臨床技術

心電図同期心筋 SPECT と心臓 MRI から算出される
心機能解析値の評価坪井孝達¹⁾・布施 拓^{1, 2)}・佐々木昌俊¹⁾論文受付
2011年2月4日論文受理
2011年9月1日

Code No. 332

1) 浜松赤十字病院医療技術部放射線課
2) 現 筑波大学附属病院陽子線利用研究センター

緒言

心筋血流と壁運動を同時に評価可能な心電図同期心筋 single photon emission computed tomography (SPECT) 法は、現在標準的な心筋血流検査法として利用されており、心電図同期心筋 SPECT 検査の有用性と、算出された心機能解析値のエビデンスレベルは高く評価されている^{1, 2)}。心電図同期心筋 SPECT を用いた心機能解析プログラムとして、完全な自動処理または半自動処理など各種解析ソフトウェアが考案され臨床使用されており、quantitative gated SPECT (QGS) は最も広く利用されているソフトウェアの一つである^{3, 4)}。当施設では解析ソフトウェアとして、QGS と 4D-MSPECT を使用している。しかし、

心電図同期心筋 SPECT を用いた心機能解析における誤差要因としていくつかの因子が挙げられている。^{99m}Tc 製剤の使用による肝臓あるいは胆嚢への高集積が残存する場合、小容積の心臓 (small heart) の場合、大きな欠損や左室機能低下を有する場合などである⁵⁻⁸⁾。

一方、magnetic resonance image (MRI) は傾斜磁場の高性能化によって撮像の高速化が可能となり、心臓 MRI 検査においても良好な画像が得られるようになった。シネ MRI は骨や空気の影響を受けず、任意方向の撮像断面において、空間分解能の高い動画像を撮像できる特徴をもつ。また左室変形や壁運動異常を有する心筋梗塞症例においても正確な心機能値

Evaluation of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction by Gated Myocardial Perfusion SPECT Versus Cardiac MRI

Koutatsu Tsuboi,¹⁾ Hiraku Fuse,^{1, 2)} and Masatoshi Sasaki¹⁾

1) Hamamatsu Red Cross Hospital, Division of Medical Technology

2) Current address: Proton Medical Research Center of the University of Tsukuba

Received February 4; 2011; Revision accepted September 1, 2011; Code No. 332

Summary

It is stated that cardiac MRI imaging can provide accurate estimation of left ventricular (LV) volumes and ejection fraction (EF). The purpose of this study was to evaluate the accuracy of gated myocardial perfusion SPECT for assessment of LV end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) and EF, using cardiac MRI as the reference methods/(methodology). Gated myocardial perfusion SPECT images were analyzed with two different quantification software, QGS and 4D-MSPECT. Thirty-four consecutive patients were studied. Myocardial perfusion SPECT and cardiac MRI had excellent intra/interobserver reproducibility. Correlation between the results of gated myocardial perfusion SPECT and cardiac MRI were high for EDV and EF. However, ESV and EDV were significantly underestimated by gated myocardial perfusion SPECT compared to cardiac MRI. Moreover, gated myocardial perfusion SPECT overestimated EF for small heart. One reason for the difference in volumes and EF is the delineation of the endocardial border. Cardiac MRI has higher spatial resolution. We should understand the differences of volumes and EF as determined by gated myocardial perfusion SPECT and cardiac MRI.

Key words: quantitative gated SPECT, magnetic resonance imaging, left ventricular function, 4D-MSPECT, myocardial perfusion SPECT

別刷資料請求先：〒434-8533 静岡県浜松市浜北区小林 1088-1

浜松赤十字病院医療技術部放射線課 坪井孝達 宛

を算出でき、現在最も正確な心機能診断法の一つといわれている^{9, 10)}。そして、放射線被ばくもなく、検査のコストも核医学検査と比較して安いなどの利点がある。

心臓 MRI から算出された心機能解析値と、心電図同期心筋 SPECT から算出された心機能解析値との比較が過去に行われているが^{11~13)}、心電図同期心筋 SPECT データの解析に使用するソフトウェアによって、異なる結果が報告されている。

