

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26460725

研究課題名(和文) 一体型SPECT/CT装置における心電図同期X線CT撮影の減弱補正法の確立

研究課題名(英文) Establishment of attenuation correction method using myocardial gated X-ray/CT imaging in integrated SPECT/CT system

研究代表者

小野口 昌久 (ONOGUCHI, Masahisa)

金沢大学・保健学系・教授

研究者番号：30283120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：外膜と内膜がそれぞれ任意に作動する新しい心臓動態ファントムを構築した。SPECT/CT装置を用い、ファントムの心筋層にTc-99m溶液、心室部に造影剤を入れて心機能評価の検証を行った。今回開発した本ファントムは、ストローク比を任意に変えることで異なる心筋壁の動きや左室容積が可変できる。本ファントムを用いることで多様な臨床条件(心室容積、駆出率、物理的現象)を想定した技術的評価が可能と考えられた。

研究成果の概要(英文)：The conventional dynamic cardiac phantom used in the field of nuclear medicine has a structure for which the size of the external side of the heart is fixed and only the inner side moves anteroposterior. Therefore, its usefulness in technical evaluation is limited. Hence, we developed a new dynamic cardiac phantom in which the outer and inner membranes freely move. Using a SPECT/CT system, we performed validation by filling the myocardial layer of the dynamic cardiac phantom with solution and the ventricle part with contrast medium. We evaluated myocardial wall motions of 3 segments (basal, mid, and apical) by setting the stroke ratios at 20:20 (ventricle-to-myocardial layer ratio). The myocardial wall motions at the stroke ratio of 20:20 were 7.50 ± 0.44 , 11.15 ± 0.56 , and 9.90 ± 0.24 mm in the basal, mid, and apical segments, respectively. These results suggest that the use of this phantom can realize technical evaluation that presumes various clinical conditions.

研究分野：心臓核医学

キーワード：心筋動態ファントム 心電図同期SPECT SPECT/CT装置 減弱補正 心機能 心筋血流 心電図同期CT撮影法 被ばく線量

1. 研究開始当初の背景

2003年にAHA/ACC/ASNCの欧米諸国から報告された心臓核医学検査のガイドラインを踏まえ、本邦においても2005年、2008年にガイドラインが報告された。そのガイドラインには核医学検査の有用性(クラス分類)およびエビデンスレベル(エビデンス分類)が明記され、虚血性心疾患における心筋イメージング、負荷心筋血流シンチグラフィによる虚血の存在診断、心筋バイアピリティ診断、治療効果判定、リスク層別化および予後評価など心臓核医学検査は高く評価されている。心臓領域の核医学検査では、主に心電図同期心筋SPECT(Gated SPECT)を用い、心筋血流や心機能評価が行われているが、その心機能指標の精度検証には、これまで心臓動態ファントムHD型(京都科学社製)が用いられてきた。しかし構造上、最大拡張末期容積(EDV)や最大収縮末期容積(ESV)は固定値であり、十分な心機能評価ができないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、心筋および左室容積可変型のGated SPECT専用心臓動態ファントム(以下、ファントム)の開発、当ファントムのGated SPECTから算出されたEDV、ESVおよび左室駆出率(LVEF)などの各心機能指標値の評価およびその実用性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

1) 心臓動態ファントム

当ファントムは心臓部と機動部で構成される(図1)。心臓部は心内膜と心外膜を同時に可変させるために、二層構造の伸縮可能な特殊ゴムを開発した。心内膜と心外膜の間隙が心筋部、心内膜下が心室部となる(図2)。機動部は心筋、左室容積用の2つのシリンダーを装備したダブルポンプ式を新たに採用し、EDV 346-447 mL、ESV 246-346 mLおよびLVEF 0-45%まで可変可能となる(図3)。さらに、心拍数は3-164 beats/minまで再現することができる。本実験ではEDV、ESVおよびLVEFは、それぞれの組合せがA:446mL、246mL、45%、B:421mL、271mL、36%、C:396mL、296mL、25%、D:371mL、321mL、14%の4種類を、心拍数は40、60および100 bpmの計3種類を設定した。



