

SPECT/CT 装置を用いた心筋血流 SPECT 検査における上肢下垂撮像の検討

続橋 順市¹⁾ 玉根 勇樹¹⁾
佐藤 涼²⁾ 寺岡 悟見²⁾

1) 公益財団法人 星総合病院

2) 富士フイルム RI ファーマ株式会社

Evaluation of Lowering Arm Imaging in Myocardial Perfusion SPECT Using SPECT/CT Equipment

Junichi TSUDUKIHASHI¹⁾, Yuki TAMANE¹⁾,
Ryo SATO²⁾ and Satomi TERAOKA²⁾

1) Public Interest Incorporated Foundation Hoshi General Hospital

2) FUJIFILM RI Pharma Co., Ltd.

(article received : Sep 19, 2015)

Key words : SPECT/CT, Attenuation correction, Scatter correction, Detector response correction,
Lowering arm

1. 緒 言

心筋血流 Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) 検査は画像への影響 (γ線の吸収やアーチファクト) を避けるために上肢を挙上した体位での撮像が一般的であり、肩部痛を患う患者にとって苦痛を伴う検査である。また近年の患者高齢化に伴い、上肢挙上が困難な症例が多く見受けられるようになってきている。

SPECT/CT 装置の普及に伴い、心筋血流 SPECT に Computed Tomography (CT) 画像を用いた減弱補正および散乱補正を行うことで診断精度が向上することが報告され¹⁻²⁾、ガイドラインも作成されているが³⁻⁴⁾、上肢挙上に関する記述は見当たらない。

今回は ^{99m}Tc 製剤を用いた心筋血流 SPECT 検査を対象に、CT 画像を用いた散乱・減弱補正および分解能補正を行うことでルーチン検査として上肢を下垂した体位での撮像が可能か否かをファントム実験および臨床症例を用いて検討した。

なお、この本論文に対して他者との利益相反は

ない。

2. 方 法

対象は当施設で安静時心筋血流 SPECT 検査が施行された47例の患者 (男性 : 32例, 女性 : 18例) と、3例の正常ボランティアである。年齢は26~87歳 (平均64.5 ± 14.0歳), Body Mass Index (BMI) は16.02~34.24 (平均24.5 ± 3.9), 臨床診断は狭心症 : 23名, 陳旧性心筋梗塞 : 8名, うっ血性心不全 : 5名, 急性心筋梗塞 : 5名, 高血圧性心疾患 : 3名, その他 : 1名および正常ボランティア3名であった。なおこの研究に対して全ての症例において同意を得ている。

使用機器として収集装置は Low Energy High Resorution (LEHR) コリメータを装着した General Electric Company (GE) 社製 Infinia Hawkeye 4, 画像処理装置は GE 社製 Xeleris 3 であり, それに搭載されている画像処理ソフト quantitative perfusion SPECT (QPS) を用いて画像処理を行った。ファントムは心筋部に約 112 kBq/ml を封入した ^{99m}Tc 京都科学社製心肝ファントム

RH-2 型と自作上肢ファントムを使用した。画像解析ソフトとして富士フイルム RI ファーマ社製 cardioBULL で画像の正規化と Polar Map 作成を行い画素値の算出を行い、富士フイルム RI ファーマ社製 DRIP において画素値の Excel 展開と Polar Map 作成を行った。統計解析には Microsoft 社製 Excel を使用し上記両ソフトにより得られた一症例当たり 768 画素について解析を行った。

収集方法は ^{99m}Tc -sestamibi または ^{99m}Tc -tetrofosmin (^{99m}Tc 製剤)、約 740 MBq を対象例に投与し、約 30 分後に上肢拳上、下垂の順で SPECT 収集した。収集条件は統一し、マトリクスサイズ: 64×64 で拡大率: 1.33 (ピクセルサイズ: 6.65 mm)、検出器は対向配置の 180 度収集 (2 検出器で 360 度) で Step & Shoot モードにおいて 5

度/step とした。心電図同期は R-R 間隔を 16 分割で行い、収集時間は 20 秒/step である。また各 SPECT 収集の終了後に減弱補正用の CT 撮影 (管電圧 140 kv, 管電流 1 mA, Slice thickness 5 mm, Helical Pitch 1.9, Interval 3.32 mm, 平均撮影時間 120 秒) を行った。

