161.8±11.4	60.0±10.3	11
Dementia with Lewy bodies	73±2	1	3	153.1±7.3	44.5±7.2	4
Multiple system atrophy	59±10	3	1	163.2±10.3	65.0±5.0	4
Alzheimer's disease	83±1	0	2	142.8±4.2	40.7±6.4	2
Corticobasal degeneration	63±34	2	0	171	64.0±12.0	2
Drug induced parkinsonism	74	0	1	153	51	1
Vascular parkinsonism	83	0	1	165	53	1
Dystonia	45	1	0	165	64	1
Essential tremor	58	0	1	154	37.6	1
Follow up	69±10	10	6	159.1±11.9	55.9±11.5	16

13.2 および 4.7 kBq/mL とした。その放射能濃度比は、B.G(4.7 kBq/mL)に対し、8, 6, 4, 3となるように調整し、ファントムの線条体、尾状核および被殻に封入することで、分割型では6パターン、一体型では4パターンの線条体集積モデルを作成し、B.Gに放射能濃度比1の¹²³Iを封入した(Table 1)。線条体一体型ファントムにおける真値SBR(True SBR)は線条体とB.G試料の放射能濃度比から1を引いた値とし、真値SUV(True SUV)は線条体とB.G試料の放射能濃度比として算出した。一方、分割型ファントムは、尾状核、被殻容積および封入した¹²³I放射能濃度がそれぞれ異なるため、式(1)より線条体放射能濃度を算出後、一体型ファントムと同様に算出した。

$$\text{線条体放射能濃度} = \frac{(\text{尾状核容積} \times \text{尾状核放射能濃度}) + (\text{被殻容積} \times \text{被殻放射能濃度})}{\text{線条体容積}} [\text{kBq/mL}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

1-3 対象

対象患者は、2017年4月～2018年3月において、当施設で精神神経疾患の検査のため¹²³I-FP-CIT 159.1±6.4 MBqを静脈投与し258±0.68min(184-285 min)後にDAT SPECTを施行した66症例(男性34例、女性

32例、平均年齢65.2±13.0歳、平均身長159.6±11.0 cm、平均体重57.1±11.5 kg)で、確定診断された50症例と経過観察中の16症例である。対象患者の詳細および疾患の分類をTable 2に示す。本研究は金沢大学医学倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号2014-1137)。なお、対象患者には研究趣旨を説明し理解と同意書への署名を得たうえで前向き研究として実施した。

1-4 収集処理条件

収集条件は、マトリクスサイズ128×128、拡大率1.0倍、ピクセルサイズ4.42 mm、回転半径15 cm、収集時間は28 min、連続回転モード(7 min×4 rotations)で収集した。エネルギーウィンドウ幅は、メインウィンドウ159 keV±10%、upper側に180.5 keV±3%、およびlower側に137.5 keV±4%のサブウィンドウを設定した。減弱補正用のX線CT撮影条件は、管電圧120 kVp、管電流時間積20 mAs、スライス厚3.75 mm、ピッチ1.375とした。

画像再構成法は、3-dimensional ordered subset expectation maximization(3D-OSEM)法を使用し、subset数を10、iteration数を6に設定した。前処理フィ

Fig. 2 The image of setting ROI and VOI for calculate SBR and SUV.
(a) Striatum ROI and B.G ROI for calculate SBR
(b) Striatum VOI for calculate SUV

ルタは Butterworth フィルタを使用し、遮断周波数を 0.45 cycles/cm, power を 16 とした。AC, SC および RR は, X 線 CT 法, multi energy window (MEW) 法 および Evolution for Bone を用いた。補正の組み合わせは, AC のみ, ACSC, ACRR および ACSCRR の 4 通りとした。

1-5 SBR および SUV の算出

SBR 算出は, Southampton 法を採用した解析ソフトウェア DaTView (AZE 社) を使用した。Southampton 法による SBR は, 左右線条体および B.G に設定した各 ROI のカウント比より式(2)を用いて算出した。