図1 心臓動態ファントム



図2 心臓部

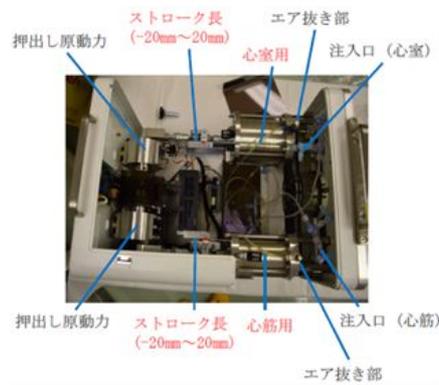


図3 機動部

なお、心室用ポンプには、水:造影剤の比が60:1となるように造影剤(イオパミドール、370mgI/mL)を混ぜた溶液を954.6mL注入する。また、0.23MBq/mLの^{99m}Tcを心筋用ポンプに625.3mLとなるよう封入した。心筋部は246mL、縦隔部は9060mLの蒸留水で満たす。

2) 心機能評価およびその実用性

使用機器は、本学附属病院に設置されている、低エネルギー高分解能コリメータを装着したSPECT/CT装置Symbia T6(Siemens社)を用い、心筋部に放射性医薬品^{99m}Tc溶液を封入する。収集条件は、エネルギーウィンドウ140keV±10%、マトリクス64×64、360度、円軌道、ピクセルサイズ6.6mm、拡大率1.45倍、収集時間20-160 counts/view、R-R間隔8および16分割とし、画像再構成にはフィルタ補正逆投影法(FBP法)および空間分解能補正を組み込んだ逐次近似法(3D-OSEM法)を使用する。なお、FBP法の前処理フィルタにはButterworthを用い、遮断周波数0.16-0.55 cycles/cmまで変化させ、これらの条件下でGated SPECT施行後、心電図同期心筋SPECTの心機能解析ソフト(QGS)にて各心機能指標値を算出する。リファレンス用として、X線CT(以下CT)にて左心室容積を算出する(Threshold法:Upper 160, Lower 15)。また、多施設共同研究である装置間の比較対象として低エネルギー汎用型コリメータを装着したSPECT/CT装置Precedence16(Philips社)を用いる。上記の条件下で、収集条件の違いによる比較、画像処理条件の違いによる比較および装置間での比較から、本ファントムの心機能精度評価の妥当性とその実用性を検証する。

4. 研究成果

EDV、ESVおよびLVEFにおける理論値-SPECTの関係は、有意に正の相関がみられた($r = 0.99$, $p < 0.01$, 図4)。心拍数40、60および100bpmにおけるEDVは平均432-438mL、ESV平均259-269mLおよびLVEF平均38-40%で心拍数に依存しなかった。また、心筋カウント変化による検討では、EDV平均429mL、ESV平均253mLおよびLVEF平均41%で一定値となりカウント差に違いはみられなかった。R-R間隔の検討では、8および16分割間で各心機能指標値に有意な強い相関がみられた($r = 0.99$, $p < 0.001$)。8分割におけるEDV、

ESV および LVEF は、それぞれ平均 399mL、平均 280mL および平均 29%、16 分割では平均 401mL、平均 276mL および平均 30%となり、ESV が 16 分割で有意に低値となった($p < 0.05$, 図 5)。3D-OSEM 法でも同様の傾向がみられた。

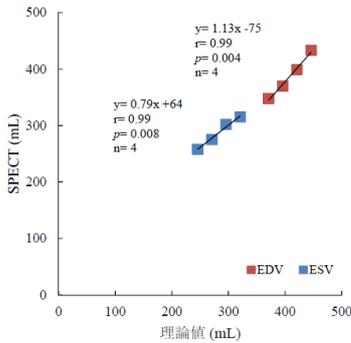


図 4 理論値と SPECT の関係 (EDV, ESV)