画像再構成には画像処理装置内蔵の分解能補正付き ordered subset expectation maximization method (OSEM) の Evolution を使い、Iterations 12, Subsets 10 とした。散乱補正には Dual Energy Window (DEW) 法、減弱補正には Computed Tomography Attenuation Collection (以下 CTAC) を使用した (OSEM+ACSCRR)。フィルタ処理には 3D Post-filter として Butterworth を使い、Cutoff は 0.45 (cycle/cm)、Power Factor は 10 とした。参照用に Filtered Back Projection (FBP) 法で散乱・減弱・

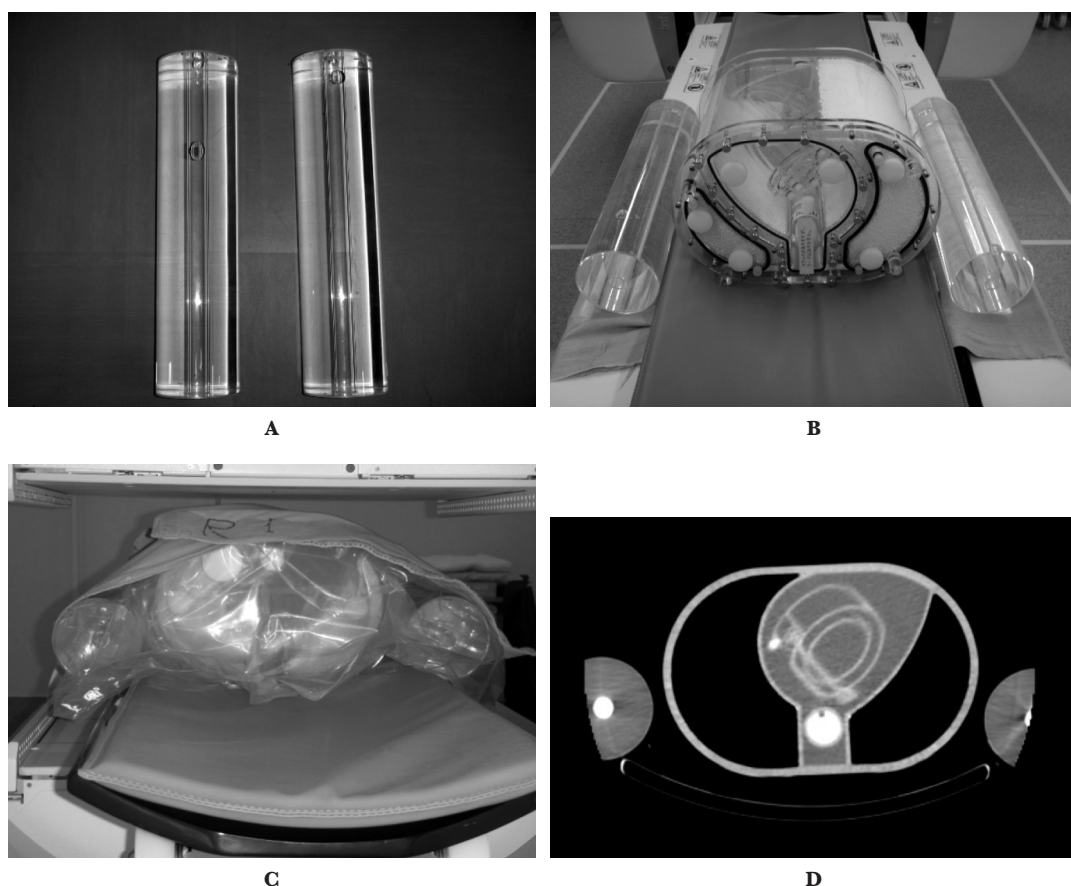


Fig. 1 自作上肢ファントム外観図および CT 画像。(A) 両上肢を模擬したファントム, (B) ファントム配置図, (C) 実験図, (D) CT 画像。

