

—原 著—

心電図同期心筋 SPECT における Pixel truncation 処理を 応用した心外高集積の影響軽減法の検討

—p-FAST を用いた左心室機能指標による評価—

菊池 明泰^{1,2)} 小野口昌久¹⁾

1) 金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻

2) 富士フイルム RI ファーマ株式会社

Application of Pixel Truncation to Reduce the Effects of Extra-Cardiac Radionuclide Activity in Myocardial Gated-SPECT Imaging

—Left Ventricular Function Evaluation by Using the p-FAST—

Akihiro KIKUCHI^{1,2)} and Masahisa ONOGUCHI¹⁾

1) School of Health Sciences, College of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

2) Fujifilm RI Pharma Co., Ltd

(article received : Mar 29, 2012)

Abstract

Objective : The aim of this study was to evaluate whether the measurement accuracy of left ventricular ejection fraction (LVEF) by myocardial gated-SPECT data was improved by using pixel truncation (PT). **Method :** We examined the results of phantom and clinical study. At the phantom study, the distance between the myocardium and the extra-cardiac activity (Liver Gallbladder Phantom (LGP)) was altered from 1 to 3 centimeters and the results compared against the effect on the LVEF with and without PT. For the clinical study, 44 patients were selected and the anatomical position and radioactivity levels of each patient were plotted on a graph. We used p-FAST to calculate LVEF and assumed LVEF of left ventriculo-graphy (LVG EF) as reference. **Result :** The phantom study showed the significant difference between LVEF without PT and LVEF with PT ($p < 0.05$). The clinical study revealed that the effect of PT was considerable with the LVEF resembling the LVG-EF in the case of the myocardial tissue was close to the Gallbladder. **Conclusion :** In this study, PT improved left ventricular function indices in the case where the high radionuclide activity exists outside myocardium.

Key words : Pixel truncation, Gated-SPECT, Extra-cardiac, p-FAST

1. 緒 言

^{99m}Tc 標識心筋血流製剤を用いた心電図同期心筋血流 SPECT が一般臨床に広く普及し、専用の解析ソフトウェアを用いた左心室機能解析も臨床で多く使用されるようになった¹⁻³⁾。しかし現在使用している薬剤は肝胆系にも集積し、十二指腸へ排出されるため、データ収集時に胆嚢や腸管内の高集積が心筋に近い位置にある場合、再構成画

像に影響を及ぼすことが報告されている⁴⁻¹⁸⁾。

現在、それら心外高集積による影響を軽減する方法として、主に生理的作用を用いた改善法が報告されている。それらは脂肪食を摂取することで胆汁排出を促進させる方法、炭酸水を飲用させ胃の中を充満させることで心筋からの距離を離す方法⁴⁻⁶⁾、乳製品の飲用⁷⁾やレモンジュースの飲用⁸⁾などである。また撮像体位の工夫により心筋と肝臓および胆嚢との距離を離す方法なども報告され

ている⁹⁾。しかしこれらの報告では、全ての臨床データにおいて高集積の影響が改善されるわけではなく、これらの方法を用いる場合にもその効果には注意する必要がある。

本研究の目的は、従来骨シンチグラフィにおける骨盤部位の SPECT 処理で用いられてきた Pixel truncation 処理 (以下, PT) を心電図同期心筋 SPECT に応用し¹⁰⁾、心外高集積のカウントを抑え、その影響を軽減できるか検討することである。特に今回は胆嚢の高集積に注目した。さらに今までの報告は心筋カウント分布による評価がほとんどであり、左心室機能指標を用いて評価している報告は見られなかったため、本研究では PT を用いることで左心室機能指標がどのように変化するかを、左心室造影検査 (LVG) の結果をもとに比較検討した。

2. 方 法

2-1. 使用装置・データ収集・処理条件

使用装置は 1 検出器型ガンマカメラシステム Starcam4000i XR/T (GE Healthcare 社製) である。コリメータは低エネルギー汎用コリメータ LEGP を用いた。データ収集は、マトリクスサイズ 64×64、拡大率 1.33 倍 (pixel size 6.5 mm)、1 方向当たり 30 秒で 180 度を 32 方向 (5.625°) から収集した。1 心拍の分割数は 8 分割に設定した。画像再構成には Filter back projection 法 (以下 FBP 法) を用い、前処理フィルタには Butterworth (order 8, cutoff 0.4 cycle/cm)、再構成フィルタには ramp を使用した。減弱補正、散乱補正は行っていない。左心室の機能指標である ejection fraction (以下, EF), end diastolic volume (以下, EDV) および end systolic volume (以下, ESV) の算出には、札幌医科大学の片桐らが開発した心電図同期心筋 SPECT 用解析ソフトウェアである p-FAST (ver. 2.0) を用いた。なお、解析時の心筋内トレースは自動的に抽出されたものをそのまま用いた。

2-2. Pixel truncation (PT)

Pixel truncation 処理 (PT) とは、設定したカウント以上のカウントを持つピクセルを対象に、ピクセルカウントを設定カウントに置き換える手法である。本研究ではファントムデータおよび臨床