$$SBR = \frac{\left(\frac{\text{線条体ROIの総カウント}[\text{counts}]}{\text{B.G ROIの単位容積当たりのカウント}[\text{counts/mL}]} \right) - \text{線条体ROIの容積}[\text{mL}]}{\text{線条体容積}[\text{mL}]} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで, 線条体容積は分割型で 11 mL, 一体型で 12 mL とした。線条体 ROI は線条体を中心とした厚み (44 mm) のある断層像上で, 線条体 ROI 領域内に線条体集積がすべて含まれる位置に配置し, B.G ROI は自動外輪郭抽出機能による自動設定を利用した。(Fig. 2a)。SUV は Q.Metrix (GE 社) を用い, 核医学画像上で threshold 法から左右線条体に volume of interest (VOI) を作成し, 式 (3) および (4) より VOI 内の SUV の平均値 (SUV_{mean}) と最大値 (SUV_{max}) を算出した。ファントムの重量は線条体および B.G 部に封入した総溶解量とし, 分割型は 1.206 kg, 一体型は 1.208 kg であった。Threshold 法の閾値は原則, SUV_{max} の 40% 値を用いたが, VOI が外側まで広がり B.G を含んでしまう場合は SUV_{max} の 40–70% 値を用い, その決定は 3 名の診療放射線技師の合議で決定した (Fig. 2b)。

$$SUV_{\text{mean}} = \frac{\left(\frac{\text{平均組織放射能}[\text{kBq/kg}]}{\text{投与放射能}[\text{kBq}]} \right)}{\text{体重}[\text{kg}]} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$SUV_{\text{max}} = \frac{\left(\frac{\text{最大組織放射能}[\text{kBq/kg}]}{\text{投与放射能}[\text{kBq}]} \right)}{\text{体重}[\text{kg}]} \quad \dots\dots\dots (4)$$

臨床データの SBR 算出において, 線条体容積は Southampton 法¹⁰⁾ で用いられる 11.2 mL を採用し, SUV 算出において, 体重は各患者の体重を用いた。

1-6 統計的解析

統計解析ソフトは IBM SPSS Statistics 23 (IBM 社) を用いた。真値と補正画像の実測 SBR, SUV および実測 SBR と SUV の関係は Spearman の積率相関係数を算出し, 相関係数の有意性を検定した。また, ファントムおよび臨床画像における補正効果の評価は Friedman 検定および Kruskal-Wallis 検定による分散分析を行い, 多重比較のため, Bonferroni 法および Steel-Dwass 法による有意差検定を行った。すべての検定において有意水準 5% 未満を有意差ありとした。

2. 結果

2-1 ファントム評価

真値と各補正画像の実測 SBR, SUV_{mean} および SUV_{max} の相関を Table 3a に示す。相関係数は, SBR で 0.98, SUV_{mean} で 0.79–0.88, SUV_{max} で 0.81–0.90 であり, すべての補正法で有意な正の相関を示した ($p \leq 0.001$)。真値に対する実測値の相対誤差を Table 3b に示す。相対誤差は, SBR で 39.7–53.9%, SUV_{mean} で 18.4–40.7%, SUV_{max} で 16.5–91.8% であった。また, SBR と SUV の相関係数を Table 4a に示す。相関係数は SBR 対 SUV_{mean} で 0.76–0.87, SBR 対 SUV_{max} で

Table 3 Relation between the true and measured values for SBR and SUV

(a)	Correction	r	p-value	(b)	Correction	Relative error (%)
SBR	AC	0.98	<0.001	SBR	AC	53.9
	ACSC	0.98	<0.001		ACSC	42.7
	ACRR	0.98	<0.001		ACRR	50.3
	ACSCRR	0.98	<0.001		ACSCRR	39.7
SUV _{mean}	AC	0.88	<0.001	SUV _{mean}	AC	18.4
	ACSC	0.88	<0.001		ACSC	19.6
	ACRR	0.79	0.001		ACRR	40.7
	ACSCRR	0.79	<0.001		ACSCRR	32.1
SUV _{max}	AC	0.90	<0.001	SUV _{max}	AC	26.1
	ACSC	0.90	<0.001		ACSC	16.5
	ACRR	0.84	<0.001		ACRR	91.8
	ACSCRR	0.81	<0.001		ACSCRR	82.8

(a) Spearman correlation coefficients between the true and measured values for SBR and SUV

(b) Relative error with respect to true values of measured SBR and SUV

Table 4 Spearman correlation coefficients between the measured SBR versus SUV_{mean} and SUV_{max}

(a)	Correction	r	p-value	(b)	Correction	r	p-value
SUV _{mean}	AC	0.86	<0.001	SUV _{mean}	AC	0.71	<0.001
	ACSC	0.87	<0.001		ACSC	0.63	<0.001
	ACRR	0.76	0.002		ACRR	0.67	<0.001
	ACSCRR	0.79	0.001		ACSCRR	0.63	<0.001
SUV _{max}	AC	0.87	<0.001	SUV _{max}	AC	0.74	<0.001
	ACSC	0.82	<0.001		ACSC	0.66	<0.001
	ACRR	0.88	<0.001		ACRR	0.71	<0.001
	ACSCRR	0.78	0.001		ACSCRR	0.64	<0.001

(a) Phantom study, (b) Clinical study

0.78–0.88 であり、すべての補正法で有意な正の相関を示した ($p < 0.05$).