分解能補正を行わない再構成画像も作成した。この場合のフィルタ処理は Prefilter として Butterworth を用い条件は同一とした。

2-1. 上肢ファントムの視覚的検討

自作上肢ファントムを用いて、上肢ファントムの有無でそれぞれ心筋ファントムを撮像し、OSEM+ACSCRR で再構成された画像を核医学検査担当技師 2 名において視覚的評価を行った。なお自作上肢ファントムの外観を **Fig. 1** に示す。詳細は両上肢を模擬して左右 2 本作成し、直径 10 cm の空洞円柱アクリルの中に直径 2 cm の空洞円柱アクリルを挿入している。それぞれの円柱の中には 10 cm には水を、2 cm には水で薄めた造影剤 0.5 mgI/ml を封入しており、CT 値は 761 HU であった。

2-2. 臨床例による定量的検討

50 例の上肢挙上・下垂データを用いて QPS 処理で算出された Summed Rest Score (以下 SRS) および % Uptake の定量評価を行った。% Uptake は 17 Segment を使用した。統計解析には対応のある t 検定を用い危険率 $p < 0.05$ を有意水準として Segment 毎に統計的に評価した。

2-3. 視覚的正常評価例による定量的検討

上肢挙上データにおいて SRS が 2 以下で視覚的にも正常分布を示した 19 例において FBP と OSEM+ACSCRR での % Uptake と cardioBULL で画像の正規化を行い作成された Polar map を DRIP において数値化された画素毎の上肢挙上・下垂間の定量評価を行った。統計解析には対応のある t 検定を用い危険率 $p < 0.05$ を有意水準として統計的に評価した。

3. 結 果

3-1. 上肢ファントムの視覚的検討

自作上肢ファントムを用いて心筋ファントムの OSEM+ACSCRR 再構成画像を **Fig. 2** に示す。再構成した画像を視覚的に評価した結果、上肢ファントムの有無により視覚的には明らかな画像の欠損は認められず、両者に大きな画像の差は認められなかった。

3-2. 臨床例による定量的検討

50 例における上肢挙上・下垂データを用いての QPS で算出された SRS における統計解析結果を **Fig. 3** に示す。両者には $r = 0.929$ ($P < 0.001$) と高い相関関係を認めたが、対応する t 検定にお

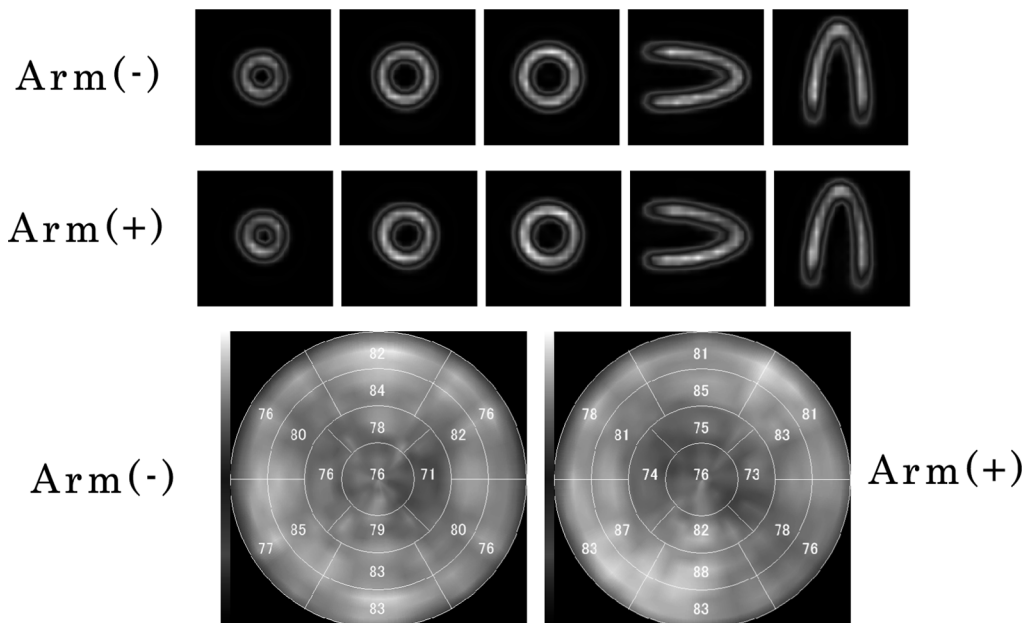


Fig. 2 自作上肢ファントムを用いた心筋ファントム OSEM+ACSCRR 再構成画像。Arm (-) : 上肢ファントムなし, Arm (+) : 上肢ファントムあり。