データにおいて、アーチファクトを発生させ、p-FAST 解析による心機能指標に影響をおよぼす可能性のある心外集積の影響を低減させるため、収集データに対してこの手法を用いた。実際の処理としてまず拡張末期位相のプロジェクションデータで、心筋カウントが最大となる心筋正面の LAO 45° 前後を中心として、心筋カウントの最大値となる角度を確認し (症例によって角度がかなり異なる場合あり)、心筋部分が欠けないように関心領域 (ROI) を設定する。ここで求めた最大カウントに対し、110% を設定カウントとして、それ以上のプロジェクション内のピクセルカウントをカットする¹¹⁾。なお、このように心筋に ROI を設定しカウントを測定するのは、心筋集積には個人差があり、最大となる心筋カウントの角度も患者ごと異なるためである。上記の処理について、位相 (8 位相) ごとに同様の条件で心筋の最大カウントを求めて、カウント処理を実施する。これら PT 前後の収集データに対し FBP にて画像再構成、p-FAST 解析を実施し、左心室機能指標について比較検討した。なお、この PT の利点としては心筋カウント自体に変化が無いということである (Fig. 1)。

2-3. ファントム実験

今回のファントム実験のために肝臓、胆嚢ファントム (Liver-gallbladder phantom 以下, LGP) を自作した (Fig. 2-A)。このファントムは肝臓に 350 cc のペットボトルを用い、胆嚢には点滴の耐圧チューブ (容量 10 cc) をベースに耐圧式のカテーテルと注射器とを連結しており (Fig. 2-B)、濃度を任意に変更することができる。この LGP を心筋動態ファントムの下部に装着し距離を変化させた (Fig. 2-C)。実際に自作ファントムを装着したプロジェクション画像を示す (Fig. 2-D)。心筋動態ファントムは京都科学社製 (HD) を用い、心拍数は 60 心拍/分で固定した。なお、このファントムの実測値は EF 25%, EDV 143 ml, ESV 107 ml である。

