

心臓 CT 対応時間分解能測定ファントムによる時間分解能測定

要旨

心臓 CT のマルチセグメント再構成法に対応した、金属球体による時間分解能測定装置を用いて、心臓 CT のマルチセグメント再構成法における時間分解能を、心拍数を変化させて測定し比較検討した。装置より発せられる模擬心電波形に同期して自動連射する金属球体を、64 列マルチスライス CT の心臓 CT モードで撮影した。心拍数は 65, 68, 72, 90, 98, 106bpm と変化させて、セグメント数の違う再構成により画像を取得した。ImageJ を用いて各スライス画像の CT 値を取得し、最大値を 100% として正規化した。心位相を時間に変換し、正規化した値を時間軸に対してプロットして時間感度分布 (TSP : temporal sensitivity profile) を作成した。TSP の FWHM を測定し、さらに TSP にゼロフィリング処理を施した後フーリエ変換して、時間領域 MTF を算出した。実験によって得られた TSP と理論的 TSP はほぼ一致した。心拍数の変化にともない、TSP の形状は複雑に変化したため、FWHM のみでの評価は不十分であり、時間領域 MTF での評価が有用であった。

I. 緒言

近年、CT 装置の高速化・多列化・マルチセグメント再構成法の発展により、CT による心臓検査が多く施設で行われるようになった。しかし、マルチセグメント再構成法により向上する時間分解能の、測定法は未だに確立されておらず、早急な確立を望む声が多く施設であがっている。今回我々が開発した、心電図同期金属球連続発射装置を用いて様々な心拍数に同期し連続発射した金属球のマルチセグメント再構成画像から、時間感度分布 (TSP) を取得し、さらにこの TSP をフーリエ変換して得られる時間領域 MTF により時間分解能の定量的評価を試みた。さらに、心拍数による TSP の形状の変化についても検討した。

II. 使用機器

- ・ X 線 CT 装置 64 列 MDCT : LightSpeed VCT (VCT) (GE 社)
- ・ 心電計 Cardiac Monitor 3100 (IVY Biomedical Systems 社)
- ・ 金属球 (直径 11mm 鋼製)
- ・ 金属球連続発射装置
- ・ ソフトウェア : Image J, Excel, Visual Basic

III. 方法

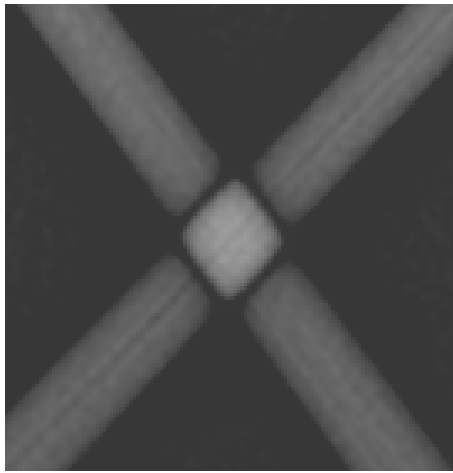
1) TSP の取得.

金属球連続発射装置を用いて金属球をガントリ内に、向けてスライス面と垂直方向に様々な心拍数の模擬心電波形と同期して、連続で通過させ、VCT で撮影した。撮像条件を Table.1 に示す。マルチセグメント再構成を行い、再構成画像を取得した。

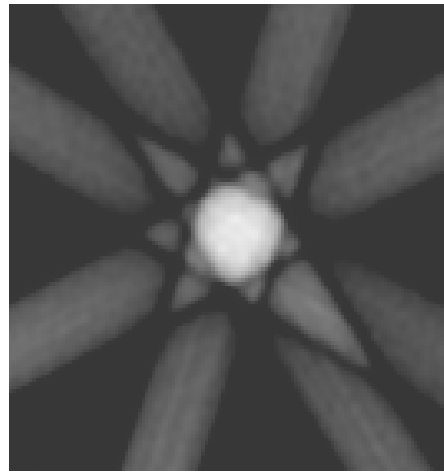
得られた再構成画像は金属球の直径にほぼ等しい帯状の像がセグメントの数だけ重なったものとなる。再構成画像を Fig.1,2 に示す。その重なりを中心に ROI を設定し、CT 値を測定し、対応する時間との関係から TSP を取得した。取得した TSP から full width at half maximum (FWHM) を測定した。

管電圧	120kV
管電流	10mA
ビームピッチ	0.2
管球回転速度	0.5sec
スライス厚	0.625mm
心拍数	65, 68, 72, 90, 98, 106bpm

Table.1 撮像条件



(a) 2 セグメント



(b) 4 セグメント

Fig.1 再構成画像

2) 理論値の算出

基本的なマルチセグメント再構成法に従ったシュミレーションプログラムを作成し、各心拍数の理論的 TSP を算出し、各心拍数の理論的 FWHM を測定した。

3) 時間 MTF の算出

得られた TSP の両端を 0 で外挿し、データ数を 512 個とした。これは、周波数分解能を向上させる zero-filling 法を用いるためと、後にフーリエ変換を行うためである。この TSP をフーリエ変換し、各値の絶対値を周波数 0 の値にて正規化した。

一方、周波数軸は式(1)を用いて周波数間隔 $f_{int.}$ を求め、 $f_{int.}$ ごとに各値をプロットして時間 MTF 曲線を求めた。

$$f_{int.} = \frac{1}{TI \times 512} \quad \dots (1)$$

IV. 結果

1) 論的 TSP, 実測 TSP の比較

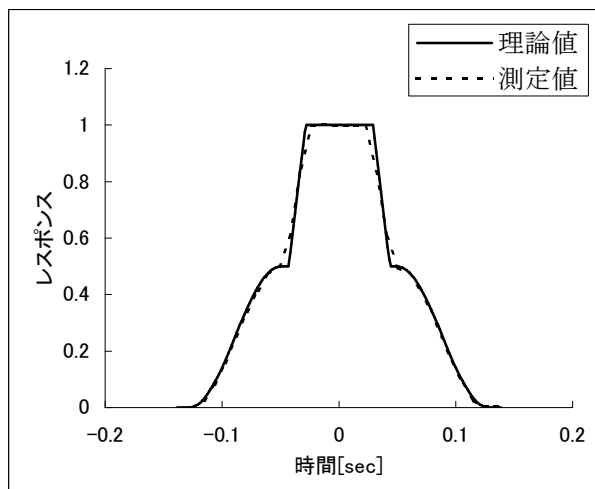


Fig.2 65bpm での比較

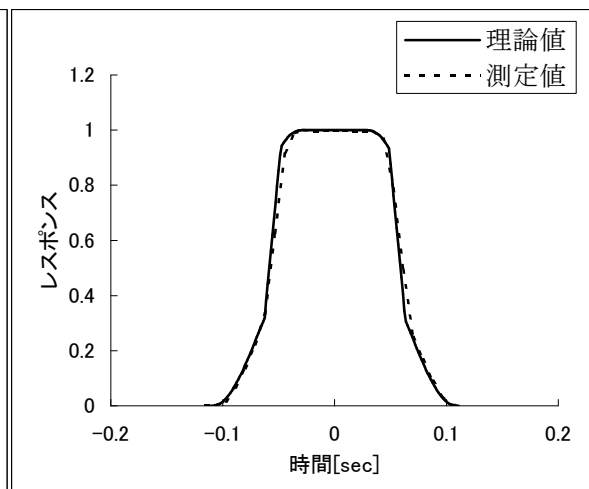


Fig.3 68bpm での比較

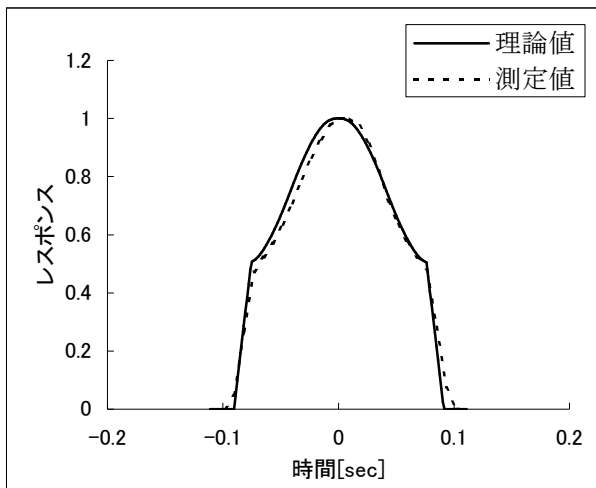


Fig.4 72bpm での比較

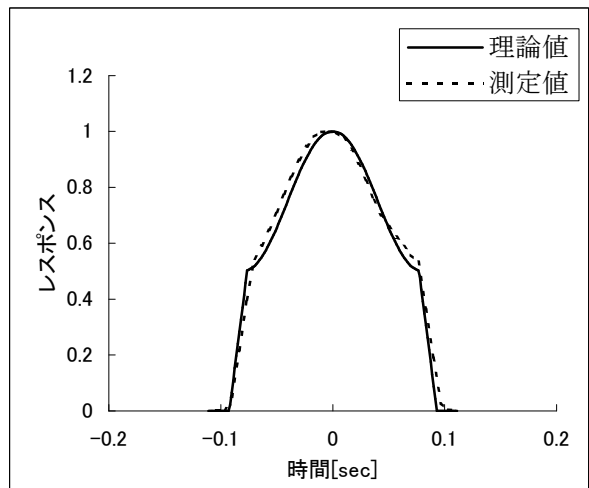


Fig.5 90bpm での比較

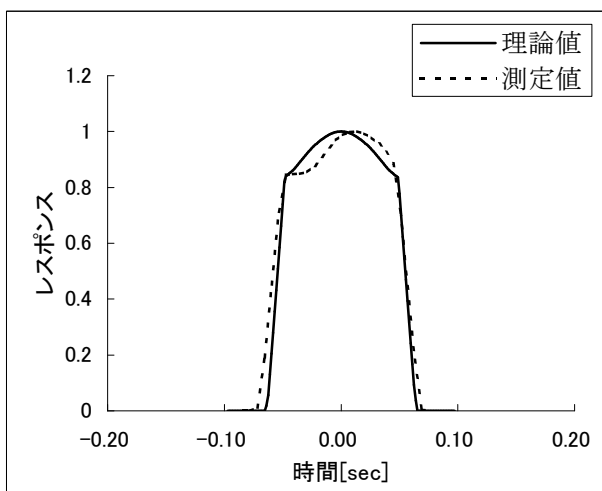


Fig.5 98bpm での比較

心拍数により TSP が複雑に変化した。
65, 68, 72, 90bpm では理論的 TSP と実測 TSP はほぼ一致したが、98bpm では理論的 TSP と実測 TSP の形状がやや異なった。