われわれは心臓 MRI から算出される心機能解析値を基準とし、二つの異なる心電図同期心筋 SPECT ソフトウェア(QGS, 4D-MSPECT)から算出される心機能解析値および再現性の比較を行ったので報告する。

1. 方 法

1-1 対象者

当施設にて、2010 年 1 月から 6 月までに、心臓 MRI 検査の前後 2 週間以内に心電図同期心筋 SPECT 検査が行われた連続 46 症例のうち、心臓 MRI または心電図同期心筋 SPECT どちらかが、経皮的冠動脈手術(percutaneous coronary intervention; PCI)前後 1 週間以内に行われた症例と心房細動(atrial fibrillation; AF)を除いた、34 症例(男性 24 名、女性 10 名、平均年齢 68 歳)を対象とした。症例の内訳は、急性心筋梗塞(acute myocardial infarction; AMI)の PCI 後が 13 例、陳旧性心筋梗塞が 2 例、冠動脈バイパス手術(coronary artery bypass graft; CABG)後が 2 例、心不全が 5 例、拡張型心筋症(dilated cardiomyopathy; DCM)が 4 例、冠攣縮性狭心症(vasospastic angina; VSA)が 1 例、不安定狭心症が 1 例、肥大型心筋症(hypertrophic cardiomyopathy; HCM)が 1 例、心筋症が 5 例であった。

本研究で使用した患者データおよび臨床画像は、個人の特定ができないよう匿名化を行い、当施設の倫理委員会によって承認されている。

1-2 心電図同期心筋 SPECT

使用装置は低エネルギー高分解能型(low energy high resolution; LEHR)コリメータを装着した、2 検出器対向型ガンマカメラ E.CAM signature(東芝メディカルシステムズ社製)を用いた。LEHR コリメータの空間分解能の公表値は、7.4 mm(^{99m}Tc を用い空気中 10 cm にて計測)である。SPECT 収集は、マトリクスサイズが 64×64(ピクセルサイズ 6.59 mm)、view 数が 60(6°/step)、エネルギーウインドウ幅が 140 keV±7.5%、収集時間は 1 view あたり 40 秒、収集モードは step and shoot、R-R 分割数 16、円軌道にて撮像を行った。収集された投影データは、GMS

7700A(東芝メディカルシステムズ社製)にて処理を行った。再構成条件は前処理フィルタとしてカットオフ周波数 0.42 cycles/cm、オーダー 8 の Butterworth フィルタを使用し、ramp フィルタにて再構成を行った。吸収補正、減弱補正は行わなかった。^{99m}Tc-sestamibi 600 MBq または^{99m}Tc-tetrofosmin 740 MBq を静注し、少量のチョコレートを摂取させ、静注 1 時間後に撮像を行った。

QGS(version4.0)と 4D-MSPECT(version3.1)にて心機能解析値である左室の拡張末期容量(end-diastolic volume; EDV)、収縮末期容量(end-systolic volume; ESV)、駆出率(ejection fraction; EF)の算出を行った。解析を行うためには、投影データから短軸像を作成する必要がある。検者が心軸を設定し短軸像を作成した。同じ検者にて、その後の心機能解析が行われた。4D-MSPECT では心基部と心尖部を設定する機能があるが、今回はすべてのデータに対して自動設定された心基部と心尖部の位置にて、左室心筋の自動輪郭抽出を行った。QGS では 2 症例に、心筋外集積を心筋と認識して自動トレースしたが、マスク処理などのマニュアル機能を使用し、最終的な心筋のトレースはすべて自動処理にて解析を行った。