以下にファントムでの検討条件を示す。

2-3-1. 心筋ファントムと肝臓、胆嚢ファントムの距離の違い

心筋動態ファントムと肝臓、胆嚢ファントム (liver gallbladder-to-cardiac distance: LGCD) の距

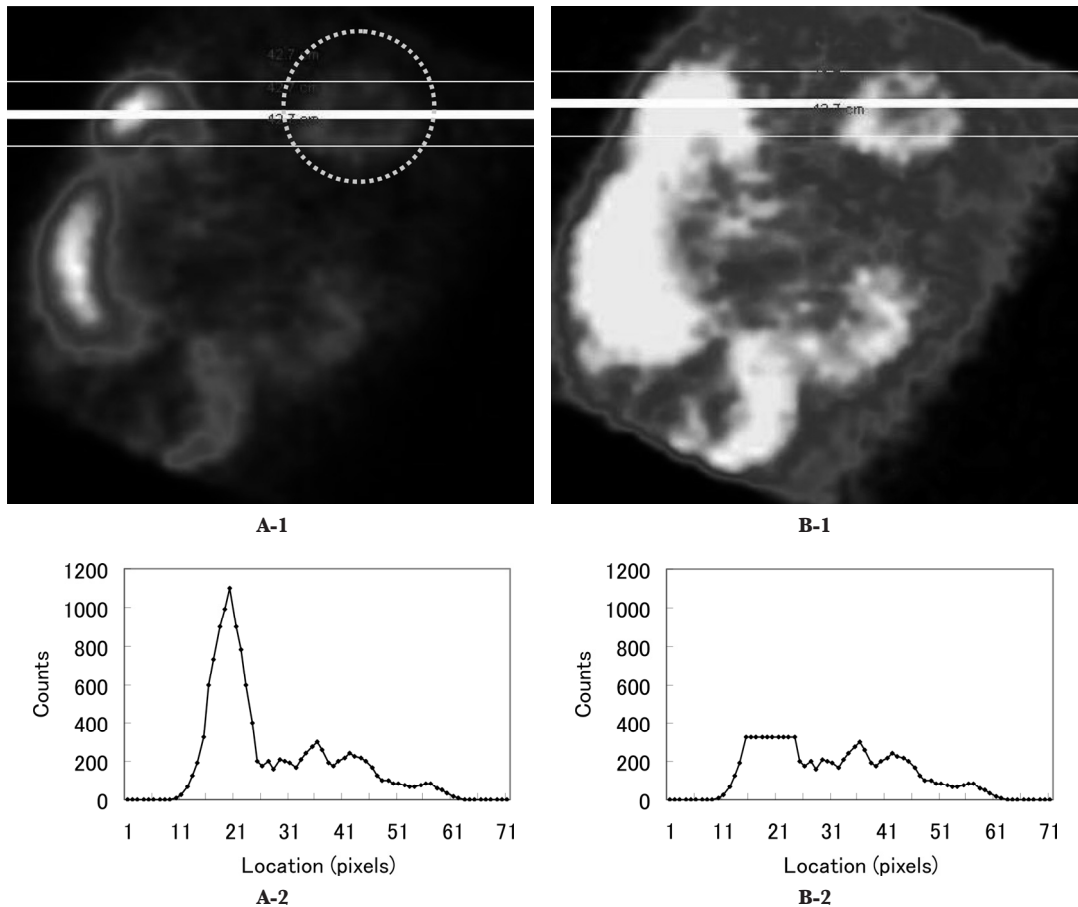


Fig. 1 A-1, A-2 は PT (－) のプラナー画像とプロファイルカーブである。胆嚢と腸管が描出されており、心外集積が見られる画像である。心外高集積はプロファイルカーブにおいて非常に高いカウントを示している。なお、A の ROI (関心領域) は心筋を示している。B-1 と B-2 は、PT (+) のプラナー画像とプロファイルカーブである。心外集積の部位のプロファイルカーブのピークは PT により低くなり、B-1 の画像では他の臓器がクリアに見えるのがわかる。

離を心筋および自作のファントム間にプレートを挿入し、3 cm : LGCD3, 4 cm : LGCD 4, 5 cm : LGCD 5 と変化させた。なお、このときの心筋 : 肝臓 : 胆嚢ファントムの濃度比は 1 : 2 : 8 とした。

2-3-2. 心筋ファントムと胆嚢ファントムの濃度の違い

それぞれファントムに封入する濃度は体内動態を考慮し、心筋と肝臓および胆嚢の濃度比 (liver gallbladder-to-cardiac activity ratio 以下 LGCR) を 1 : 2 : 8; LGCR8 (0.333 (MBq/ml) : 0.696 (MBq/ml) : 2.220 (MBq/ml)) および 1 : 2 : 16; LGCR 16 (0.274 (MBq/ml) : 0.518 (MBq/ml) : 4.440

(MBq/ml)) の 2 種類とした。なお実際の収集データにおけるファントムの心筋と胆嚢のカウント比 (プラナー像にて測定) は 1 : 1.8, 1 : 5.0 であった。また、心筋ファントムと胆嚢ファントムの距離は 5 cm で固定した。

2-4. 臨床データ

臨床データは、心不全、心筋炎症、スクリーニング目的の心疾患患者 44 例で平均年齢 66.25 ± 11.98, 男女比 32 : 12 である。これらの症例は SPECT 画像上の欠損が認められなかった症例で、かつ心電図同期心筋 SPECT 検査と比較する左心室造影検査 (LVG) が 3 週間以内に行われた症例とした。画像上の欠損の有無は放射線の専門医師

