ノート

イオフルパン(^{123}I)によるドパミントランスポータ
シンチグラフィの検査技術の基礎的検討佐藤謙一^{1,2} 木村 聡¹ 奥山由美子¹ 長澤秀和³ 鈴木 賢³ 井関栄三⁴論文受付
2014年10月28日論文受理
2015年6月4日Code Nos. 300
330, 332¹順天堂大学医学部附属順天堂東京江東高齢者医療センター放射線科²順天堂大学大学院医学研究科医科学専攻³順天堂大学医学部放射線医学教室放射線診断学講座⁴順天堂大学大学院医学研究科精神行動科学

緒言

日本にてドパミントランスポータ (dopamine transporter: DAT) に高い親和性を有するイオフルパン (^{123}I) を有効成分とする脳疾患診断薬のダットスキャン®静注が2013年9月にパーキンソン病を含むパーキンソン症候群 (Parkinson's syndrome: PS) やレビー小体型認知症 (dementia with Lewy bodies: DLB) の効能・効果で承認され、DAT イメージングが2014年1

月から開始された¹⁾。PS や DLB は、黒質線条体ドパミン神経細胞が変性する運動失調疾患であり、その神経終末に存在する DAT 密度が低下していることが知られている。ドパミン神経細胞の投射先である線条体は、大脳基底核を構成する神経核の一つであり、尾状核と被殻からなる。イオフルパン (^{123}I) は、線条体における DAT 分布密度を反映する single photon emission computed tomography (SPECT) 画像を提供する

Assessment of Inspection Technology of Dopamine Transporter
Imaging with ^{123}I -IoflupaneKenichi Sato,^{1,2*} Satoshi Kimura,¹ Yumiko Okuyama,¹
Hidekazu Nagasawa,³ Masaru Suzuki,³ and Eizo Iseki⁴¹Department of Radiology, Juntendo Tokyo Koto Geriatric Medical Center, Juntendo University²Medical Science, Graduate School of Medicine, Juntendo University³Department of Radiology, School of Medicine, Juntendo University⁴Department of Psychiatry and Behavioral Science, Graduate School of Medicine, Juntendo University

Received October 28, 2014; Revision accepted June 4, 2015

Code Nos. 300, 330, 332

Summary

Imaging start time of single-photon emission computed tomography (SPECT) scan is recommended between 3 hours and 6 hours after injection of ^{123}I -ioflupane in Ioflupane clinical practice guidelines. But image includes the effect of physiological actions of the human body and the attenuation at 13.27 hours physical half-life of ^{123}I . Therefore, we evaluated the effect of the image by the elapsed time of imaging start time. Optimal cut-off frequency of Butterworth filter were examined phantom by normalized mean square error. Count was reduced by 23.1% in 5 hours, but cut-off frequency of Butterworth filter was 0.11 cycle/pixel in 0–5 hours from phantom data. Ten subjects (age 55–85 years) were injected with ^{123}I -ioflupane of 110–199 MBq into the vein only once. And we examined the specific binding ratio (SBR) in inspection of injection after 5.5 hours and 3 hours. Decrease of counts value increased the coefficient of variance (CV) between 3 hours and 5.5 hours after injection, but the improvement of statistical noise by pre-processing filter reduced the CV. No significant difference in the result of SBR was found between 3 hours and 5.5 hours after injection. Our results suggest that imaging start time of SPECT scan is recommended between 3 hours and 5.5 hours after injection of ^{123}I -ioflupane.

Key words: pre-processing filters, specific binding ratio, ^{123}I -ioflupane, ^{123}I -FP-CIT, dopamine transporter imaging, single-photon emission computed tomography (SPECT)