1-3 心臓 MRI

MRI 装置は、PHILIPS 社製 Achieva 1.5 T を使用した。Cardiac コイルを使用し、短軸像のスライス位置を、水平長軸像、垂直長軸像から設定し、心臓を 2 回に分けて呼気による息止めに撮像を行った。心電図同期にて balanced turbo field echo(Balanced TFE)シーケンスを用い、スライス数 12、スライス厚 10 mm、repetition time(TR)と echo time(TE)は患者心拍によって自動的に最短となるように設定、flip angle 55°、1 心拍あたり 20 フェーズ、field of view(FOV)は 350 mm、マトリクスサイズは 192×192 にてシネ撮像を行った。この撮像条件に対する空間分解能は 1.82×1.90 mm である。撮像されたデータはオンライン上のパーソナルコンピュータに転送され、PHILIPS 社製 Extended MR work space に処理が行われた。検者は、短軸像の心尖部から心基部を選択し、画像濃度の調節を行い心筋内膜縁を手動にてトレースを行った。乳頭筋は心筋に含めず心内腔とし(Fig. 1)、Simpson 法を利用して心機能解析値を算出した。

1-4 評価方法

心電図同期心筋 SPECT の QGS, 4D-MSPECT とともに 2 名(検者 A と検者 B)にて、投影データから心機能解析値を算出した。検者 A, B とともに診療放射

Fig. 1 (A) Short-axis image (left to right = apical to basal) of cardiac MRI.
(B) Short-axis image at end-diastole (left) and end-systole (right) in the same slice.
Traced endocardial contours are shown in a white line.

A

B

線技師(経験18年と10年)で核医学検査には5年以上の業務歴がある。心臓MRIも2名(検者Cと検者D)にて解析を行った。検者C、Dともに診療放射線技師(経験ともに13年)で心臓MRI検査には3年以上の業務歴がある。

再現性の検討として、検者Aと検者Cは同じデータを1カ月後に再度解析を行い、検者内再現性を調べた。また検者Aと検者Bの解析値から、QGSと4D-MSPECTの検者間再現性を調べた。検者Cと検者Dの解析値から、心臓MRIの検者間再現性を調べた。

心電図同期心筋SPECTと心臓MRIの心機能解析値の比較を行った。その際、QGSと4D-MSPECTの心機能解析値は検者Aと検者Bの平均とし、心臓MRIの心機能解析値は検者Cと検者Dの平均とした。検者Aと検者Bはお互いの解析結果を知らず、また心臓MRIの結果も知らない。検者Cと検者Dはお互いの解析結果を知らず、心電図同期心筋SPECTの結果を知らない。

数値は平均±標準偏差で示した。コルモゴロフ・スミルノフの検定の結果、正規性を示さなかったQGS、4D-MSPECT、心臓MRIそれぞれのEDV、ESVの平均値はマン・ホイットニーU検定を使用した。正規性を示したQGS、4D-MSPECT、心臓MRIそれぞれのEFの平均値については、対応のあるt検定を使用して有意差があるかを調べた。Bland-Altman解析の95%信頼区間は、QGSと4D-MSPECTに対する心臓MRIの差の平均 ± 1.96 SDとした。統計解析にはSPSS ver.11.0(SPSS Inc., Chicago)を使用し、危険率 $p < 0.05$ で有意差ありとした。

2. 結果

2-1 再現性

QGS、4D-MSPECT、心臓MRIの検者内再現性の結果をFig. 2に示す。QGS、4D-MSPECT、心臓MRIともにEDV、ESV、EFにて高い検者内再現性を示した。Fig. 3に検者間再現性を示す。QGS、4D-MSPECT、心臓MRIともにEDV、ESV、EFにて高い検者間再現性を示した。QGSではEDV、ESV、EFにおいて検者内再現性の相関係数が、検者間再現性の相関係数より高かった。しかし4D-MSPECTではEDV、ESV、EFにおいて検者間再現性の相関係数が、検者内再現性の相関係数より高かった。4D-MSPECTのEFの相関係数は、検者内再現性で0.959、検者間再現性で0.987であり、QGS(検者内再現性で0.996、検者間再現性で0.992)、心臓MRI(検者内再現性で0.991、検者間再現性で0.997)と比べると低かった。