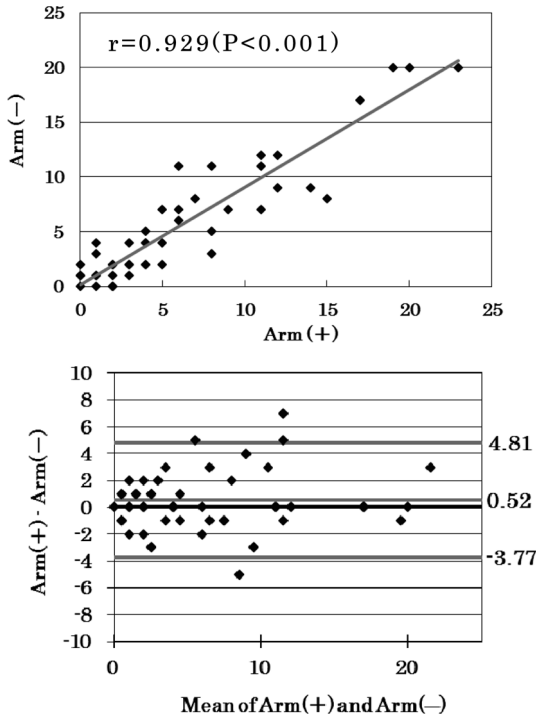


Fig. 3 QPS-SRS においての上肢挙上・下垂の相関図および Bland-Altman Plot。Arm (-) : 上肢挙上, Arm (+) : 上肢下垂。差の平均 0.52。誤差の許容範囲 上限 4.81 下限 -3.77。

いては $P=0.086$ と有意差は認められなかった。また, Bland-Altman 解析において差の平均は 0.52であった。差の平均の95%信頼区間で Upper は 1.14, Lower で -0.10 であり加算誤差は認められなかった。さらに両者の相関係数は $r=0.12$ ($P=0.406$) であり比例誤差も認められなかった。

また, 50例における上肢挙上・下垂データを用いての QPS で算出された % Uptake 17 Segment 値における統計解析結果を **Fig. 4** に示す。両者には $r=0.947$ ($P<0.001$) と高い相関性を認め、対応する t 検定においては $P<0.0001$ と有意差が認められた。また, Bland-Altman 解析においての差の平均は -0.82 であった。差の平均の95%信頼区間で Upper は -0.49, Lower で -1.15 であり加算誤差が認められた。しかしながら両者の相関係数は $r=0.014$ ($P=0.692$) であり比例誤差は認められなかった。

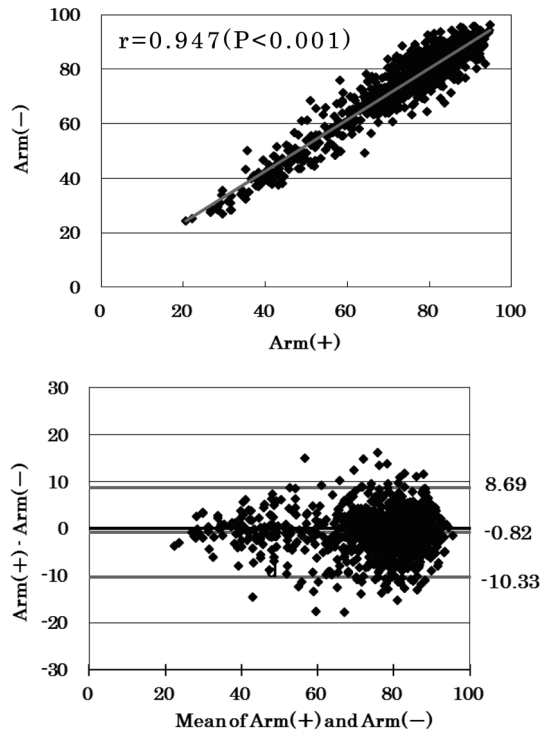


Fig. 4 QPS-% Uptake 17 Segment 値においての上肢挙上・下垂の相関図および Bland-Altman Plot。Arm (-) : 上肢挙上, Arm (+) : 上肢下垂。差の平均 -0.82。誤差の許容範囲 上限 8.69 下限 -10.33。