各補正間の SBR と SUV を Fig. 3 に示す. SBR, SUV_{mean} および SUV_{max} は、AC で 2.1 ± 1.6 , 4.4 ± 0.9 および 6.9 ± 1.9 , ACSC で 2.4 ± 1.6 , 3.9 ± 0.9 および 6.4 ± 1.9 , ACRR で 2.3 ± 1.7 , 6.4 ± 1.7 および 10.7 ± 3.4 , ACSCRR で 2.5 ± 1.6 , 6.0 ± 1.9 および 10.2 ± 3.4 であった. SBR は補正法に SC を、SUV は RR を加えることにより有意に高値を示した. SUV は RR の有無で実測値に変化がみられたが、SBR は補正法によらず一定の値を示した.

2-2 臨床評価

各補正間の SBR と SUV_{mean} および SUV_{max} の相関を Table 4b に示す. 相関係数は、SBR 対 SUV_{mean} で 0.63–0.71, SBR 対 SUV_{max} で 0.64–0.74 であり、すべての補正法で有意な正の相関を示した ($p < 0.001$).

各補正間の SBR と SUV を Fig. 3 に示す. SBR, SUV_{mean} および SUV_{max} は、AC で 2.6 ± 1.6 , 7.1 ± 2.0 および 11.1 ± 3.6 , ACSC で 4.0 ± 2.2 , 6.1 ± 1.9 および 9.8 ± 3.5 , ACRR で 5.0 ± 2.0 , 10.7 ± 3.4 および 17.8 ± 6.3 , ACSCRR

で 4.3 ± 2.2 , 9.9 ± 3.5 および 16.7 ± 6.2 であり、SBR は補正法に SC を、SUV は RR を加えることで有意に高値を示した.

3. 考 察

SPECT/CT 装置の定量精度向上に伴い、SPECT 検査においても PET 検査と同様に、定量評価に SUV の利用が検討され始めている. しかし、DAT SPECT の定量指標として多く用いられている SBR は、再構成断面の角度設定および SC による B.G カウントの変動により変化する^{12,13)}. 一方、線条体のみに VOI を設定することで算出される SUV は、これらの影響が少ないため DAT SPECT の新たな定量指標として利用できる可能性があり、先行研究では SBR と SUV の診断能の比較がされている^{17,18)}. SBR および SUV は正常群と疾患群を鑑別する指標となるが、各補正により変化するため、各補正効果の特徴を明らかにすることは重要な意味をもつ. しかしながら、DAT SPECT において各補正による SBR と SUV の挙動を詳細に検討した報告は少ない.

Fig. 3 Correction efficacy of SBR and SUV.
(a-c) Phantom study, (d-f) Clinical study.

本研究の目的は、DAT SPECT における SBR と SUV の関係性を導き出し、各種補正間での特徴を明らかにすることである。

ファントム評価における SBR と SUV の相関関係について、真値と実測値、実測 SBR と SUV は、すべての補正法で有意な正の相関を示した。SBR の相対誤差は ACSCRR (39.7%) で最も低値を示したが、イオフルパン診療ガイドライン¹⁹⁾ で推奨されている条件は ACSC である。本検討における ACSC の相対誤差は 42.7% であり、ACSCRR と同等の結果であった。また、 SUV_{mean} の相対誤差に関して ACSC (19.6%) と相対誤差が最も低値を示した AC (18.4%) は同等の結果であったこと、 SUV_{max} においても ACSC (16.5%) で相対誤差が最も低値を示したことから、SBR および SUV 算出時に補正を行う場合は ACSC が適当であると考えられる。