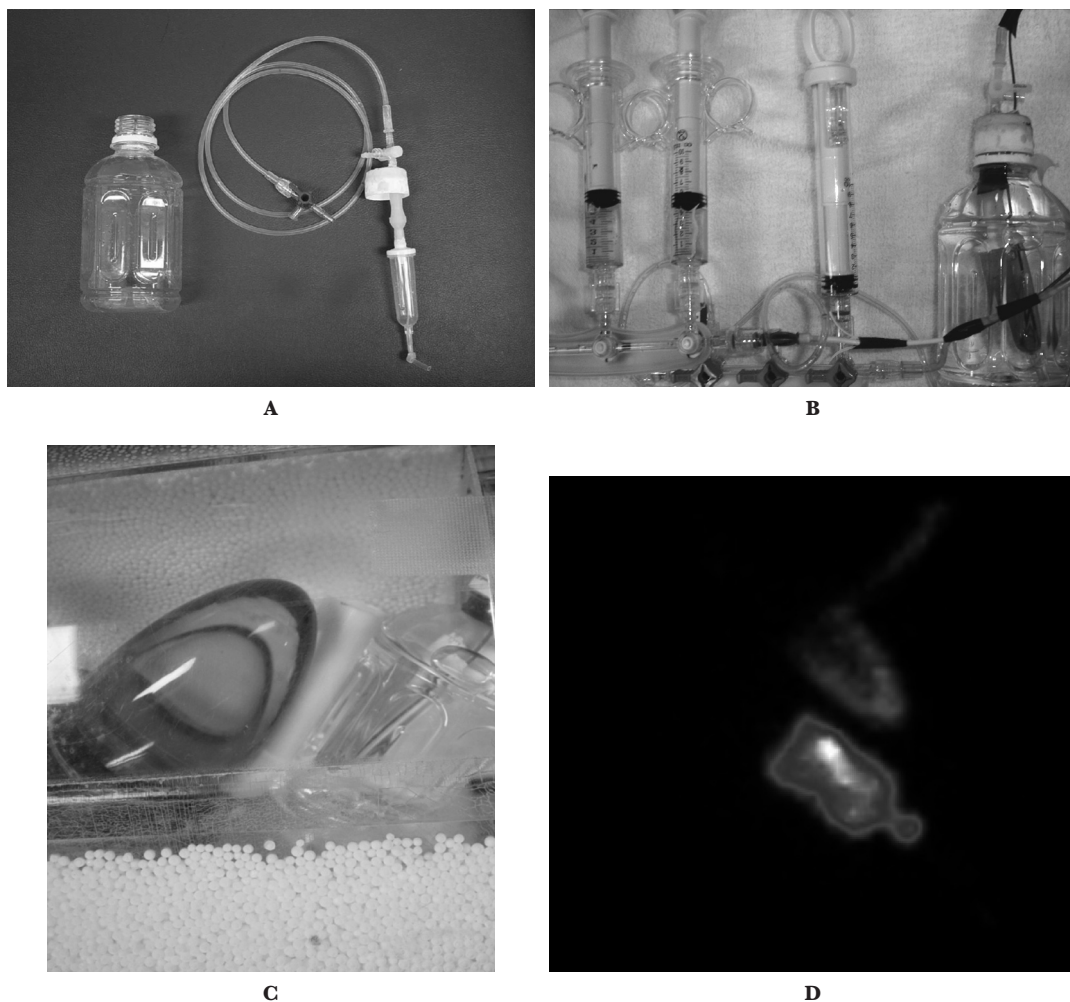


Fig. 2 **A**は肝臓および胆嚢のファントムを示す。胆嚢ファントムは濃度を変更可能にするため左心室造影用のカテーテルが接続可能となっている。**B**は肝臓ファントム内に胆嚢ファントムを密封し、カテーテルを接続している。**C**は心筋動態ファントムに肝臓、胆嚢ファントムを装着。**D**は実際のプロジェクション画像。

と合議の上で決定した。また、基準となる LVG による左心室機能指標については、エリアルングス法で算出した値を用いた。gated-SPECT 収集時の放射性医薬品は $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ 600 Mbq を使い、静注後特に処置は行わず、1 時間後に撮像した。なお心外集積の影響がない比較対象の臨床データとして、画像再構成時に心外高集積がみられない 18 症例について LVG と p-FAST の左心室機能指標の相関をもとめ (**Table 1**)、その結果をもとに PT による効果について比較した。

2-4-1. 心筋と肝臓、胆嚢の距離の違い

心筋と胆嚢の解剖学的な距離の測定は、プロ

Table 1 心外集積の影響がない症例（18 症例）での LVG と p-FAST の EF, EDV, ESD での相関係数

		EF	EDV	ESV
Normal	r	0.788	0.762	0.833
	p-value	p<0.001	p<0.001	p<0.001

ジェクションデータにおける心筋と胆嚢の距離が最短となる収集角度を確認し、その距離を測定した。なお gallbladder-to-cardiac distance (以下 GCD) として GCD1 (0~20 mm) n = 10, GCD2 (20~30 mm) n = 10, GCD3 (30 mm~) n = 24 と症例をグループ分けし比較検討した。

Table 2-A LGCD 3-5 はファントムにおける、心筋と胆嚢の距離の違いによる EF, EDV, ESV を示す (濃度は心筋:胆嚢=1:8 で固定)

	LGCD 3		LGCD 4		LGCD 5	
	PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)
EF	18.2	24 *	21	24.2*	22.8	24.1
EDV	146	154.6	144.6	149.3	141.6	146.6
ESV	118.6	116.8	114.0	113.1	133.6	111.2

* $p < 0.05$

2-4-2. 心筋と肝臓, 胆嚢のカウント比の違い

心筋と胆嚢のカウント比について、胆嚢/心筋として定義し、ファントム実験をもとにその比を gallbladder-to-cardiac count ratio (以下 GCR) として 1.5未満を GCR1, 1.5以上を GCR2 として検討を行った。

2-5. 統計処理

統計解析については一元配置分散分析にて危険率 $p < 0.05$ を有意差ありとし、 χ^2 二乗検定で予備検定として正規性の検定を実施し、正規性が認められた EF, EDV については、ピアソンの相関係数検定、正規性が認められなかった ESV については、スピアマン順位相関係数検定を実施した。また、相関係数に関しては左室造影での指標を基準として検討した。なお、臨床データについては、Bland-Altman analysis での検証も実施した。

3. 結 果

3-1. ファントムデータ

以下に心筋ファントムと肝臓, 胆嚢ファントムにおける距離の違いと、濃度の違いにおける結果を示す。

3-1-1. 心筋ファントムと肝臓, 胆嚢ファントムの距離の違い

Table 2-A にファントムデータにおける EF, EDV, ESV の値を示す。EF における PT (-) と PT (+) での値は違いが認められ、特に LGCD3, LGCD4 では有意差を呈した ($p < 0.05$)。心筋と胆嚢の距離が近いほど PT (-) では実測値との違いがみられ、距離が離れるほど実測値との違いは少なくなった。一方の PT (+) では距離に関係なく実測値に近い値をしめした。EDV, ESV では PT (-) と PT (+) で値に違いは見られたが、有意差は見られなかった。

Table 2-B LGCR 8, 16 はファントムにおける、胆嚢の濃度の違いによる EF, EDV, ESV を示す (心筋と胆嚢の距離は 5 cm で固定)

	LGCR 8		LGCR 16	
	PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)
EF	22.8	24.1*	29.4	25.8**
EDV	141.6	146.6	122.2	143.2***
ESV	133.6	111.2	86.6	106 ***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3-1-2. 心筋ファントムと胆嚢ファントムの濃度の違い