*Proceeding author

ことで線条体ドパミン性ニューロンのシナプスにおける PS や DLB の診断に寄与する²⁾。

イオフルパン (^{123}I) による SPECT 検査の撮像開始時間については、イオフルパン診療ガイドラインより SPECT 検査の至適撮像開始時間は投与後 3~6 時間であるとされ、各施設における画像と定量的指標のばらつきを少なくし、検査の再現性を高めるために、施設ごとに至適撮像開始時間の範囲内で一定の撮像開始時間を設定することが望ましいとある²⁾。高野らによる健常成人男性による脳組織内中放射能濃度分析の報告では、線条体における特異的/非特異的集積比は投与後 3 時間以降、一定となり投与後 3~6 時間に SPECT を 1 回施行することでイオフルパン (^{123}I) の特異的集積を測定することができると報告がある³⁾。しかし撮像開始の時間経過には、 ^{123}I の物理的半減期 13.27 時間による減衰と人体の生理的な作用による影響が画像には含まれている。また SPECT 収集による投影データは 1 方向の収集時間が短く、平面(ブランチ像)撮像法に比べて密着性も悪く統計雑音を多く含んでいる。このような投影データを基に画像再構成を行うと統計雑音を多く含む画像となる。そのため SPECT 画像では統計雑音を除去するために前処理フィルタが使用されている。

日本では DAT イメージングの臨床使用は始まったばかりであり、ガイドラインに記載されて推奨とされる撮像および画像処理条件を臨床データにて検証し、診断に適した SPECT 画像を得るための検査技術の基礎的データを積み上げていく必要がある。

そこでわれわれは日本人の臨床データにてイオフルパン診療ガイドラインの至適撮像開始時間内の投与後 3 時間と 5.5 時間撮像における前処理フィルタの遮断周波数と定量的評価の指標である specific binding ratio (SBR) について検討した。

1. 対象と方法

1-1 データ収集および処理方法

SPECT 装置は東芝メディカルシステムズ社製 2 検出型の e.cam、コリメータは fanbeam collimator を使用した。データ処理装置は東芝メディカルシステムズ社製 e.soft を使用し、画像再構成法はフィルタ補正逆投影(filtered back projection: FBP)法を用い、energy window を ^{123}I の photo-peak 159 keV に対して main window 15%、散乱性補正および減弱補正はなしとした。再構成フィルタは ramp filter とし、前処理フィルタは Butterworth filter を用いた。Butterworth filter は f を空間周波数、 fc を遮断周波数、 n を次数と

する次の式(1)で表される⁴⁾。本研究においては次数 8 とした。

$$D(f) = \frac{1}{1 + (f/fc)^{2n}} \dots\dots\dots (1)$$

データ解析ソフトは核医学画像処理技術カンファレンスの Prominence Processor version 3.1 と Tossici-Bolt らの論文⁵⁾による解析方法を実装した DaT ソフトウェア研究会の DATView ver 1.0 を用いた。有意差検定は統計ソフト SPSS 15.0 J (SPSS Japan Inc.) を用いて有意水準を 0.05 として Wilcoxon の符号付順位検定を行った。

1-2 ファントムデータ

^{123}I を線条体とバックグラウンド比が 8 : 1 (32.2 kBq/ml : 4.0 kBq/ml) になるように封入したエヌ・エム・ピービジネスサポート社製 DaT1308 型 Phantom を使用した。収集条件はマトリックスサイズ 128×128 (1 pixel=1.95 mm)、拡大率 1.23、回転半径 14 cm、1 検出器あたり 30 分間で 180 度回転させ 2 検出器で 360 度 90 方向のプロジェクションデータを収集し、これを 24 回反復連続収集モードで 12 時間収集を行った。

1-3 臨床データ

安静状態にてイオフルパン (^{123}I) 110~199 MBq を被検者 10 名(男性 4 名、女性 6 名、年齢 74.3±8.8 歳)の静脈内に 1 回投与した。撮像は被検者に同意を得て投与後 3 時間(平均 3 時間 1 分±0.01)と 5.5 時間(平均 5 時間 31 分±0.02)の 2 回撮像を行い、撮像間の頭部のずれが最小となるように同じ担当者が位置合わせをした。収集条件はマトリックスサイズ 128×128 (1 pixel=1.95 mm)、拡大率 1.23、回転半径 14 cm、1 検出器あたり 5 分間で 180 度回転させ 2 検出器で 360 度 90 方向のプロジェクションデータを収集し、これを 6 回反復連続収集モードで 30 分間収集を行った。

関心領域(region of interest: ROI)は、イオフルパン診療ガイドラインで部分容積効果の影響を小さくする ROI 設定とされる Tossici-Bolt らが提唱する方法にて再構成画像データの軸位像で線条体部分と線条体部分以外の脳全体部分に Fig. 1 に示すように設定し、線条体集積の総カウントを確実に取り込むため線条体を中心とした 23 スライス(厚さ 44mm)を対象とした^{2,5)}。なお本研究は臨床データの使用を当施設の倫理委員会にて承認(No. 72-3)を得て実施した。

Fig. 1 Representative set of region of interest. S, striatum; W, whole brain with the exclusion of striatum.