2-2 心機能解析値の比較

全症例34例のQGS、4D-MSPECT、心臓MRIから算出された心機能解析値をFig. 4に示す。EDVではQGS、4D-MSPECTともに心臓MRIより有意に低い値を示した[103 ± 64 ml(QGS), 123 ± 74 ml(4D-MSPECT), 151 ± 70 ml(心臓MRI)]。またQGSと4D-MSPECT間では有意な差は認めなかった。ESVでもEDVと同様にQGS、4D-MSPECTともに心臓MRIより有意に低い値を示した[58 ± 58 ml(QGS), 66 ± 66 ml(4D-MSPECT), 96 ± 69 ml(心臓MRI)]。QGSと4D-MSPECT間では有意な差は認めなかった。EFではQGS、4D-MSPECTともに心臓MRIより有意に高い値を示した[52 ± 18 % (QGS),

Fig. 2 Correlation and regression lines of intra-observer. (A), (B) and (C) are EDV, ESV and EF calculated from QGS by observer A. (D), (E) and (F) are EDV, ESV and EF calculated from 4D-MSPECT by observer A. (G), (H) and (I) are EDV, ESV and EF calculated from cardiac MRI by observer C.

Fig. 3 Correlation and regression lines of inter-observer. (A), (B) and (C) are EDV, ESV and EF calculated from QGS by observer A and B. (D), (E) and (F) are EDV, ESV and EF calculated from 4D-MSPECT by observer A and B. (G), (H) and (I) are EDV, ESV and EF calculated from cardiac MRI by observer C and D.

Fig. 4 Mean values of EDV, ESV and EF from QGS, 4D-MSPECT and cardiac MRI. n.s., not significantly different. * $p<0.05$

Fig. 5 (A), (C). Correlation analysis of EDV estimated with QGS (A) and 4D-MSPECT (C) and cardiac MRI. (B), (D). Bland-Altman plots of the comparisons for QGS vs cardiac MRI (B) and 4D-MSPECT vs cardiac MRI (D).

54±18% (4D-MSPECT), 43±15% (心臓 MRI)]. また, QGS と 4D-MSPECT 間でも有意な差を認めた.

EDV の心臓 MRI と QGS の相関係数は 0.949, 4D-MSPECT では 0.951 と, ともに高い相関を示した (Fig. 5A, C). Bland-Altman 解析では, 心臓 MRI と比べ QGS, 4D-MSPECT は, 容積による違いは認められず, 系統的な過小評価を示した (Fig. 5B, D).

ESV の心臓 MRI と QGS の相関係数は 0.952, 4D-MSPECT では 0.962 と, ともに高い相関を示した (Fig. 6A, C). Bland-Altman 解析では, 心臓 MRI と比べ QGS, 4D-MSPECT は, 容積による違いは認められず, 系統的な過小評価を示した (Fig. 6B, D). EF では心臓 MRI と QGS の相関係数は 0.947, 4D-MSPECT では 0.916 と, ともに高い相関を示した

Fig. 6 (A), (C). Correlation analysis of ESV estimated with QGS (A) and 4D-MSPECT (C) and cardiac MRI. (B), (D). Bland-Altman plots of the comparisons for QGS vs cardiac MRI (B) and 4D-MSPECT vs cardiac MRI (D).

(Fig. 7A, C). Bland-Altman 解析では、QGS、4D-MSPECTともにESVが小さくなるにしたがって、心臓MRIとのEFの差が大きくなる傾向が認められた。QGSと心臓MRIのEFの差の平均は、 $ESV < 20 \text{ ml}$ (○)では15.0%， $20 \text{ ml} \leq ESV < 50 \text{ ml}$ (□)では8.9%， $50 \text{ ml} \leq ESV$ (×)では7.7%であった(Fig. 7B)。4D-MSPECTと心臓MRIのEFの差の平均は、 $ESV < 20 \text{ ml}$ (○)では18.3%， $20 \text{ ml} \leq ESV < 50 \text{ ml}$ (□)では13.6%， $50 \text{ ml} \leq ESV$ (×)では10.1%であった(Fig. 7D)。