Table 2-B に示すように、EF の PT (-) と PT (+) については、LGCR8 ($p < 0.05$)、LGCR 16 ($p < 0.01$) ともに有意な差を呈した。特に PT (+) では濃度によらず実測値に近い値を示したが、PT (-) では濃度によって違いがみられた。EDV と ESV については、LGCR 16 において PT (-) と PT (+) との有意差 ($p < 0.001$) が EDV, ESV ともにみられた。

3-2. 臨床データ

3-2-1. 心筋と胆嚢の距離の違い (GCD1-GCD3)

Fig. 3 に LVG で算出した EF と、PT (-), PT (+) で算出した p-FAST EF の相関を示す。PT (-) に比べ、距離の違いによらず PT (+) と LVG EF の相関が高かった。その他 EDV, ESV の結果については **Table 3** に示す。距離が近いほど EDV, ESV とともに PT (-) と PT (+) の相関の値の差は大きく、離れるに従いその差は少なくなった。またリファレンスとなる **Table 1** の相関の値と比較した場合、PT (-), PT (+) とともに距離が離れるに従いリファレンスとなる値に近づく傾向が見られた。

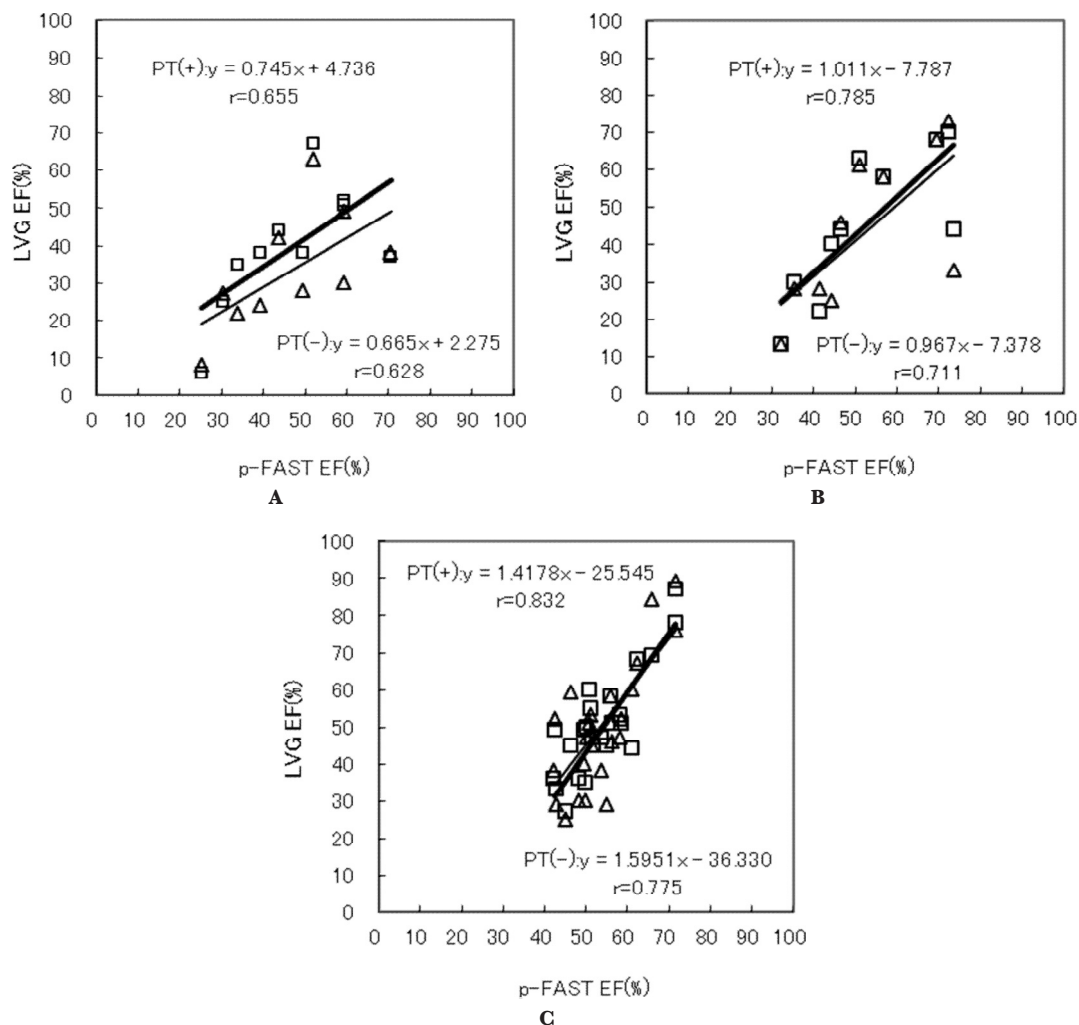


Fig. 3 グラフは臨床データにおける心臓と胆嚢の距離の違いによる LVGEF と p-FAST EF (PT (-), PT (+)) との相関グラフである。A は GCD1, B は GCD2, C は GCD3 で “△” と “—” は PT (-), “□” と “— (太線)” は PT (+) である。