補正効果について、ファントムおよび臨床評価において SBR は SC を加えることによって有意に高値を示す傾向があったが、RR の有無で有意差はみられなかった。これは画像に含まれる散乱線成分を SC により減算することで、線条体と B.G. のコントラストが向上し SBR の上昇に寄与したと考えられる²⁰⁾。RR によ

る変化がほとんどみられなかった理由として、Southampton 法¹⁰⁾ で用いられる線条体 ROI の形状および大きさが部分容積効果の影響を考慮していたことが考えられる。SUV は RR を加えることで有意に高値を示す傾向があったが、SC の有無で有意な変化はみられなかった。これは PET 画像における point spread function (PSF) 補正と同様に、RR に伴って発生する Gibbs アーチファクトにより、線条体集積部辺縁のカウント上昇が原因であると考えられる²¹⁾。RR を加えることで実測値が過大評価され、相対誤差が大きくなる傾向を示したため、RR を用いない再構成条件を使用すべきである。また、ファントム評価において放射能濃度比の違いによる分解能補正の影響に変化はみられなかった。中村ら²²⁾ は、National Electrical Manufacturers Association, International Electrotechnical Commission (NEMA IEC) Body ファントムを用い、放射能濃度比 32/1 (球/B.G) では 37-22 mm 球まではエッジ強調が明瞭にみられたが、17 mm 球以下では単相性のプロファイルカーブとなり、放射能濃度比が小さくなるに従いエッジ強調は不明瞭化したと報告している。しかし、本検討において、放射能濃度比により Gibbs アーチファクトの影響に差がみら

れなかった理由は、使用した線条体ファントムの容積が 12 mL であり、プロファイルが平坦化する 17 mm 球以下であったためと考える。一方、SC を加えることで SUV は低値を示す傾向があった。この原因としては、線条体部分の散乱線成分によるカウントが SC により減算されたことが大きいと考える。

臨床評価においても SBR と SUV の相関関係を評価した。各患者の実測 SBR と SUV_{mean} および SUV_{max} はすべての補正法で有意な正の相関があり、佐藤ら¹⁷⁾ および Toriihara ら¹⁸⁾ の報告と同様の傾向を示したことから、DAT SPECT の定量評価に SUV_{mean} および SUV_{max} の利用が可能であることが示唆された。Piggott ら⁴⁾ によると、PD や DLB では、被殻の DAT 密度低下に伴い、尾状核の DAT 密度も低下することが明らかにされている。SUV_{mean} は線条体 VOI の大きさに依存するため解析者間の差が大きいと考えられるが、VOI 内における集積の最大値を利用する SUV_{max} は再現性の高い定量指標として正常群と疾患群の診断に寄与すると考えられる。

本検討は、SUV 解析ソフトウェアの制約上、X 線 CT 減弱補正 (CT-AC) 法が必須であり、AC の有無による補正効果の評価ができなかった。しかし、AC を行うことで減弱されたカウントが補正され SBR および SUV が上昇すると報告されている^{13, 17)}。したがって、本検討においても AC によりカウントが補正され、SBR および SUV の上昇に寄与していたと考える。

