

CTにおける時間領域のMTF測定

要旨

新しく考案した時間分解能測定法より得られた temporal sensitivity profile (TSP) から、時間領域の MTF (時間 MTF) を求め、撮像条件と時間分解能との関係について検討した。金属球をスライス面と垂直方向に高速で通過させて、得られた画像から TSP を得た。この TSP をフーリエ変換して時間 MTF を求めた。LightSpeed Ultra16 (16 列 MDCT), SOMATOM Definition (32 列 MDCT) 及び LightSpeed VCT (64 列 MDCT) について、撮像条件 (ビームピッチ, 管球の回転速度, スライス厚) を変化させ、時間 MTF を測定し、比較、検討した。また、動態ファントムを撮影し時間 MTF の測定結果を検証した。ピッチと回転速度は、増加するにつれて時間 MTF が向上した。しかし、ピッチについては装置によって変化の傾向が異なっていた。スライス厚については、16 列 MDCT では薄いほど時間 MTF が向上したが、64 列 MDCT では影響がなかった。また、多列となるほど時間 MTF が向上することも示された。動態ファントム撮影については、ビームピッチによる画質変化と時間 MTF の測定結果がほぼ一致した。よって、TSP より算出した時間 MTF により、撮像条件と時間分解能の関係を詳細に求めることが可能となった。

I. 緒言

CT 装置は、ヘリカル機構の開発以来、飛躍的に高速化を遂げ、現在では MDCT の登場によりさらに高速化されている。その中で、時間分解能の概念が注目され、その評価法が提案されている。そのひとつに、ガントリ内に金属球を高速で通過させることで、CT に対して時間領域のインパルス信号を与え、その応答によって TSP を取得する方法がある。我々はこの手法を用いて TSP を取得し、さらにこの TSP をフーリエ変換することで MTF による時間分解能の測定を試みた。また、ビームピッチ、管球の回転速度、スライス厚、装置の列数といった撮像条件と時間分解能の関係についても検討した。

II. 使用機器

・ X 線 CT 装置

16 列 MDCT : LightSpeed Ultra16 (Ultra16) (GE 社)

32 列 MDCT : SOMATOM Definition (Definition) (SIEMENS 社)

64 列 MDCT : LightSpeed VCT (VCT) (GE 社)

- ・ 金属球 (直径 11mm)
- ・ 金属球発射台 (自作)
- ・ 足部ファントム
- ・ 解析ソフト : Image J, Excel

III. 方法

1) TSP の取得

金属球発射台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高速で通過させる。短い時間間隔を得られるようにスライス間隔を設定し、再構成画像を得た。時間間隔 TI はスライス間隔 SI を寝台移動速度で除することで求めた。

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画像となる。その回転中心付近で帯の内側に ROI を設定し、CT 値を測定し、対応する時間との関係から TSP を得た。各 CT 装置において Table.1 に示した撮像条件で TSP を得た。

Table.1 撮像条件

ビームピッチ	
VCT:0.516, 0.984, 1.375	
Definition:1.0, 1.3, 1.5	
回転速度	
VCT:0.5sec., 0.8sec.	
Definition:0.33sec., 0.5sec.	
スライス厚	
VCT:0.625mm, 2.5mm, 5.0mm	
Ultra16:0.625mm, 1.25mm, 2.5mm, 5.0mm	

2) 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。

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

3) 足部ファントムの動態画像の撮影

造影剤用インジェクタを利用し、30ml シリンジに一定速度で水を注入して、そのプランジヤの力を利用して、足部ファントムを一定速度で移動させた。足部ファントムを動かしながら、VCT にてビームピッチ 0.516, 0.984, 1.375 としてそれぞれ撮影した。また、ビームピッチ 0.516 にてファントムが静止した状態での画像も撮影した。得られた画像の画質変化と時間 MTF の測定結果を比較し、検証した。

IV. 結果

1) ビームピッチによる比較

Fig.1 にビームピッチによる時間 MTF の測定結果を示す。VCT, Definition のいずれにおいてもビームピッチを増加させることで時間 MTF が向上した。Fig.2 は、周波数 1Hz 及び 2Hz における、ビームピッチと時間 MTF の関係のグラフである。VCT ではビームピッチ 1 以上において、1Hz では頭打ちの傾向があり、2Hz では向上した。一方、Definition ではビームピッチの増加に従って高周波側でより大きく時間 MTF が向上した。