3. 考 察

われわれは、心臓MRIと心電図同期心筋SPECTから算出される心機能解析値の違いを知るために、両者から算出された心機能解析値の比較を行った。心臓MRIからの算出値を基準としたが、心臓MRIの処理は、短軸像から心筋内膜縁を手動でトレースする。検者内および検者間再現性を調べたが、どちらも再現性は非常に高かった。この高い再現性は、検者Cと検者Dのトレースする心筋部位が、統一さ

れていることを示している。よって心臓MRIから算出される心機能解析値は、高い再現性があることが確認できた。

心電図同期心筋SPECTで使用した、解析ソフトウェアであるQGSと4D-MSPECTは自動処理であるため、検者内および検者間再現性は、EDV、ESV、EFともに高かった。QGSではEDV、ESV、EFにおいて検者内再現性の相関係数が、検者間再現性の相関係数より高く、4D-MSPECTではEDV、ESV、EFにおいて検者間再現性の相関係数が、検者内再現性の相関係数より高かった。Knollmannらは、心軸設定の違いによる心機能解析値への影響は、QGSよりも4D-MSPECTのほうが大きかったと報告している¹⁴⁾。QGSと4D-MSPECTは自動処理で解析が行われるため、再現性の違いは処理前のデータ、すなわち投影データから作成される短軸像の違いが影響していると考えられる。短軸像は、検者Aと検者Bそれぞれが心軸角度を決めて作成を行っている。

心電図同期心筋SPECTと比較して、心臓MRIのほうがEDV、ESVともに大きな値を示した。これは

Fig. 7 (A), (C). Correlation analysis of EF estimated with QGS (A) and 4D-MSPECT (C) and cardiac MRI. (B), (D). Bland-Altman plots of the comparisons for QGS vs cardiac MRI (B) and 4D-MSPECT vs cardiac MRI (D). Symbols denote $ESV < 20$ ml (○), $20 \text{ ml} \leq ESV < 50$ ml (□), $ESV \geq 50$ ml (×) by QGS (B) and 4D-MSPECT (D).

空間分解能の違いによるものと推測する。使用したガンマカメラと LEHR コリメータの空間分解能は 7.4 mm であるが、これは planar イメージの場合であり、SPECT イメージの空間分解能は、通常 10~15 mm の範囲内にあるといわれている¹⁵⁾。一方、今回使用した心臓 MRI の収集条件における空間分解能は 2 mm 以下である。したがって、心臓 MRI のほうが空間分解能が高く、心電図同期心筋 SPECT より心内腔と心筋のコントラスト比が向上する。よって、心尖部と心基部および心筋辺縁を正確に認識することが可能となる (Fig. 1)。Persson らも心臓 MRI と QGS の比較を行い、われわれと同様の結果を報告している¹⁶⁾。また、前述した空間分解能の違いに加えて、弁口の広がる動きが考慮されない QGS の解析アルゴリズムに関しても、容積の過小評価の原因として挙げている。しかし、過去には、EDV では心臓 MRI のほうが大きな値を示すが ESV では差が認められなかった場合や、EDV、ESV ともに差が認められなかった場合などさまざまな報告がされている^{11~13)}。この結果の違いは、心臓 MRI において、乳頭筋を心筋とみなしてトレ