3-3. 視覚的正常評価例による定量的検討

正常ボランティア 5 例を含む視覚的に集積低下あるいは欠損を認めない 19 例に対し上肢挙上・下垂それぞれにおいて FBP で再構成された % Uptake 17 Segment 値毎の対応する t 検定を行った結果, Segment 7, 11, 12, 13, 16, 17 において有意 ($P<0.05$) な差を認めた。また, 同様のデータに対し % Uptake Polar map と画素毎の対応する t 検定の結果を **Fig. 5** に示す。これにより, 両者には全体の 21.6% において有意差が認められた。

次に OSEM+ACSCRR で再構成された % Uptake 17 Segment 値毎の対応する t 検定を行った結果, 17 Segment 全てにおいて有意差を示す領域は認められなかった。また, 同様のデータに対し % Uptake の Polar map と画素毎の対応する t 検定の結果を **Fig. 6** に示す。これにより, 両者には有意差が認められたのは全体の 3.9% であり, 特

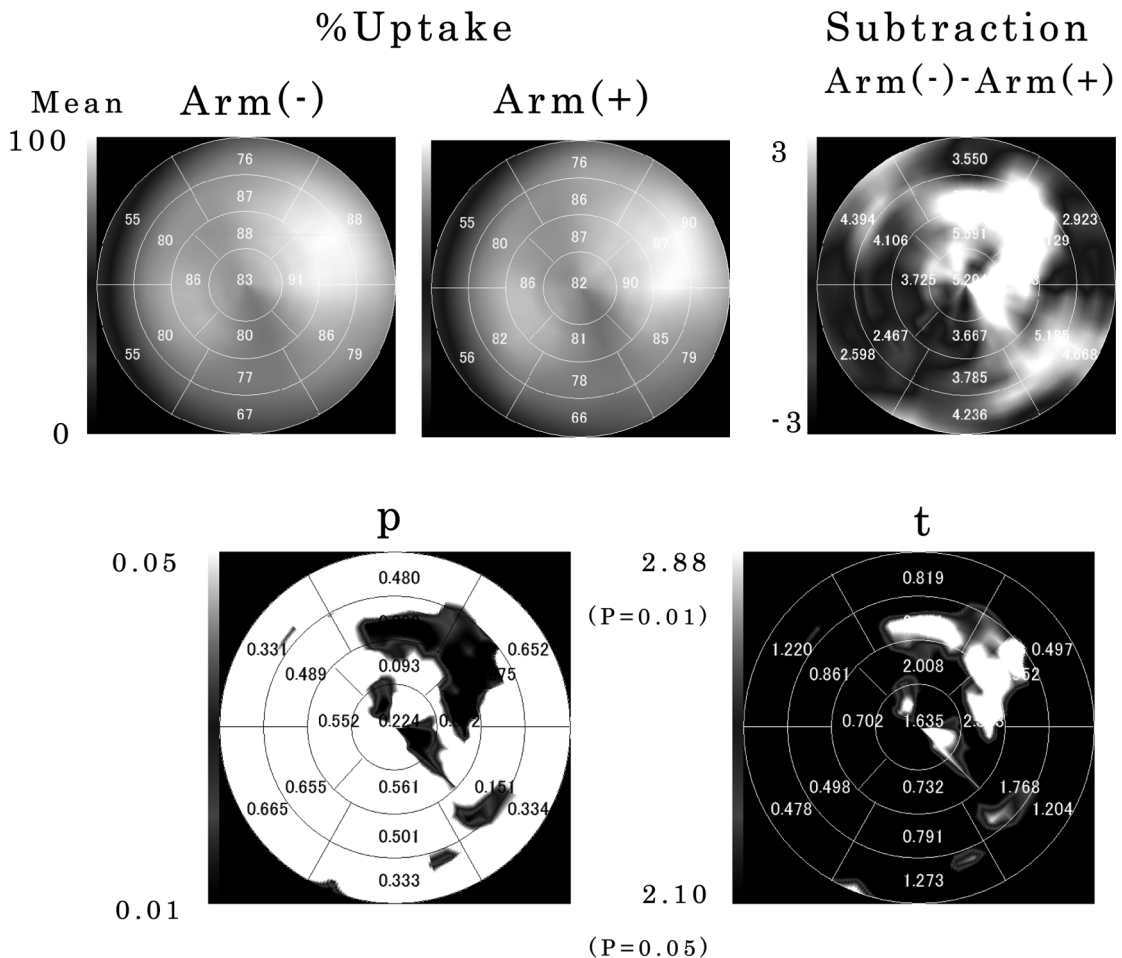


Fig. 5 FBP 再構成における % Uptake Polar map および画素毎の上肢挙上・下垂による対応のある t -検定結果 (p 値, t 値 map, および 17 Segment 値)。Arm (-) : 上肢挙上, Arm (+) : 上肢下垂。