2. 検討項目

2-1 normalized mean square error (NMSE) 法による前処理フィルタの遮断周波数の検討

12時間収集したファントムデータをリファレンスとし、投与後3時間からの撮像開始の時間経過を想定した0, 1, 2, 3, 4, 5, 5.5, 6, 7時間の30分収集データに分割したファントムデータをターゲットとし、Butterworth filterの遮断周波数(cycle/pixel)を0.06から0.15まで0.01変化させてNMSE法によって最適な遮断周波数を求めた。撮像時間の設定はイオフルパン(^{123}I)の物理的半減期と生理的な作用による収集データの低下を考慮し、 ^{123}I の物理的半減期(13.27時間)の2分の1である6.6時間を含む7時間とした。また ^{123}I の物理的半減期による減衰割合をファントムデータの測定値と計算による理論値とで比較した。NMSE法は基準となる画像と比較したい処理画像の偏差2乗誤差を求め、その最小となる処理画像が最適とする方法で、基準画像を $f(i, j)$ 、処理画像を $g(i, j)$ とする次の式(2)で表される⁶⁾。

$$NMSE = \frac{\sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y (g(i, j) - f(i, j))^2}{\sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y f(i, j)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

2-2 カウントに与える影響

イオフルパン(^{123}I)投与後3時間と5.5時間に撮像した臨床データから2.5時間経過のカウント(counts/

pixel)の変化を2-1で求めた遮断周波数を用いて線条体部分と線条体部分以外の脳全体部分で検討した。線条体部分と線条体部分以外の脳全体部分に設定したROIをFig.1に示す。

2-3 変動係数(coefficient of variance: CV)

に与える影響

イオフルパン(^{123}I)投与後3時間と5.5時間に撮像した臨床データから2.5時間経過のCV(%)の変化を2-1で求めた遮断周波数を用いて2-2と同様のROI設定で検討した。測定値の再現性を表すCVは ε を相対的標準偏差、 σ を標準偏差、Nを計数値とする次の式(3)で表される⁷⁾。

$$CV = \varepsilon \times 100\% = \sigma / N \times 100\% \\ = (\text{ROI内の標準偏差} / \text{ROI内の平均値}) \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (3)$$

2-4 SBRに与える影響

イオフルパン(^{123}I)投与後3時間と5.5時間に撮像した臨床データから2.5時間経過のSBRの変化を2-1で求めた遮断周波数を用いて2-2と同様のROI設定で検討した。線条体における特異的結合の定量的指標であるSBRは式(4)で表される^{2,5)}。

定量的指標 SBR

$$= \frac{\left(\frac{\text{線条体 ROIの総カウント}}{\text{後頭葉 ROIの単位体積あたりのカウント}} \right) - \left(\frac{\text{線条体 ROIの体積}}{\text{線条体体積}} \right)}{\dots\dots\dots (4)}$$

3. 結果

3-1 NMSE 法による前処理フィルタの

遮断周波数の検討

NMSEが最小値となるButterworth filterの遮断周波数は、Fig.2より撮像開始の時間経過が0から5時間の変化では0.11 cycle/pixel付近で最小値となり、5.5時間は0.10と0.11 cycle/pixel付近で最小値となった。6から7時間では0.10 cycle/pixel付近で最小値となった。

Tableにファントムデータでの撮像開始時間の違いによる ^{123}I の半減期による物理的な減衰割合を示す。測定値は理論値に対して値の差が1%以下とほぼ一致した減衰割合となった。検討項目2, 3, 4で使用するButterworth filterの遮断周波数は、カウント低下が25%程度まで使用可能である0.11 cycle/pixelとする。

Fig. 2 Relationship between normalized mean square error (NMSE) value and cut-off frequency.

Table Physical attenuation rate of ^{123}I iodine by the difference of imaging start time in the phantom data

Elapse of imaging start time (hour)	1	2	3	4	5	5.5	6	7
Measured value (%)	5.2	9.5	13.7	18.0	22.5	24.3	25.9	29.7
Theoretical value (%)	5.1	9.9	14.5	18.9	23.0	25.0	26.9	30.6

Fig. 3 Relationship between total count value of projection data and count value of single-photon emission computed tomography image in each region of interest.