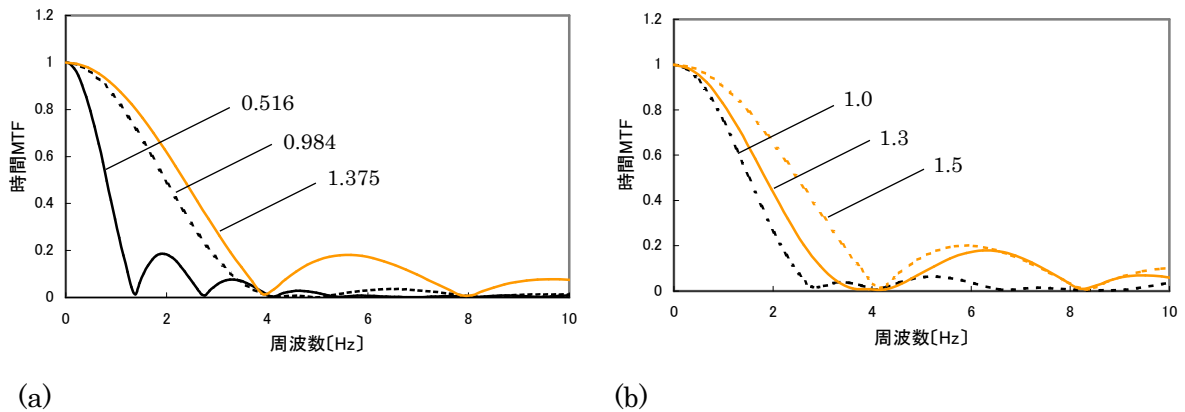


Fig.1 ビームピッチによる比較. (a)VCT, (b)Definition.

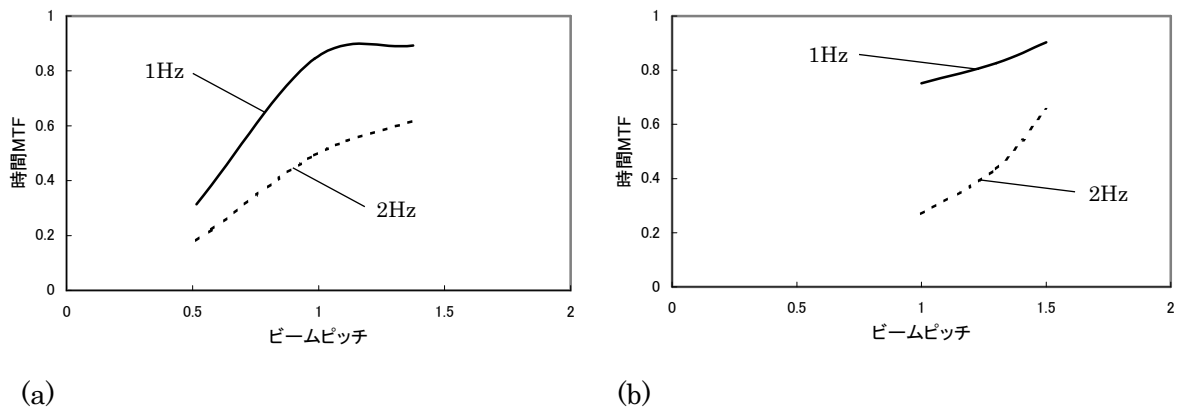
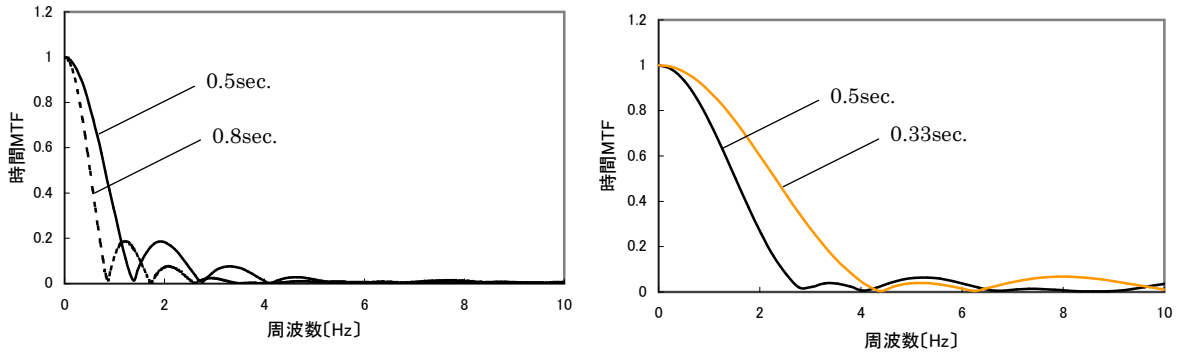