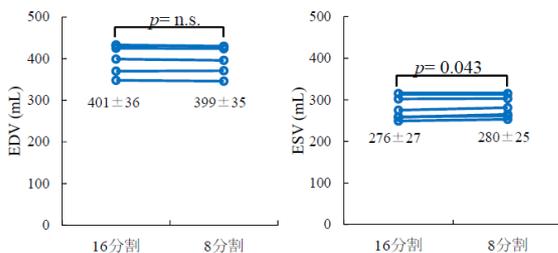


図 5 R-R 分割と左室容積の関係 (EDV, ESV)

前処理フィルタの検討では、遮断周波数が低いと左室容積が過小評価されるが、0.40cycles/cm 以上で一定値となった(図 6)。

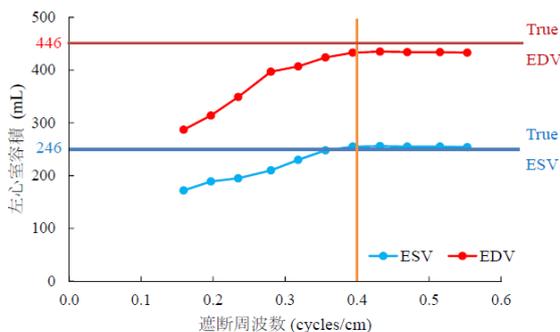


図 6 遮断周波数と左室容積の関係 (EDV, ESV)

また、画像再構成法の検討において、FBP および 3D-OSEM 法間で各心機能指標値に有意な強い相関がみられた($r = 0.99$, $p < 0.001$)。EDV, ESV および LVEF は、FBP 法ではそれぞれ平均 401mL、平均 276mL および平均 30%、3D-OSEM 法では平均 415mL、平均 291mL および平均 29%となり、EDV と EDV で 3D-OSEM 法が有意に高値を示した($p < 0.03$, 図 7)。また、8 分割においても同様の関係がみられた。異なる装置間の比較では、理論値 - SPECT, SPECT - CT および理論値 - CT の左室容積と LVEF の間には有意な強い相関が認められたものの($r = 0.99$, $p < 0.05$)、Precedence16 で低値となった。

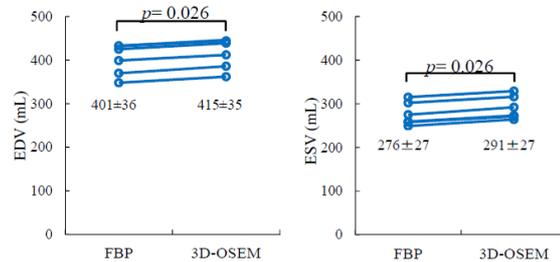


図 7 画像再構成法と左室容積の関係 (EDV, ESV)

以上、人体の心臓を模した心電図同期心筋 SPECT 用心臓動態ファントムを開発し、心機能指標値の精度を比較、検討した。当ファントムは新たな心機能評価用心臓動態ファントムとして、その実用性および標準化への可能性が示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 9 件)

橋本良亮, 小野口昌久: 心電図同期心筋 SPECT 用 3 次元心臓動態ファントムの精度と評価. 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科保健学専攻博士前期課程学位論文 2017; 1-50. (査読有)

Takayuki Shibutani, Masahisa Onoguchi, Tetsuro Katafuchi, Seigo Kinuya. Development of a myocardial phantom and analysis system toward the standardization of myocardial SPECT image across institutions. Ann Nucl Med 2016; 30: 699-707. (査読有)

Matsuo S, Mochizuki T, Takeda S, Shibutani T, Onoguchi M, Nakajima K, Okuda K, Takeuchi H, Hayakawa K, Kinuya S: Cardiac time-of-flight PET for evaluating myocardial perfusion with ^{13}N -ammonia: Phantom studies for estimation of defect and heterogeneity. Ann Nucl Cardiol 2016; 2(1): 73-8. (査読有)

Onoguchi M, Konishi T, Shibutani T, Matsuo S, Nakajima K: Technical aspects Image reconstruction. Ann Nucl Cardiol 2016; 2(1): 68-72. (査読有)