Table 3 臨床データにおける LVGEF および p-FAST で得られた EF, EDV, ESV の相関を示す。

GCD 1-3 は心筋と胆嚢の距離の違い

		EF		EDV		ESV	
		PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)
GCD 1	r	0.628	0.655	-0.006	0.297	0.381	0.564
	p-value	p<0.05	p<0.05	n.s.	n.s.	n.s.	p<0.05
GCD 2	r	0.711	0.785	0.417	0.455	0.527	0.709
	p-value	p<0.01	p<0.001	p<0.01	p<0.05	p<0.05	p<0.01
GCD 3	r	0.775	0.832	0.530	0.568	0.553	0.712
	p-value	p<0.001	p<0.001	p<0.05	p<0.05	p<0.01	p<0.001

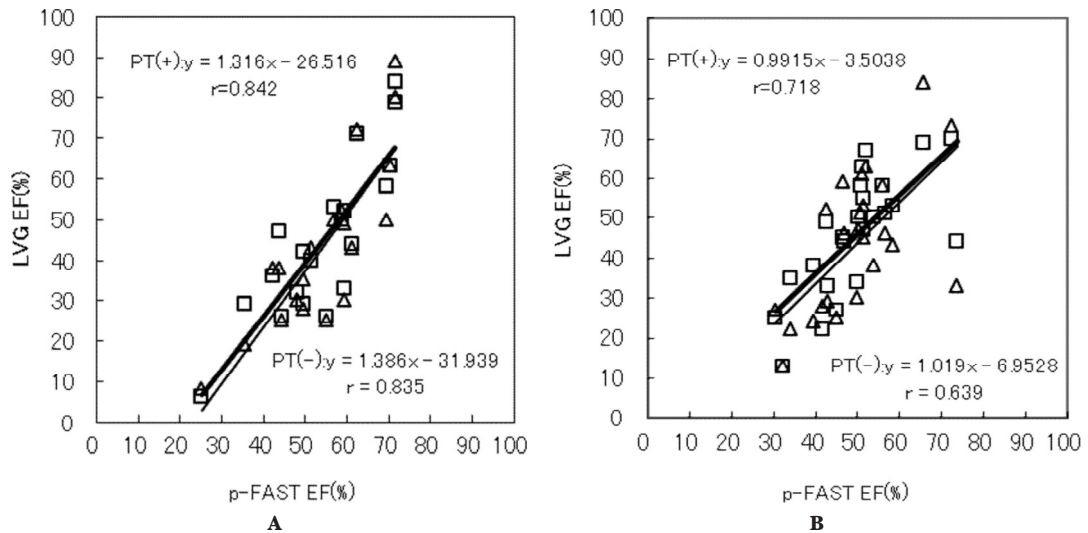


Fig. 4 グラフは臨床データにおける心臓と胆嚢のカウンtr比の違いによる LVGEF と p-FAST EF (PT (-), PT (+)) との相関グラフである。A は GCR1, B は GCR2 で “△” と “—” は PT (-), “□” と “— (太線)” は PT (+) である。

Table 4 臨床データにおける LVGEF および p-FAST で得られた EF, EDV, ESV の相関を示す。

GCR 1 (1.5未満), GCR 2 (1.5以上) は心筋と胆嚢のカウンtr比

		EF		EDV		ESV	
		PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)	PT (-)	PT (+)
GCR 1	r	0.835	0.842	0.587	0.606	0.620	0.760
	p-value	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.05$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
GCR 2	r	0.639	0.718	0.682	0.701	0.710	0.778
	p-value	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$

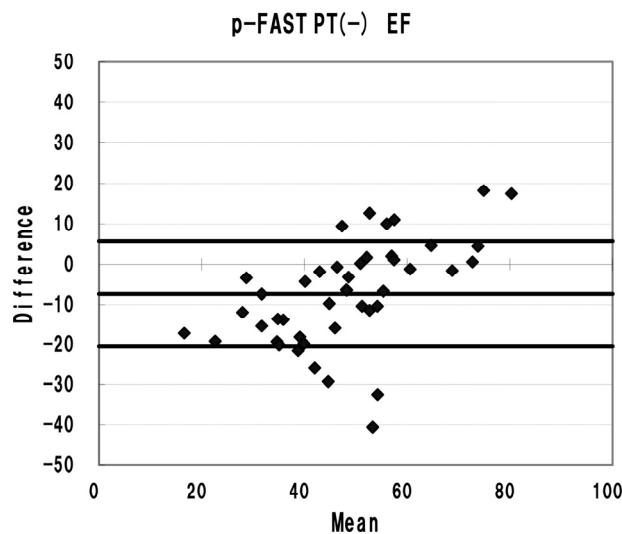


Fig. 5 臨床データにおける p-FAST PT (-) EF と LVGEF の Bland-Altman plots を示す。Mean difference は 7.4 ± 13.0 であった。