に心基部側後側壁に多く認められた。

4. 考 察

^{99m}Tc 製剤を用いた心筋血流 SPECT 検査を対象に上肢を下垂した体位で撮像が可能か散乱・減弱補正, 分解能補正を使用してファントムおよび臨床データで検討した。

自作上肢ファントムを用いた視覚的評価において上肢下垂画像に明らかな低下や欠損が認められなかったのは散乱補正による画像コントラストの向上, 減弱補正による減弱部分のカウンターの上昇, 分解能補正による深部の分解能向上によるものと考ええる。しかしながら 50 例の % Uptake 17 Segment 値において t 検定や Bland-Altman 解析で有意差が認められた。上肢の影響は心基部に発

生する傾向にあり Segment 毎に解析を行うとその部位において有意差が認められる結果になったものと考ええる。しかし上肢下垂の方が Bland-Altman 解析で平均 0.82% と低い結果であり, 臨床には問題ないと考ええる。

また 19 例の画素毎の t 検定において上肢挙上・下垂で有意差が認められたのは FBP では心筋全体で 21.6% であった。部位においては心尖部から前壁, 側壁の部分であり, FBP では上肢による影響がこの部分に大きく現れると推測される。しかし OSEM+ACSCRR においては上肢挙上・下垂で有意差が認められたのは心筋全体で 3.9% と低減されており, CT による減弱補正とさらに散乱補正を加える事により上肢によるカウント低下や散乱線の影響が低下したと考える。また