Fig.2 ビームピッチによる時間 MTF の推移. (a)1Hz, (b)2Hz.

2) 回転速度による比較

Fig.3 に回転速度による時間 MTF の測定結果を示す. VCT, Definition のいずれにおいても回転速度を速くすることで時間 MTF が向上した.

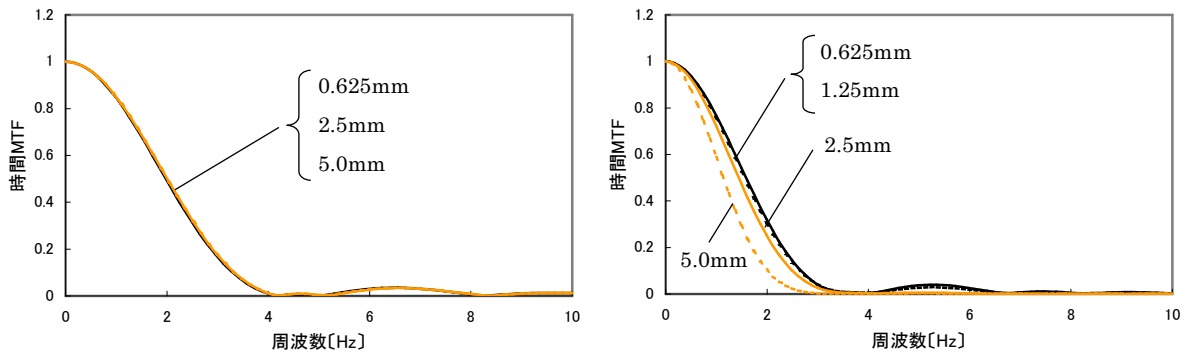


(a) (b)

Fig.3 回転速度による比較. (a)VCT(ビームピッチ : 0.516), (b)Definition(ビームピッチ : 1.0)

3) スライス厚による比較

Fig.4 にスライス厚による時間 MTF の測定結果を示す. VCT では優位な差は見られなかった. 一方, Ultra16 ではスライス厚が薄いほど時間 MTF が向上した.

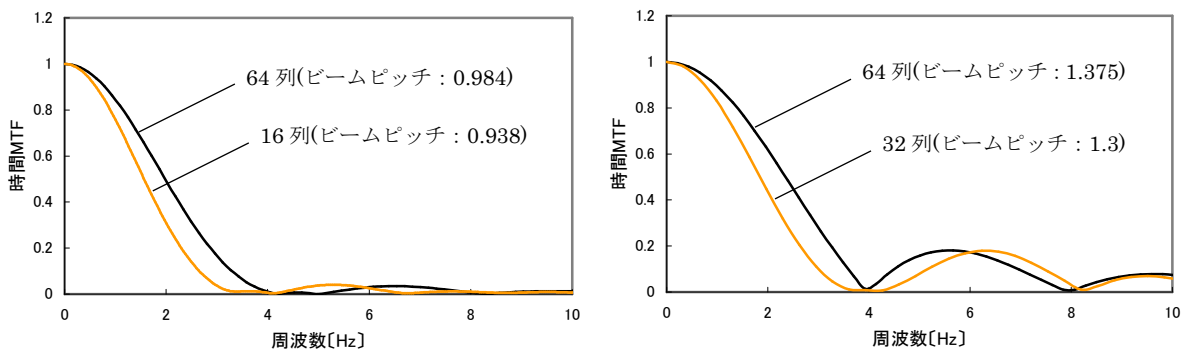


(a) (b)

Fig.4 スライス厚による比較. (a)VCT(ビームピッチ : 0.984), (b)Ultra16(ビームピッチ : 0.938)

4) 列数による比較

Fig.5 に列数による時間 MTF の測定結果を示す. 列数の多い 64 列のほうが時間 MTF が向上した.