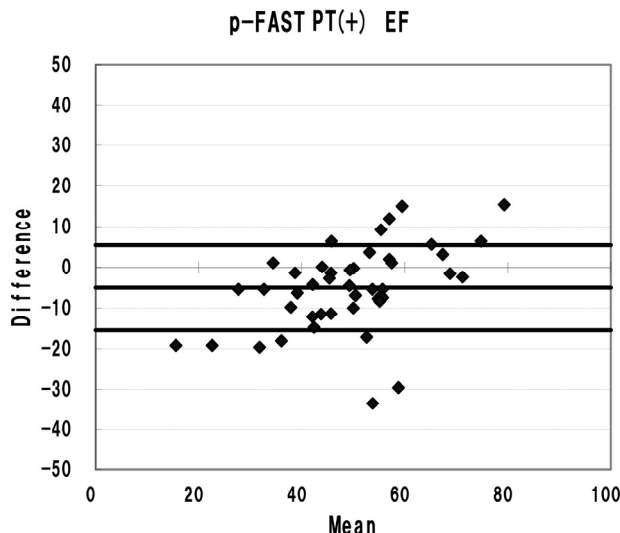


Fig. 6 臨床データにおける p-FAST PT (+) EF と LVG EF の Bland-Altman plots を示す. Mean difference は -5.1 ± 10.5 であった.

3-2-2. 心筋と胆嚢のカウント比の違い (GCR1-GCR2)

Fig. 4 に LVG EF と PT (-) および PT (+) での p-FAST で算出した EF の相関を示す. 2 種類のカウント比のいずれにおいても PT (+) が LVG EF との相関が高い値を示した. しかし, カウント比が高い場合には PT (+) であってもカウント比が低い場合と比べ相関の値は低い値を示した. その他の結果については Table 4 に示す.

3-2-3. Bland-Altman plots

LVG EF を基準とし, PT (-), PT (+) による EF の違いについて全ての臨床データを用いて Bland-Altman 解析を実施した. 結果を Fig. 5, 6 に示すが, PT (+) は PT (-) に比べ, 基準となる LVG EF に近い値を示し, バラツキについても少ないことが示された. なお, 両者の間には統計的な有意差 ($p < 0.05$) があった.

4. 考 察

ファントム実験に関して, p-FAST での解析は PT (-) に比べ PT (+) 処理をすることでデータのバラツキが改善され, 心筋と胆嚢の距離およびカウント比によらず全体としての実測値, 特に EF 値が近い値を示した. Table 2-A, B の結果をみると特に PT (+) の ESV が実測値に近い値を示しており, これが EF 値に影響したといえ

る. EF は EDV と ESV の値で算出されるが, PT は特に ESV の算出において有用であることが示された. またファントム実験では心筋と胆嚢の濃度比が高いものほど, PT 処理による有用性を示したといえる.

一方の臨床データでの検討でも, PT をすることで相関の改善が心筋と胆嚢の距離の違い (Fig. 3) やカウント比 (Fig. 4) に関係なく認められ, ファントム実験の結果と同様に有効性が示唆された. Fig. 5 および Fig. 6 で示しているが, EF のばらつきも PT により改善しているのがわかる. また心筋と胆嚢の距離の検討では, 離れるに従い PT (+) の EF はリファレンスの値 (Table 1) に相関の値が近づく傾向にあった. しかし, 距離が一番近い GCD1 の EDV では相関が非常に悪く, PT を用いても心筋と心外高集積の距離が非常に近い場合にはあまり効果がみられない可能性も示唆された.

これは ROI 内に心外高集積の高カウント領域が入ってしまったため PT の効果が半減したためと考えられる.

カウント比の違いでは, 比が高い場合には PT の効果がリファレンスの値と比較して EF, EDV, ESV のすべてにおいてみられ, 心外集積のカウントが高い症例などでは有用であることが示されている (Table 4).

今回 PT を用いたことによる解析結果の改善は、処理によって心筋周辺のカウント分布のムラが改善し、それに伴う心筋描出の精度向上が大きな要因と考えられる。この心筋抽出時に誤差や再現性を生む要因として挙げられるのが心外高集積による cold-pixel-halo 現象である。この現象は高集積が目的部位の近傍にある場合、FBP を用いた画像再構成時において、負の SPECT 値を発生させ、結果としてストリークアーチファクトが再構成断面に発生する現象で Germano ら¹¹⁻¹⁷⁾により報告されている。これは放射状のアーチファクトで収集中の濃度変化などでも起こることがあり、Bruyant ら¹⁸⁾は、デジタル処理をすることでアーチファクトの軽減が図られたと報告している。またカウント低下に関しては上記以外に今井¹³⁾、高木ら¹⁵⁾が非同期心筋 SPECT におけるマスク処理に関する検討を報告しているが、再構成後のマスク処理では肝臓からの散乱線が入ったままでの処理となるため、処理タイミングの重要性についても報告している。なお、この散乱線は大動脈弁縁の描出能も低下させてしまい、心機能指標の精度を低下させる要因にもなりうることも考慮する必要があると報告している。