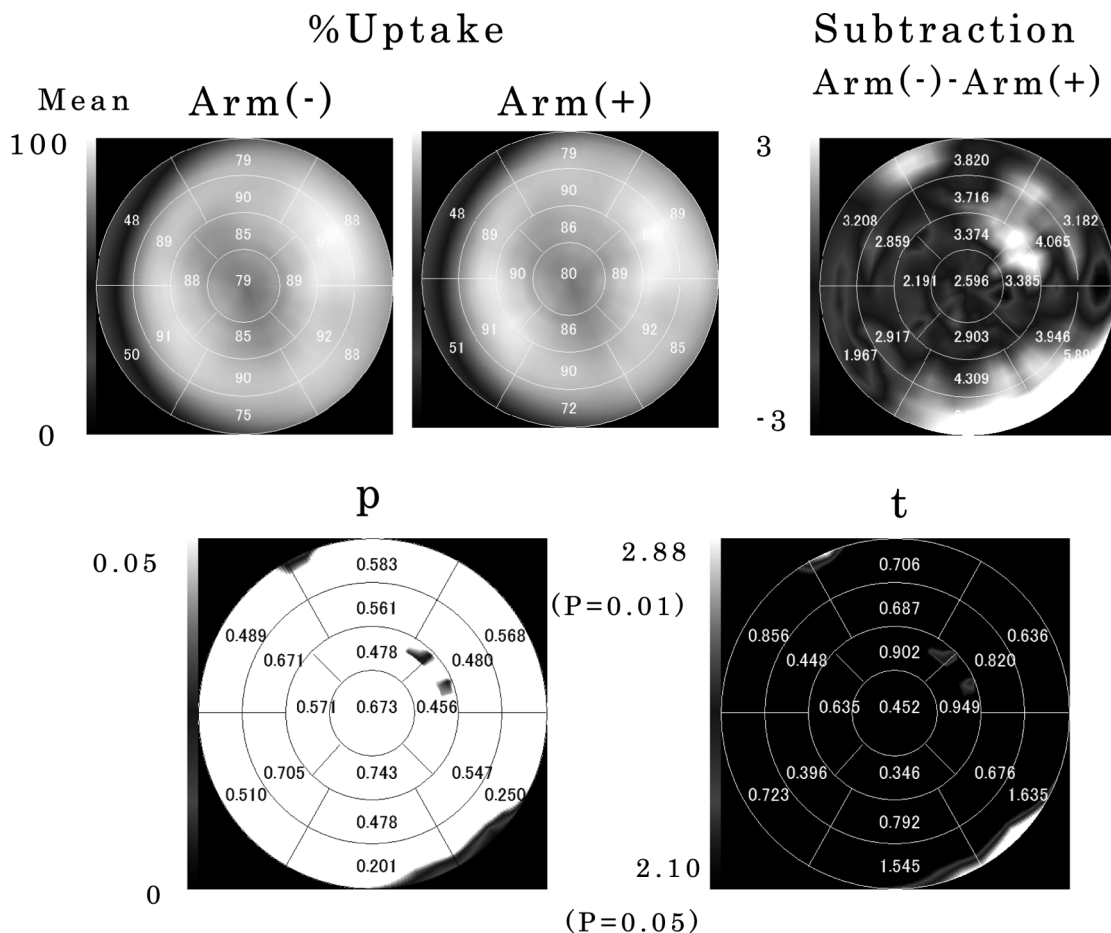


Fig. 6 OSEM+ACSCRR (+) 再構成における % Uptake Polar map および画素毎の上肢挙上・下垂による対応のある t-検定結果 (p 値, t 値 map, および 17 Segment 値)。Arm (-) : 上肢挙上, Arm (+) : 上肢下垂。

OSEM+ACSCRR で上肢挙上・下垂で有意差が認められた部位は少ない領域で散在しているが特に心基部後側壁に多く見受けられた。しかし臨床上においてはこの領域だけの虚血、梗塞は考えにくく、また読影医師や診療医師が上肢からのアーチファクトの可能性を認識していれば診断上の問題は少ないと思われる。これらの結果より ^{99m}Tc 製剤を用いた上肢下垂位での心筋血流 SPECT 検査は可能と考え、現在当院では全例上肢下垂位での撮影を施行し OSEM+ACSCRR 処理を行っている。

今回の検討において全ての補正を行っても上肢挙上画像と下垂画像は完全には一致しなかった。主要要因としては上肢下垂撮影において CT の有効視野内に上肢の一部が含まれない事により減弱

補正が不十分な為である事が考えられるが、補正各々の精度上の問題も考えられる。これらを改善させる為には撮像条件の再検討や、今回は詳細に検討していないが大西らが指摘しているような機種に依存した分解能補正におけるギブス現象⁵⁾の影響も含め、更なる検証が必要だと考える。

5. 結 語

SPECT/CT 装置において ^{99m}Tc 製剤を用いた心筋血流 SPECT 検査での上肢下垂撮影が可能であるかを検討した。

OSEM+ACSCRR においては心基部後側壁の一部で有意差が認められたがその領域は僅かであり、CT 画像を用いた散乱・減弱補正および分解能補正を行うことでルーチン検査として上肢下垂

撮影が可能であることが示唆された。

引用文献

- 1) Masood Y, Liu YH, Depuey G, et al: Clinical validation of SPECT attenuation correction using x-ray computed tomography-derived attenuation maps: multicenter clinical trial with angiographic correlation. *J Nucl Cardiol*, **12**(6): 676-86, 2005
- 2) Garcia EV: SPECT attenuation correction: an essential tool to realize nuclear cardiology's manifest destiny. *J Nucl Cardiol*, **14**(1): 16-24, 2007
- 3) Flotats A, Knuuti J, Gutberlet M, et al: Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT: a joint position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC). *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, **38**(1): 201-12, 2011
- 4) Dorbala S, Di Carli MF, Delbeke D, et al: SNMMI/ASNC/SCCT guideline for cardiac SPECT/CT and PET/CT 1.0. *J Nucl Med*, **54**(8): 1485-507, 2013
- 5) 大西英雄, 木村信篤, 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. *日本放射線技術学会雑誌*, **68**(6): 686-696, 2012