Masaya Suda, Tomonari Kiriya, Keiichi Ishihara, Masahisa Onoguchi, Yasuhiro Kobayashi, Minoru Sakurai, Takayuki Shibutani, Shin-ichiro Kumita: The high matrix acquisition technique for imaging of atherosclerotic plaque inflammation in ^{18}F fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography with time-of-flight: Phantom study and clinical experience. J Nucl Cardiol

2016; doi:10.1007/s12350-016-0510-7
(査読有)

Shibutani T, Onoguchi M, Yamada T, Kamida H, Kunishita K, Hayashi Y, Nakajima T: Optimization of the pre-filter parameters by myocardial perfusion SPECT: The formulation of flowchart. Australas Phys Eng Sci Med 2016; 39: 571-581.
(査読有)

Hara N, Onoguchi M, Hojyo O, Kawaguchi H, Murai M, Matsushima N: Development of a Two-layer Dynamic Cardiac Phantom with a Double Pump. J Nucl Med Technol 2016; 44(1): 31-5. (査読有)

川村直也, 小野口昌久: 心筋および左室容積可変型心筋動態ファントムの開発. 金沢大学医薬保健学域保健学類放射線技術科学専攻第 16 回卒業研究論文集 2015; 16: 112-115. (査読無)

Masaya Suda, Masahisa Onoguchi, Takeshi Tomiyama, Keiichi Ishihara, Naoto Takahashi, Minoru Sakurai, Keiichi Matsumoto, Shin-ichiro Kumita: The reproducibility of time-of-flight PET and conventional PET for the quantification of myocardial blood flow and coronary flow reserve with ¹³N-ammonia. J Nucl Cardiol 2015; 22(5): 998-1007. (査読有)

[学会発表](計 8 件)

橋本良亮, 小野口昌久, 澁谷孝行, 原成広, 佐藤宗邦: 心筋および左室容積可変型心筋動態ファントムの開発, 第 36 回日本核医学技術学会総会学術大会, 2016 年 11 月 3 日~2016 年 11 月 5 日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

Ryosuke Hashimoto, Masahisa Onoguchi, Takayuki Shibutani, Narihiro Hara: Comparison between each institution using a 2-layer double-pump dynamic cardiac phantom, EANM2016, 2016 年 10 月 15 日~2016 年 10 月 19 日, バルセロナ(スペイン)

橋本良亮, 小野口昌久, 澁谷孝行, 原成広, 米山寛人, 河村昌明: 容積可変型心筋動態ファントムの開発, 第 26 回日本心臓核医学学会総会学術大会, 2016 年 7 月 15 日~2016 年 7 月 16 日, アスト津(三重県津市)

Hara N, Onoguchi M, Hojyo O: Examination of attenuation correction by using an electrocardiographic synchronized time phase method in myocardial scintigraphy, SNMMI2016, 2016 年 6 月 11 日~2016 年 6 月 15 日, サンディエゴ(米国)

橋本良亮, 小野口昌久, 澁谷孝行, 原成広: 容積可変型心筋動態ファントムの構築, 第 65 回北陸循環器核医学研究会, 2016 年 2 月 6 日, ホテル金沢(石川県金沢市)

橋本良亮, 小野口昌久, 澁谷孝行, 原

成広: 心筋および左室容積可変型心筋動態ファントムの開発, 第 55 回日本核医学学会学術総会, 2015 年 11 月 5 日~2015 年 11 月 7 日, ハイアットリージェンシー東京(東京都新宿区)

原 成広, 小野口昌久, 川口弘之: ダブルポンプを用いた二層構造式心筋動態ファントムの開発, 第 43 回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2015 年 10 月 8 日~2015 年 10 月 10 日, 金沢市文化ホール(石川県金沢市)

Hara N, Onoguchi M, Hojyo O, Murai M, Uda F, Matsuzawa Y: Development of two-layered cardiac dynamic phantom made of special rubber, ICNC12 (the International Conference of Nuclear Cardiology and Cardiac CT), 2015 年 5 月 3 日~2015 年 5 月 5 日, マドリッド(スペイン)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://onoguchi-lab.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野口 昌久 (ONOGUCHI, Masahisa)

金沢大学・保健学系・教授

研究者番号: 30283120

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし