

Title	左心室の動きを模倣した心臓ファントムの開発とその評価
Author(s)	木村, 文子; 沈, 雲; 佐藤, 宗邦 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2001, 61(1), p. 29-32
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17267
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

左心室の動きを模倣した心臓ファントムの開発とその評価

木村 文子¹⁾ 沈 雲²⁾ 佐藤 宗邦³⁾ 酒井 文和¹⁾ 小野 由子¹⁾

1)東京女子医科大学放射線医学教室 2)GE Medical Systems 3)フヨー株式会社

Development and assessment of real cardiac motion simulation phantom

Fumiko Kimura¹⁾, Yun Shen²⁾,
Munekuni Satoh³⁾, Fumikazu Sakai¹⁾
and Yuko Ono¹⁾

To evaluate cardiac images obtained by multi-slice CT, assessments of the temporal resolution and reconstruction algorithm are essential. For these purposes, we have designed and developed a cardiac motion phantom. Using suitable driver sequences, the phantom allowed for modeling of real left ventricular motion, which was characterized by fast pumping, slow pumping, fast filling and slow filling. Our phantom seems to be useful for use in the fundamental assessments and researches of cardiac CT.

Research Code No.: 207.1

Key words: Cardiac CT, phantoms, Cardiac motion

Received Aug. 10, 2000; revision accepted Nov. 27, 2000

- 1) Department of Radiology, Tokyo Women's Medical University
- 2) GE Medical Systems
- 3) FUYO corporation

別刷請求先
〒162-0054 東京都新宿区河田町 8-1
東京女子医科大学放射線科
木村 文子

はじめに

心臓病変をhelical CTにより描出する報告は近年増加し、欧米では冠動脈石灰化のスコアリングにhelical CTは広く用いられている¹⁾。拍動する心臓を撮像する際、helical CTの時間分解能や再構成アルゴリズムが画像に及ぼす影響を評価することは重要であり、その評価には心拍動に似た動きをするファントムの開発が必要である。過去にも心臓CTにおけるartifact^{2),3)}、MRIによる心機能⁴⁾などについて評価のため、拍動する数種類のファントムが考案されている。これらのファントムはsine wave状に拍動するものが多いが、コンピュータ制御を用い心拍動を模擬したものも報告されている^{3),5)}。今回、我々は、driver componentであるピストンの速度と位置を多数設定することにより、1)左室の動きの模倣、2)拍動数の可変、3)不整脈の作成が可能で、さらにX線照射と同期可能なファントムを設計、開発したので報告する。

方 法

1. ファントムの構造(Fig. 1)

ファントムは以下の5部より構成されている。

- 1) Driver component: サーボモーターにより、シリンダー内でピストンを直線的に作動させ、ファントム容積を変化させる。
- 2) Control component: ピストンの位置、速度、加速度、減速度などのdriver sequenceを設定する。ピストンの位置と速度はそれぞれ16通り変化させることが可能である。
- 3) Support component: ファントム支持体であり、プレキシガラスを使用した。
- 4) Phantom component: 氷嚢用のゴム袋を用い、水、造影剤などの液体、空気などを注入する。石灰化モデルは、ゴム袋の表面に付着させる。
- 5) ECG component: ピストンの動きをモニターし、フロッピーディスク上に拍動とエックス線照射開始時を記録する。

1) Driver sequenceの設定

正常左室のvolume curve(Fig. 2)⁶⁾を参考にし、左室容積変化が大きい急速流入期、緩徐流入期、急速駆出期、緩徐駆出期をファントムで描出することを試みた。

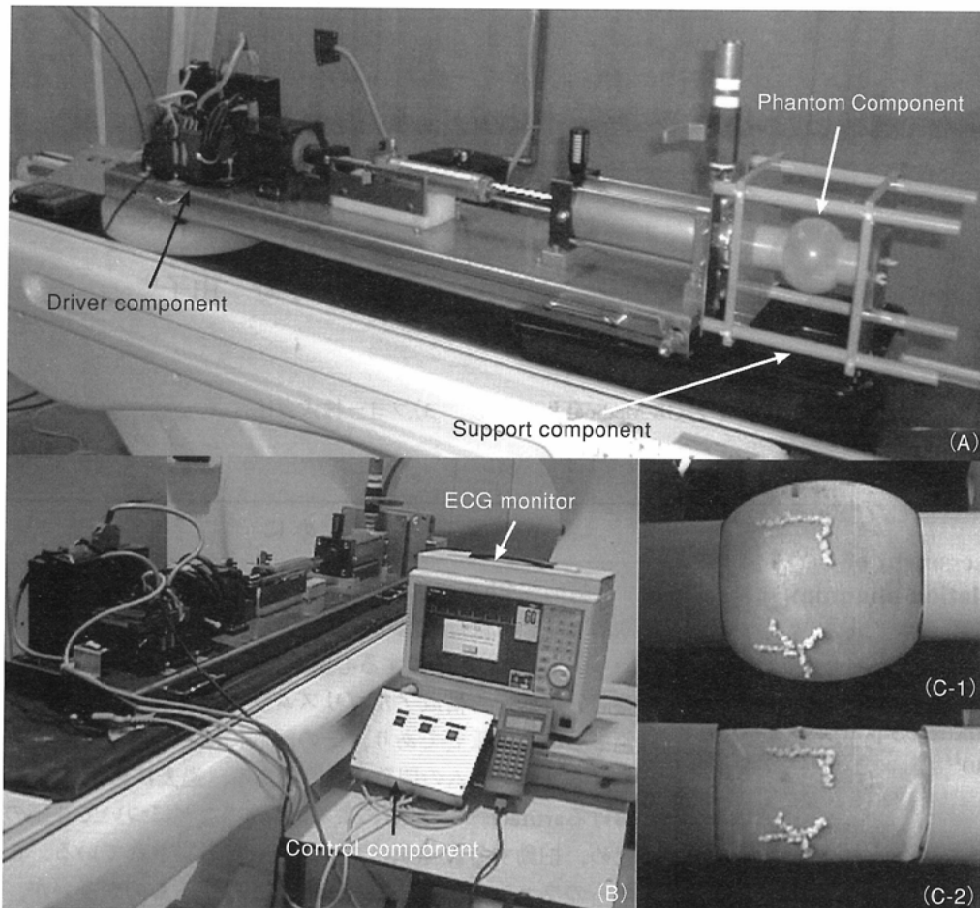


Fig. 1 Phantom design.
A, B: Outside appearances of the phantom. C: Diastolic and systolic phases of the phantom component with calcification models.

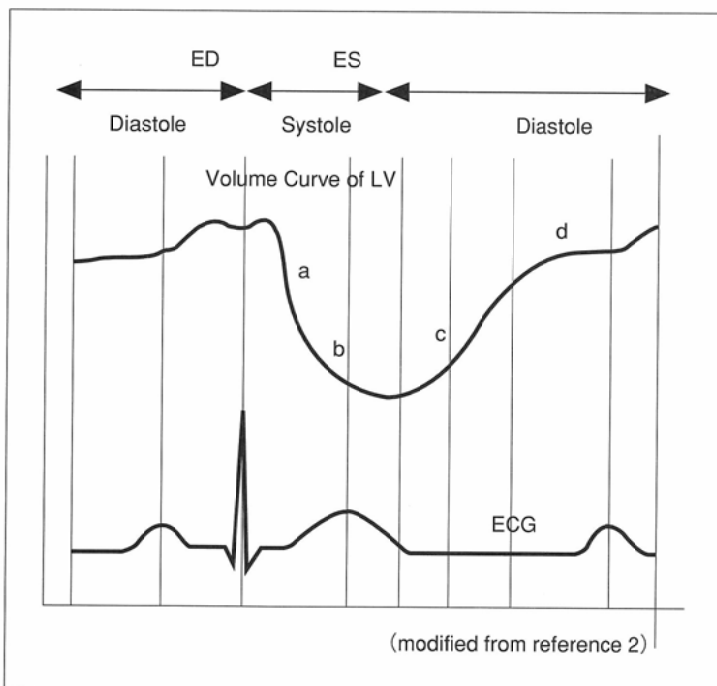


Fig. 2 LV volume change in a normal subject.
LV motion is characterized by four phases: a: fast pumping, b: slow pumping, c: fast filling, and d: slow filling.

Fig. 2を参考にして、ピストンの動きをFig. 3のごとくに設定した。まず、ファントム部の拡張末期、収縮末期のピストンの位置P0、P2を、駆出率が約60%になるように設定

した(駆出率は静止した状態で拡張末期、収縮末期の容積を測定して算出)。今回は設定を容易にするため、急速流入期と緩徐流入期の変更点P1と急速駆出期と緩徐駆出期の変更点P3を同一にした。これらの距離と正常左室の時相(急速流入期、緩徐流入期、急速駆出期、緩徐駆出期)の時間より、拍動数60/min時のピストンの速度を設定した(Table 1)。

さらに、心拍数にかかわらず、収縮期の長さは比較的一定であり、心拍数が増加すると拡張期が短縮されることを考慮し、拍動数40~88/minまでのピストンの速度をTable 1のごとく設定した。

また、今回の実験では施行していないが、ピストンのスピードを16通りに変化できることを利用して不整脈を作成することも可能である(たとえば、V1-4を第1心周期、V5-8を第2心周期に使用する)。

2) CT検査法

ファントムの拍動数を0(静止時)、40、56、60、64、75、88/secと変化させ、マルチスライスCTにてヘリカルスキャンを施行した。使用機種はGE Light Speed Qx/I (GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin)で、撮影条件は0.8sec/1回転、4×1.25mmスライス厚、ヘリカルピッチ3.0、再構成ピッチ0.1である。

2. 評価法

ファントム拍動時の容積変化を直接測定することは困難であるため、1viewあたりのチャンネル数を数えることに

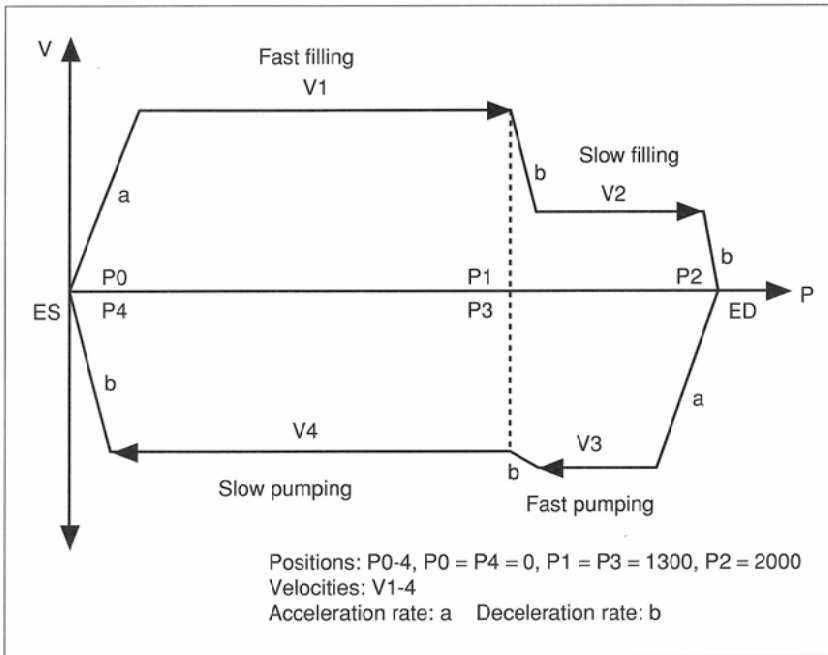


Fig. 3 Driver sequences

より、ファントム横断像の直径を計測した。1回転360°中には984viewsが存在するため、1 viewあたりは約0.8msec (0.8sec/984)となり、十分な時間分解能と考えた。尚、この容積測定方法は多数のview角度で行ったため、誤差を最低限に抑えるために、axial, scout画像の両者よりファントムが回転中心(isocenter)に正確に置かれていることを確認した。また、ファントムの外側は空気、内側は水であり、水と空気のprojection dataの差は大きく、両者の境界の検出は容易であった。このため、ファントムの位置(横断像の直径)は計算機により自動的に求めることが可能であった。

結 果

ファントム横断像をFig. 4に示す。
 ファントム直径の変化は、拍動数75以下では、左室のvol-

ume curve (Fig. 2)に似ていたが、拍動数が88以上となると、直径の変化はsine wave状となった (Fig. 5)。

考 察

われわれの作成したファントムは、左室の動きを良好に模倣する事が可能であった。拍動数88/min以上では、ファントムの直径変化はsine wave状となったが、左室も頻脈状態になると、緩徐流入期が消失し、sine wave状の動きになることより⁸⁾ファントムは頻脈時の動きも模倣していると考えられた。

左室は収縮期に求心性に収縮するのみではなく、頭尾側方向にも移動し、心尖部は数mm心基部に、僧帽弁は心尖部方向に移動すると報告されている⁹⁾。われわれのファントムはゴム袋(ファントム部)の支持のため、両端が固定されており、構造的に制限があり、心臓の頭尾側方向の動きは再現できていない。

また、右冠動脈は左室表面から離れた右房室間溝を走行し、左前下行枝や回旋枝よりはるかに大きな動きを示す。右冠動脈の評価には、ファントム表面に石灰化モデルを張り付けただけのわれわれのファントムは不十分である。これらの問題点は今後解決していかなければならない課題である。multi-slice CTを利用した心臓専用の再構成法⁹⁾が実用化され、約0.1秒の高い時間分解能の画像が得られるようになると、CTにより心臓評価を施行する機会は増加すると思われる。また、この際には多数の心周期を利用して再構成するため、不整脈は一番の問題点になると思われる。われわれのファントムは、CTによる冠動脈疾患(石灰化のスコアリング、冠動脈狭窄など)、心機能(心拍出量, ejection fractionなど)、不整脈の再構成に与える影響などの基礎的評価に有用と考えられた。

Table 1 Driver sequences and duration of systolic and diastolic phases in each motor cycle

Motion cycle (/min)	V1 (rpm)	V2 (rpm)	V3 (rpm)	V4 (rpm)	Duration of Systole (sec)	Duration of Diastole (sec)
40	4500	1000	4500	4000	0.5	0.97
56	5750	1450	6000	5500	0.39	0.68
60	5750	1700	6000	5500	0.37	0.62
64	5750	2000	6000	5500	0.36	0.56
75	6000	2750	6500	6000	0.34	0.46
88	6000	5100	6500	6000	0.33	0.35

(rpm: rotation per minute)

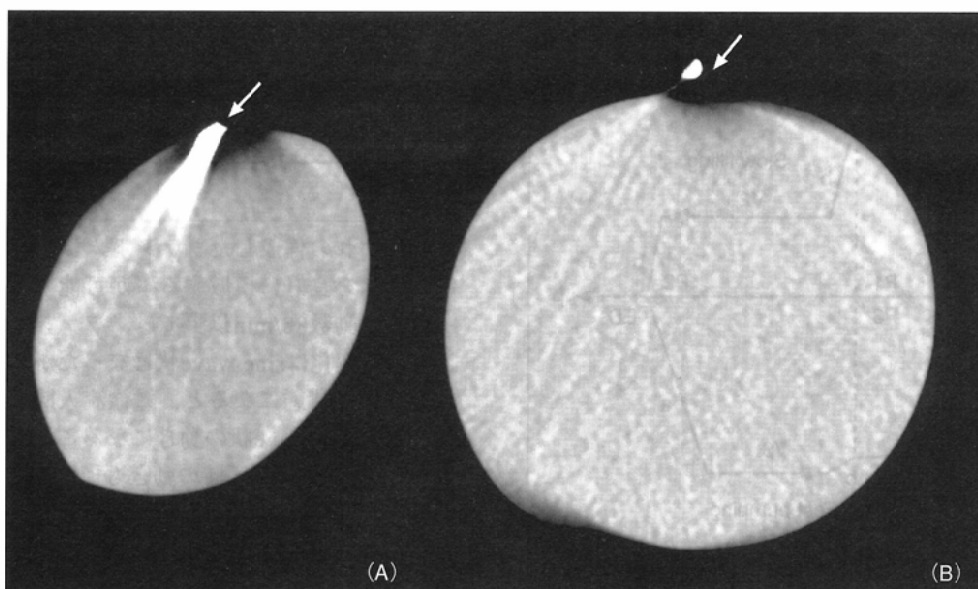


Fig. 4 CT images of the water containing phantom with the calcification model (→) using segmentation reconstruction.
A: Systolic phase B: Diastolic phase

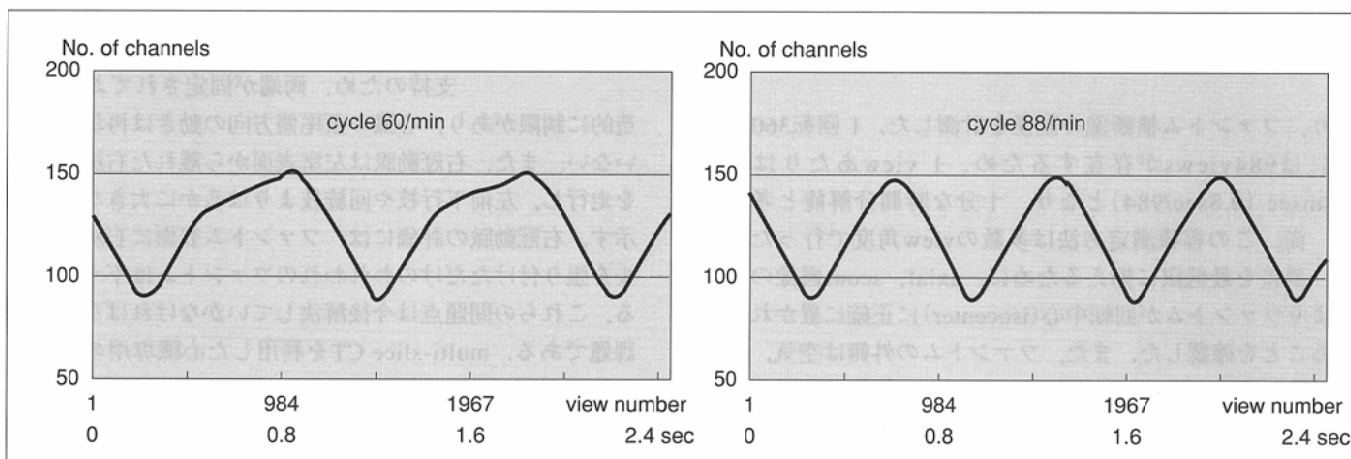


Fig. 5 Volume curve of the phantom in various motor cycles

謝辞

本研究を助成していただいた土谷記念医学振興基金と実験の遂行に多大なる貢献をしていただいた土谷総合病院、放射線診療技師、今田直幸さん、GE Medical systems, Dr. Tinsu Panに深く感

謝します。なお、本研究の一部は85th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (Chicago, USA)にて発表した。

文 献

- 1) Shemesh J, Apter S, Rozenman J, et al: Calcification of coronary arteries: Detection and quantification with double-helix CT. *Radiology* 197: 779-783, 1995
- 2) Morehouse CC, Brody WR, Guthaner D, et al: Gated cardiac computed tomography with a motion phantom. *Radiology* 134: 213-217, 1980
- 3) Knollman FD, Halfmann R, Regin J, et al: Motion artifacts in cardiac CT. *Acta Radiologica* 40: 569-577, 1999
- 4) Debatin JF, Nadel SN, Paolini JF, et al: Cardiac ejection fraction: phantom study comparing cine MR imaging, Radionuclide blood pool imaging, and ventriculography. *JMRI* 2: 135-142, 1992
- 5) O'Connor MK, Kanal KM, Gebhard MW, et al: Comparison of four motion correction techniques in SPECT imaging of the heart: a cardiac phantom study. *J Nucl Med* 39(12): 2027-2034, 1998
- 6) Shepherd JT, Vanhoutte PM: The human cardiovascular system; facts and concepts. 68-69 1979, Raven Press, New York.
- 7) Levick JR: An introduction to cardiovascular physiology. 13-22, 1990, Butterworths, London
- 8) 堀 正二, 山本一博: 心室の拡張機能はどのように評価されるか. 松崎益雄編: 心臓病診療プラクティス 3, 心機能を知る. 25-33, 1994, 文光堂, 東京
- 9) Kondo T, Kurokawa H, Anno H, et al: Evaluation of cardiac motion and function by cine magnetic resonance imaging. *Japanese Circulation Journal* 156: 632-638, 1992.
- 10) Shen Y, Pan T, Hsieh J, et al: Dynamic 4D display algorithm for multislice ECG cardiac CT. *Radiology* 213(P): 401, 1999