スを行うか、心基部はどこまでとするか、1 心拍に対するデータの分割収集数の違いなどにも関連すると思われる。

心臓 MRI と心電図同期心筋 SPECT の心機能解析値の相関係数は EDV、ESV、EF すべてにおいて高い値を示した。Bland-Altman 解析では、EDV、ESV とも容積の違いによる心臓 MRI と心電図同期 SPECT の差は認められなかった。しかし、心電図同期心筋 SPECT の ESV が小さいほど、心臓 MRI から算出された EF と心電図同期心筋 SPECT から算出された EF の差が大きくなった (Fig. 7B, D)。QGS と心臓 MRI の EF の差の平均は、 $ESV < 20$ ml では 15.0%であったが、 $50 \text{ ml} \leq ESV$ では 7.7%であった。4D-MSPECT でも同様の結果を示した。心電図同期心筋 SPECT から算出される ESV は、小容積の心臓を過小評価することが知られており^{6,7)}、その結果、小容積の ESV と相対的に、心電図同期心筋 SPECT のほうが心臓 MRI より高い EF の値を示したと思われる。吉田¹⁷⁾は、1 心拍に対するデータの分割収集数 16 の最適なカットオフ周波数は 0.42~0.52 cycles/cm

としており、Nakajima¹⁸⁾らは容積の大きさによって最適な Butterworth フィルタのカットオフ周波数は変化するが 0.45 cycles/cm 以上が好ましいと報告している。われわれは、カットオフ周波数 0.42 cycles/cm を使用した。しかし、より高いカットオフ周波数を使用することで、心電図同期心筋 SPECT と心臓 MRI から算出される EDV, ESV との差が小さくなる可能性があると考ええる。

われわれは心臓 MRI と心電図同期心筋 SPECT から算出された心機能解析値の比較を行った。しかし、今回検討を行った症例の QGS による心機能解析値は、日本核医学会ワーキンググループ¹⁸⁾や、J-ACCESS データベースから算出された日本人におけ

る正常な QGS データ¹⁹⁾と比較した場合、大きく外れているデータも含んでいる。今後、症例数を増やし正常な心機能症例において検討を行いたい。

4. 結 語

心電図同期心筋 SPECT の心機能解析値は、再現性が高く心臓 MRI との相関も高かったが、EDV, ESV は心臓 MRI の心機能解析値より過小評価をする。また心電図同期心筋 SPECT では小容積の心臓ほど EF を過大評価する。心機能解析値の評価を行う場合、心臓 MRI と心電図同期心筋 SPECT の違いを良く理解する必要があると考ええる。

参考文献

- 1) Vanessa G, Mehul RB, Robert CH. The diagnostic and prognostic value of ECG-gated SPECT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2004; 45(5): 912-921.
- 2) 循環器病の診断と治療に関するガイドライン(2003-2004 年度合同研究班報告)心臓核医学検査ガイドライン. *Circulation Journal* 2005; 69(Suppl. IV): 1125-1202.
- 3) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995; 36(11): 2138-2147.
- 4) Germano G, Kavanagh PB, Kavanagh JT, et al. Repeatability of automatic left ventricular cavity volume measurements from myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1998; 5(5): 477-483.
- 5) Nuyts J, Dupont P, Van den Maegdenbergh V, et al. A study of the liver-heart artifact in emission tomography. *J Nucl Med* 1995; 36(1): 133-139.
- 6) Ford PV, Chatziioannou SN, Moore WH, et al. Overestimation of the LVEF by quantitative gated SPECT in simulated left ventricles. *J Nucl Med* 2001; 42(3): 454-459.
- 7) Nakajima K, Taki J, Higuchi T, et al. Gated SPET quantification of small hearts: mathematical simulation and clinical application. *Eur J Nucl Med* 2000; 27(9): 1372-1379.
- 8) Manrique A, Faraggi M, Véra P, et al. ²⁰¹Tl and ^{99m}Tc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med* 1999; 40(5): 805-809.
- 9) Ichikawa Y, Sakuma H, Kitagawa K, et al. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction using fast steady-state cine MR imaging: comparison with left ventricular angiography. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003; 5(2): 333-342.
- 10) Ioannidis JP, Trikalinos TA, Danias PG, et al. Electrocardiogram-gated single-photon emission computed tomography versus cardiac magnetic resonance imaging for the assessment of left ventricular volumes and ejection fraction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39(12): 2059-2068.
- 11) Lipke CS, Kühl HP, Nowak B, et al. Validation of 4D-MSPECT and QGS for quantification of left ventricular volumes and ejection fraction from gated ^{99m}Tc-MIBI SPET: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004; 31(4): 482-490.
- 12) Schaefer WM, Lipke CS, Standke D, et al. Quantification of left ventricular volumes and ejection fraction from gated ^{99m}Tc-MIBI SPECT: MRI validation and comparison of the Emory Cardiac Tool Box with QGS and 4D-MSPECT. *J Nucl Med* 2005; 46(8): 1256-1263.
- 13) Bavelaar-Croon CD, Kayser HW, van der Wall EE, et al. Left ventricular function: correlation of quantitative gated SPECT and MR imaging over a wide range of values. *Radiology* 2000; 217(2): 572-575.
- 14) Knollmann D, Winz OH, Meyer PT, et al. Gated myocardial perfusion SPECT: algorithm-specific influence of reorientation on calculation of left ventricular volumes and ejection fraction. *J Nucl Med* 2008; 49(10): 1636-1642.
- 15) 市川 肇. SPECT 評価用ペーパーファントムの作成方法に関する検討. *日放技学誌* 2009; 65(4): 421-429.
- 16) Persson E, Carlsson M, Palmer J, et al. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction by automated gated myocardial SPECT versus cardiovascular magnetic resonance. *Clin Physiol Funct Imaging* 2005; 25(3): 135-141.
- 17) 吉田宣博. ECG-gated SPECT(^{99m}Tc)の心機能評価－QGSの収集処理条件の検討－. *日放技学誌* 2000; 56(8): 1052-1057.
- 18) Nakajima K, Kumita S, Ishida Y, et al. Creation and characterization of Japanese standards for myocardial perfusion SPECT: database from the Japanese Society of Nuclear Medicine Working Group. *Ann Nucl Med* 2007; 21(9): 505-511.
- 19) Nakajima K, Kusuoka H, Nishimura S, et al. Normal limits of ejection fraction and volumes determined by gated SPECT in clinically normal patients without cardiac events: a study based on the J-ACCESS database. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34(7): 1088-1096.