本検討では PT を用いることで、心筋トレース精度に影響を及ぼす cold-pixel-halo 現象を除去し、左心室機能指標を算出に必要な心筋内膜と外膜の抽出精度を上げることができ、結果としてファントム実験、臨床検討ともに有用性を示せたといえる。しかし、心外高集積が心筋と極端に近い場合には、心筋の ROI 設定時に心外高集積部位が入ってしまうことがあり、その結果心筋の最大カウントが非常に高くなり、PT の効果が弱くなってしまう。この点については今後の検討課題である。

なお、今回は R-R 分割は 8、左心室機能指標解析ソフトは p-FAST を用いたが、国内では主に QGS を用いており、検討施設では QGS を導入していないため、実施できなかった。今後は R-R 分割の違いや QGS でも検討を行いたい。

5. 結 語

^{99m}Tc 心筋血流製剤を使用した心電図同期心筋 SPECT で問題となる心外高集積症例での p-

FAST を用いた左心室機能指標解析において、本研究で検討した PT は有効であることが示された。

6. 謝 辞

稿を終えるにあたり、データ解析にご協力いただいた士別市立病院の小池智哉氏に深謝いたします。

引用文献

- 1) Guido G, Hosen K, Paul BK, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*, **36**: 2138-2147, 1995
- 2) Nakata T, Katagiri Y, Odawara Y, et al: Two-and three-dimensional assessments of myocardial perfusion and functional by using technetium-99m sestamibi gated SPECT with a combination of count-and image-based techniques. *J Nucl Cardio*, **7** (6): 623-632, 2000
- 3) 中田智明, 中嶋憲一: 心電図同期心筋 SPECT 法その基礎と臨床. 第 1 版: 2-6. 株式会社メディカルセンス, 2000
- 4) Van Dongen AJ and van Rijk PP: Minimizing liver, bowel, and gastric activity in myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*, **41**: 1315-1317, 2000
- 5) Peace RA and Lloyd JJ: The effect of imaging time radiopharmaceutical, full fat milk and water on interfering extra-cardiac activity in myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Nucl Med Commun*, **26**: 17-24, 2005
- 6) Michael H, John M and Dee N: Efficacy of milk versus water to reduce interfering intracardiac activity in ^{99m}Tc-sestamibi myocardial perfusion scintigraphy. *Nucl Med Commun*, **27**: 837-842, 2006
- 7) Hurwitz GA, Clark EM, Slomka PJ, et al: Investigations of measures to reduce interfering abdominal activity on rest myocardial images with Tc-99m-sestamibi. *Clin Nucl Med*, **18**: 735-741, 1993
- 8) Shiou-Chi C, Yeong HC, Meei SL, et al: Acceleration of hepatobiliary excretion by lemon juice on ^{99m}Tc-tetrofosmin cardiac SPECT. *Nucl Med Commun*, **27**: 859-864, 2006
- 9) Monzen H, Hara M, Hirata M, et al: Exploring a technique for reducing the influence of scattered rays from surrounding organs to the heart during myocardial perfusion scintigraphy with technetium-99m sestamibi and technetium-99m tetrofosmin. *Ann Nucl Med*, **20**: 705-710, 2006

- 10) Funahashi M, Shimonagata T, Mihara K, et al: Application of pixel truncation to reduce intensity artifacts in myocardial SPECT imaging with TC-99m tetrofosmin. J Nucl Cardio, **9**: 622-631, 2002
- 11) Guido G, T Chua, Hosen K, et al: A quantitative phantom analysis of artifacts due to hepatic activity in technetium-99m myocardial perfusion SPECT studies. J Nucl Med, **35**: 356-359, 1994
- 12) Nuyts J, Dupont P, Van den Maegdenbergh V, et al: A study of liver-heart artifact in emission tomography. J Nucl Med, **36**: 133-139, 1995
- 13) 今井嘉門，浅川喜祐，星野寛倫，他：MIBI 心筋シンチのアーチファクトの原因に関して. 核医学, **32**: 307-310, 1995
- 14) 大西英雄，増田一孝，高田政彦，他： ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤を用いた心筋 SPECT 画像への肝臓からの影響. 核医学, **35**: 375-383, 1998
- 15) 高木昭浩，岡田和弘，浦田絨治： ^{99m}Tc 心筋血流製剤を用いた SPECT 撮像における肝の集積が心筋に及ぼす影響の軽減—マスク処理法の有用性と問題点—. 核医学, **36**: 459-465, 1999
- 16) 西尾 剛，遠藤健一，田邊芳雄，他：心筋 SPECT に対する OS-EM 法の適用—心筋肝臓ファントムを用いたアーチファクトの軽減効果の検討—. 日本放射線技術学会, **58**: 1061-1065, 2002
- 17) Syed ML, Mohammed EK and Bashir AL: Simple techniques to reduce bowel activity in cardiac SPECT imaging. Nucl Med Commun, **25**: 355-359, 2004
- 18) Bruyant PP, Sau J and Mallet JJ: Streak artifact reduction in filtered backprojection using a level line-based interpolation method. J Nucl Med, **41**: 1913-1919, 2000