2) FWHM による比較

心拍数[bpm]	セグメント数	理論的 FWHM[sec]	実測 FWHM[sec]	誤差率[%]
65	2	0.101	0.092	9.1
68	2	0.118	0.125	5.9
72	2	0.142	0.149	4.9
90	2	0.150	0.152	1.3
98	3	0.113	0.109	3.6
106	4	0.068	0.0625	8.6

Table.2 各心拍数における理論的 FWHM, 実測 FWHM 及びその誤差率

どの心拍数でも誤差率 10%以内となった。

3) 実測 TSP から算出した時間領域 MTF

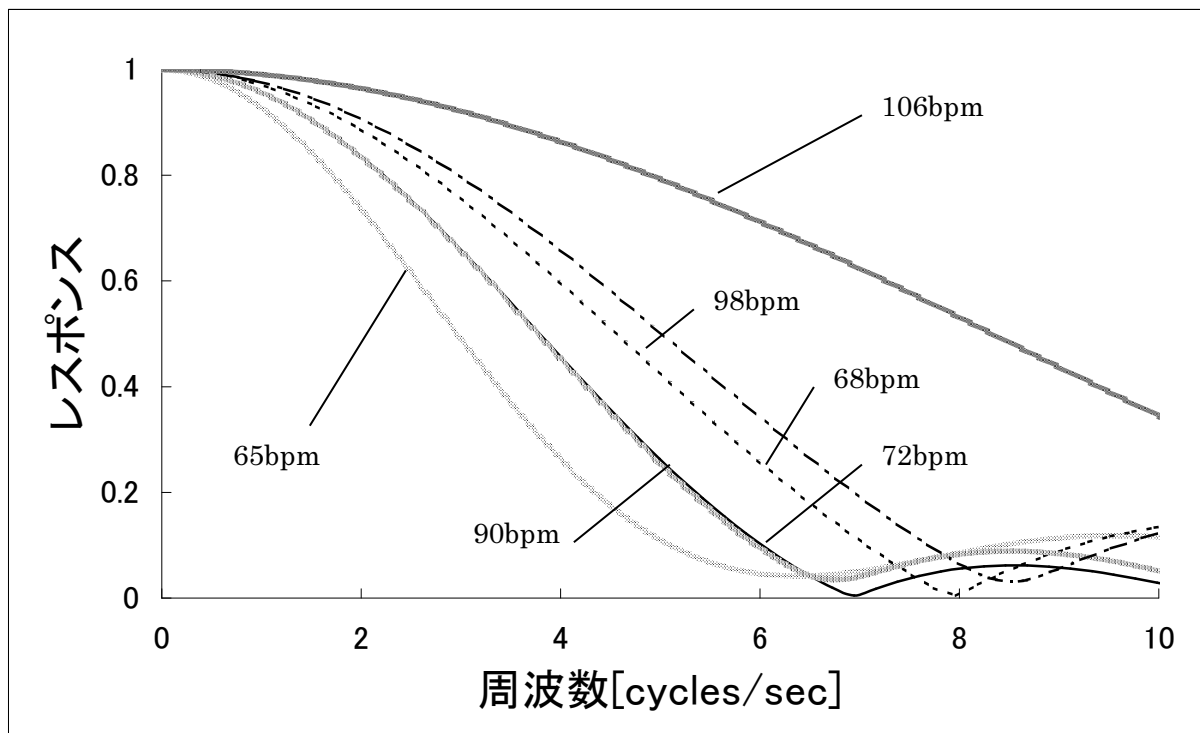


Fig. 6 各心拍数における時間領域 MTF の比較

4セグメントとなる 106bpm で最も高い値を示した。

V. 考察

10%以下の誤差で TSP が取得できた。心拍数を変化させることにより、TSP の形状が複雑に変化することが判明したため、FWHM だけの評価は不十分である。時間領域 MTF を算出することにより、時間分解能を定量的に評価することが可能であったため、マルチセグメント再構成法においては、時間分解能は時間領域 MTF での評価が有用であると考えられる。

理論値との誤差について、管球の回転中心と金属球の位置のずれによるものと考えられる。より正確な測定のために、微動機構つきのファントム支持台の作成が必要である。

VI. 結語

新しく開発した時間分解能測定装置により、心臓 CT のマルチセグメント再構成法における時間分解能の正確な評価が可能となった。

心拍数により TSP は複雑に変化するため、時間領域 MTF による評価が有用であると考えられる。