○ and dashed line, striatum; ● and solid line, whole brain with the exclusion of striatum.
(a) 3 hours examination after injection of ioflupane (^{123}I)
(b) 5.5 hours examination after injection of ioflupane (^{123}I)

3-2 カウントに与える影響

投与後3時間と5.5時間撮像における頭部全体のプロジェクションデータの総カウント(counts)とSPECT画像の各ROIにおけるカウント(counts/pixel)の関係をFig.3に示す。プロジェクションデータの総カウントが増加するとSPECT画像の線条体部分と線

条体部分以外の脳全体部分のカウントはともに増加した。プロジェクションデータの総カウントはFig.3aの投与後3時間撮像で最小値1783369 counts, Fig.3bの5.5時間撮像で最小値1598162 countsであり、イオフルパン診療ガイドラインで推奨される総カウント以上であった。

Fig. 4 Relationship between 3 hours and 5.5 hours examination after injection of ioflupane (^{123}I) in each region of interest.

○ and dashed line, median; ● and solid line, subjects data

(a) Count value of striatum

(b) Count value of whole brain with the exclusion of striatum

Fig. 5 Relationship between 3 hours and 5.5 hours examination after injection of ioflupane (^{123}I) in each region of interest.

○ and dashed line, median; ● and solid line, subjects data

(a) Coefficient of variance of striatum

(b) Coefficient of variance of whole brain with the exclusion of striatum

各 ROI における投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の関係を Fig. 4 に示す。Fig. 4a の線条体部分は投与後 3 時間撮像で中央値 14.0 counts/pixel, 平均値 13.7 ± 3.2 counts/pixel, 5.5 時間撮像で中央値 10.4 counts/pixel, 平均値 10.2 ± 2.5 counts/pixel となり, Fig. 4b の線条体部分以外の脳全体部分は投与後 3 時間撮像で中央値 11.7 counts/pixel, 平均値 11.7 ± 3.1 counts/pixel, 5.5 時間撮像で中央値 8.8 counts/pixel, 平均値 8.7 ± 2.4 counts/pixel とともに撮像間隔 2.5 時間で低下し, 投与後 3 時間と 5.5 時間撮像に有意差が認められた。

3-3 CV に与える影響

各 ROI における投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の関係を Fig. 5 に示す。Fig. 5a の線条体部分は投与後 3 時間撮像で中央値 30.7%, 平均値 $29.3 \pm 6.6\%$, 5.5 時間撮像で中央値 31.5%, 平均値 $29.2 \pm 6.8\%$ と投与後 3 時間と 5.5 時間撮像に有意差が認められず, Fig. 5b の線条体部分以外の脳全体部分は投与後 3 時間撮像で中央値 18.2%, 平均値 $18.5 \pm 1.9\%$, 5.5 時間撮像で中央値 18.7%, 平均値 $19.0 \pm 2.1\%$ とともに撮像間隔 2.5 時間で上昇し, 投与後 3 時間と 5.5 時間撮像に有意差が認められた。

Fig. 6 Relationship between 3 hours and 5.5 hours examination after injection of ioflupane (^{123}I) in specific binding ratios.
○ and dashed line, median; ● and solid line, subjects data.

3-4 SBR に与える影響

投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の SBR の関係を Fig. 6 に示す。投与後 3 時間撮像で中央値 1.93, 平均値 2.25 ± 1.78 , 5.5 時間撮像で中央値 1.68, 平均値 2.21 ± 1.73 となり投与後 3 時間と 5.5 時間撮像に有意差は認められなかった。

4. 考 察

4-1 NMSE 法による前処理フィルタの遮断周波数の検討

前処理フィルタの遮断周波数は使用核種, コリメータおよび投与量によって大きく変化するが, 今回の正常集積を想定したファントム⁸⁾では 5.5 時間経過による ^{123}I の半減期での物理的減衰によってカウントが 24.3% 低下しても遮断周波数に変化が見られなかった。また測定値の減衰割合は ^{123}I の物理的減衰の理論値に対して値の差が 1% 以下とほぼ一致していた。本研究の検討項目 2 の臨床データにおいて投与後の撮像間隔 2.5 時間で 25% 程度のカウント低下が起こる結果が得られており, 投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の前処理フィルタに同じ遮断周波数が使用可能であることが示唆された。