図表の説明

- Fig. 1 (A) 心臓 MRI の短軸像(左から右 = 心尖部から心基部)
(B) 同一スライスにおける拡張末期(左)と収縮末期(右)の短軸像
トレースされた心筋内膜縁を白線で示す.
- Fig. 2 検者内の相関と回帰直線
(A), (B), (C)は検者 A によって QGS から算出された EDV, ESV, EF
(D), (E), (F)は検者 A によって 4D-MSPECT から算出された EDV, ESV, EF
(G), (H), (I)は検者 C によって心臓 MRI から算出された EDV, ESV, EF
- Fig. 3 検者間の相関と回帰直線
(A), (B), (C)は検者 A と B によって QGS から算出された EDV, ESV, EF
(D), (E), (F)は検者 A と B によって 4D-MSPECT から算出された EDV, ESV, EF
(G), (H), (I)は検者 C と D によって心臓 MRI から算出された EDV, ESV, EF
- Fig. 4 QGS, 4D-MSPECT, 心臓 MRI から算出された平均 EDV, ESV, EF
n.s.: 有意差なし, * $p < 0.05$
- Fig. 5 QGS(A), 4D-MSPECT(C), 心臓 MRI の EDV の相関解析
QGS 対心臓 MRI(B)と 4D-MSPECT 対心臓 MRI(D)の Bland-Altman プロット.
- Fig. 6 QGS(A), 4D-MSPECT(C), 心臓 MRI の ESV の相関解析
QGS 対心臓 MRI(B)と 4D-MSPECT 対心臓 MRI(D)の Bland-Altman プロット
- Fig. 7 QGS(A), 4D-MSPECT(C), 心臓 MRI の EF の相関解析
QGS 対心臓 MRI(B)と 4D-MSPECT 対心臓 MRI(D)の Bland-Altman プロット. QGS(B)と 4D-MSPECT(D)の
ESV < 20 ml は○, 20 ml ≤ ESV < 50 ml は□, 50 ml ≥ ESV は×で示す.