4. 結 語

DAT SPECT において、SBR と SUV の相関および各補正法による影響をファントムおよび臨床データを用いて評価した。SBR および SUV は補正法に関係なく有意な正の相関を示したことから、SUV は DAT SPECT において定量評価に利用できることが示唆された。定量値算出の際に補正を行う場合は、SBR および SUV とともに真値に対する相対誤差が最も低値を示した ACSC の使用を推奨する。補正効果について、SBR は SC、SUV は RR による効果が顕著であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 辻 省次, 高橋良輔. IV. パーキンソン病の病態と診断—パーキンソン病の臨床症候. アクチュアル 脳・神経疾患の臨床—パーキンソン病と運動異常—. 中山書店. 東京, 2013: 293-306.
- 2) Niznik HB, Fogel EF, Fassos FF, et al. The dopamine transporter is absent in parkinsonian putamen and reduced in the caudate nucleus. *J Neurochem* 1991; 56(1): 192-198.
- 3) Piggott MA, Perry EK, Marshall EF, et al. Nigrostriatal dopaminergic activities in dementia with Lewy bodies in relation to neuroleptic sensitivity: comparisons with Parkinson's disease. *Biol Psychiatry* 1998; 44(8): 765-774.
- 4) Piggott MA, Marshall EF, Thomas N, et al. Striatal dopaminergic markers in dementia with Lewy bodies, Alzheimer's and Parkinson's diseases: rostrocaudal distribution. *Brain* 1999; 122 (8): 1449-1468.
- 5) Booij J, Tissingh G, Boer GJ, et al. [123I]FP-CIT SPECT shows a pronounced decline of striatal dopamine transporter labelling in early and advanced Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1997; 62(2): 133-140.
- 6) Catafau AM, Tolosa E; DaTSCAN Clinically Uncertain Parkinsonian Syndromes Study Group. Impact of dopamine transporter SPECT using 123I-Ioflupane on diagnosis and management of patients with clinically uncertain Parkinsonian syndromes. *Mov Disord* 2004; 19(10): 1175-1182.
- 7) Darcourt J, Booij J, Tatsch K, et al. EANM procedure guidelines for brain neurotransmission SPECT using (123)I-labelled dopamine transporter ligands, version 2. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37(2): 443-450.
- 8) Djang DSW, Janssen MJR, Bohnen N, et al. SNM practice guideline for dopamine transporter imaging with ¹²³I-ioflupane SPECT 1.0. *J Nucl Med* 2012; 53(1): 154-163.
- 9) Ueda J, Yoshimura H, Shimizu K, et al. Combined visual and semi-quantitative assessment of 123I-FP-CIT SPECT for the diagnosis of dopaminergic neurodegenerative diseases. *Neurol Sci* 2017; 38(7): 1187-1191.
- 10) Tossici-Bolt L, Hoffmann SM, Kemp PM, et al. Quantification of [123I]FP-CIT SPECT brain images: an accurate technique for measurement of the specific binding ratio. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2006; 33(12): 1491-1499.
- 11) 宮井将宏, 山本泰司, 内部 拓, 他. 異なる解析ソフトウェアから算出されるドパミントランスポータシンチグラフィの定量的指標の比較. *日放技学誌* 2015; 71(12): 1209-1214.
- 12) 玉井宏征, 橋本克己, 西久保直嗣, 他. 線条体 SPECT イメージングの再現性評価—MR 画像と Fusion による AC-PC ライン設定—. *核医技* 2016; 36(2): 188-194.
- 13) 亀井山弘晃, 松友紀和, 長木昭男, 他. ¹²³I-FP-CIT SPECT における画像再構成方法が定量的と診断能に与える影響. *日放技学誌* 2016; 72(7): 595-601.
- 14) Ritt P, Vija H, Hornegger J, et al. Absolute quantification in SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2011; 38(Suppl 1): 69-77.
- 15) 所谷亮太郎, 上田一雄, 久米利明, 他. 改善された空間分解能を有する定量的 SPECT を用いた正常骨 SUV 評価の検討. *核医技* 2017; 37(3): 201-210.
- 16) Suh MS, Lee WW, Kim YK, et al. Maximum Standardized Uptake Value of (99 m)Tc Hydroxymethylene Diphosphonate SPECT/CT for the Evaluation of Temporomandibular Joint Disorder. *Radiology* 2016; 280(3): 890-896.
- 17) 佐藤友裕, 林 正尚. SPECT 単体装置を用いたドパミントランスポータシンチグラフィにおける standardized uptake value の基礎的検討と specific binding ratio との比較. *日放技学誌* 2018; 74(10): 1129-1137.
- 18) Toriihara A, Daisaki H, Yamaguchi A, et al. Semiquantitative

- analysis using standardized uptake value in 123I-FP-CIT SPECT/CT. Clin Imaging 2018; 52: 57-61.
- 19) 日本核医学会, 日本脳神経核医学研究会 編. イオフルパン診療ガイドライン第2版. 2017: 10-11.
- 20) 梶迫正明, 川瀬滋人, 東村享治, 他. イオフルパン SPECT イメージングの特異的集積比(SBR)計測における最適画像再構成法・補正法の検討. 核医技 2016; 36(4): 523-531.
- 21) 大西英雄, 本村信篤, 藤埜浩一, 他. 数値ファントムを用いた最新鋭 SPECT の位置分解能補正の基礎的検討. 日放技学誌 2012; 68(6): 686-696.
- 22) 中村明弘, 谷崎靖夫, 竹内美穂, 他. PET 画像における PSF 補正が定量値に与える影響—ファントム実験と臨床画像からの検討—. 日放技学誌 2014; 70(6): 542-548.

問合先

〒920-0942 金沢市小立野 5-11-80

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 小野口昌久