4-2 カウントに与える影響

イオフルパン診療ガイドラインでは適切な画像を得るために画像収集の総カウントが 150 万カウント以上を収集することが推奨されており, 本研究の臨床データはプロジェクションデータの総カウントが投与後

5.5 時間後においても条件を満たしていることから適切な SPECT 画像が得られている。

カウントは投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の 2.5 時間経過によって中央値で線条体部分は -3.6 counts/pixel で 25.2% 低下, 線条体部分以外の脳全体部分は -2.9 counts/pixel で 26.1% 低下した。

時間経過によってカウントが低下する要因には ^{123}I の物理的減衰と人体の生理作用がある。 ^{123}I は物理的減衰(半減期 13.27 時間)によって 2.5 時間で 12.2% 低下となり, 1 時間あたりでは 5.1% 低下する。本研究の結果を ^{123}I の物理的減衰で補正すると生理的作用による影響は 1 時間あたり中央値が線条体部分では 5.2% と低下し, 線条体部分以外の脳全体部分では 5.5% 低下したことになる。高野らの報告によると, イオフルパン (^{123}I) は小脳での放射能濃度は投与後 2 時間以降で 1 時間あたり 5% と緩徐な減少となり, 後頭葉での推移パターンは小脳と類似していたが投与後 2 時間以降, 小脳よりもやや高くなった。また前頭葉での放射能濃度は後頭葉よりもやや高く, 線条体では投与後 60 分で最大となり, その後 1 時間あたり 3% と緩徐な減少となったとある^{3,9)}。本研究は放射能濃度ではなくカウントで検証したが後頭葉や前頭葉を含む線条体部分以外の脳全体部分の結果はこれらの数値と一致していた。また線条体部分における過大評価は部分容積効果の影響を最小限にするために ROI 設定の形状が脳室, 脳溝や線条体以外の脳実質を一部含むためと考える。したがって DAT イメージングを開始するために行うファントム実験で撮像開始時間が関係する撮像条件や画像処理条件を設定する場合には, 1 時間あたり物理的減衰による 5.1% 低下に生理的作用による 5% 低下を加えた 10.1% のカウント低下を考慮して条件設定をする必要がある。

4-3 CV に与える影響

CV は投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の 2.5 時間経過によって中央値が線条体部分では 1.2% 減少と有意差が認められず, 線条体部分以外の脳全体部分では 3.5% 増加となった。SPECT 検査の測定値は放射性物質からの放射線の放出がランダム現象のため統計変動を伴う。測定値の精度を表す指標の相対的標準偏差(相対誤差)は全計数値の平方根に逆比例して小さくなる⁷⁾。そのため CV は測定値のカウント増加によって向上するが, カウント減少によって低下する。しかし前処理フィルタの遮断周波数を最適な値に設定することで CV が統計雑音を含む高周波成分の除去によって改善され, 投与後の撮像間隔 2.5 時間でカウントが

25% 程度低下した 5.5 時間撮像への統計雑音の影響は小さいことが示唆された。

4-4 SBR に与える影響

SBR は投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の 2.5 時間経過で中央値が 0.25 低下となったが有意差は認められなかった。検討項目 2-2 より線条体部分と線条体部分以外の脳全体部分のカウント変化の差は 2.5 時間経過で 1% 以下となり、検討項目 2-3 の ROI 内の測定値への統計変動の影響は線条体部分以外の脳全体部分で CV が 2.5 時間経過で 3.5% 程度の増加となり、これら因子の影響は小さいことから SBR に有意差が認められなかったと考えられる。SBR については、特異的／非特異的集積比が健常人では投与後 3 時間ではプラトートの 90% 以上に達し、投与後 4 時間以降でプラトートとなり、特異的集積の低下した患者では特異的／非特異的集積比がプラトートに達するまでの時間が早くなることが報告されている^{2,9-11)}。本研究では特異的集積の低下した被検者データも含まれるが投与後 3 時間と 5.5 時間撮像の比較において、これらの特異的／非特異的集積比のプラトートとなる投与後時間の報告と一致していた。また Tossici-Bolt らが提唱されている ROI 設定では再現性の高い定量的指標の値を得ることができる報告がある⁵⁾。この再現性の高い ROI 設定を使用した本研究の結果においても投与後 3 時間と 5.5 時間撮像で SBR がプラトートとなり、2.5 時間の時間経過は SBR に影響を与えないことが示唆された。

線条体部分と線条体部分以外の脳全体部分での人体の生理的作用がカウントに与える影響と統計雑音が CV に与える影響の評価より、イオフルパン診療ガイドラインの投与後 3 から 6 時間の至適撮像開始時間内である投与後 3 時間と 5.5 時間撮像は、定量的評価の

指標である SBR に有意差が認められない再現性の高い一定の撮像開始時間として臨床使用が可能であると考えられる。

DAT イメージングの臨床診断は画像読影によって線条体の位置、形状、集積を判定する視覚的評価と定量的評価の指標である SBR とで判断される。本研究では投与後の撮像開始の時間経過と SBR の関係を検討したが視覚的評価は行っていない。検討項目 2-3 でカウントの 25% 程度低下による SPECT 画像への統計雑音の影響は小さいことが示唆されているが、今後は撮像開始の時間経過と視覚的評価の関係を調べる必要がある。

5. 結 語

日本人の臨床データにてイオフルパン診療ガイドラインの至適撮像開始時間内の投与後 3 時間と 5.5 時間撮像における前処理フィルタの遮断周波数と定量的評価の指標である SBR について検討した。

前処理フィルタはファントムデータによる NMSE 法で投与後 3 時間と 5.5 時間撮像で同一の遮断周波数が使用可能なことが示唆され、定量的評価の指標である SBR はイオフルパン診療ガイドラインの至適撮像開始時間とされる SPECT 検査による投与後 3~6 時間内の投与後 3 時間と 5.5 時間において SBR に有意差は認められなかった。

謝 辞

本研究に対してご指導をいただきました順天堂大学大学院医学研究科放射線診断学の青木茂樹教授、ファントム提供など撮像に協力いただいた日本メジフィジックス画像情報センターの柳沢正道氏および関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 日本メジフィジックス株式会社. ダットスキャン静注イメージングの手引き第 1 版. 2013: 1-3.
- 2) 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 1 版. 2014: 3-17.
- 3) 高野勝弘, 松村 要, 渡辺ゆり, 他. ドパミントランスポートイメージング剤 ^{123}I -FP-CIT の第 1 相臨床試験 (第 2 報). 核医学 1999; 36(9): 1013-1022.
- 4) 増田安彦, 長木昭男, 川瀬安寿, 他. 臨床に役立つ基準画像の収集・処理・表示・出力のポイント. 核医学技術 2008; 28: 13-66.
- 5) Tossici-Bolt L, Hoffmann SM, Kemp PM, et al. Quantification of ^{123}I -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.
- 6) (社)日本放射線技術学会核医学分科会. SPECT 画像技術の基礎. (社)日本放射線技術学会, 2001: 5-66.
- 7) 日本核医学技術学会. 核医学技術総論第 1 版. 日本核医学技術学会, 2008: 27-26.
- 8) Tossici-Bolt L, Dickson JC, Sera T, et al. Calibration of gamma camera systems for a multicentre European ^{123}I -FP-CIT SPECT normal database. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2011; 38(8): 1529-1540.
- 9) Booij J, Tissingh G, Boer GJ, et al. ^{123}I -FP-CIT SPECT shows a pronounced decline of striatal dopamine transporter labelling in early and advanced Parkinson's disease. J Neurol Neurosurg Psychiatr 1997; 62(2): 133-140.
- 10) Booij J, Hemelaar TG, Speelman JD, et al. One-day protocol for imaging of the nigrostriatal dopaminergic pathway in

- Parkinson's disease by [^{123}I]FPCIT SPECT. *J Nucl Med* 1999; 40(5): 753-761.
- 11) Varrone A, Dickson JC, Tossici-Bolt L, et al. European multicentre database of healthy controls for [^{123}I]FP-CIT SPECT (ENC-DAT): age-related effects, gender differences and evaluation of different methods of analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2013; 40(2): 213-227.

問合先

〒136-0075 江東区新砂 3-3-20

順天堂大学医学部附属順天堂東京江東高齢者医療センター放射線科 佐藤謙一