(a) (b)

Fig.5 列数による比較. (a)64 列-16 列, (b)64 列-32 列

5) 動態ファントム撮影

Fig.6 に撮影した動態ファントム画像を示す. 静止画像に比べてビームピッチ 0.516 の動態画像は明らかに不鮮鋭な画像となった. ここで, ビームピッチを 0.984 に増加させることで不鮮鋭さが改善され, さらに, ビームピッチを 1.375 に増加させることで細部の描出能も向上した. これらの結果は Fig.1(a)の時間 MTF の結果と一致した.

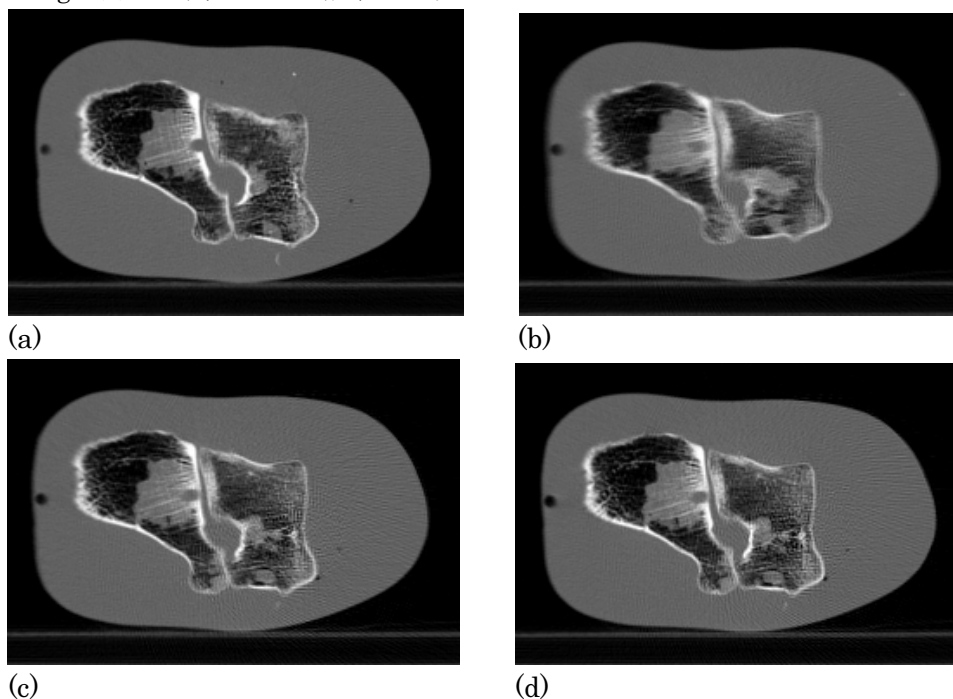


Fig.6 動態ファントムの撮影結果. (a)静止, (b)動態(ビームピッチ : 0.516), (c)動態(ビームピッチ : 0.984), (d)動態(ビームピッチ : 1.375)

V. 考察

TSP から時間領域の MTF が算出でき, 時間分解能のより詳細な解析が可能となった. また, ビームピッチ, 回転速度, スライス厚, 列数による変化をより定量的に評価でき, 装置ごとの変化の傾向を詳しく捉えることが可能となった. 動態ファントム撮影では, ビームピッチによる画質変化と MTF による周波数解析の結果は良い一致を示した. これにより, 時間 MTF が時間分解能を的確に示すことが示された.

VI. 結語

金属球を用いて測定した TSP より算出した時間領域の MTF により, CT の撮像条件と時間分解能の関係を詳細に求めることが可能となった.

VIII. 参考文献

- 1) 市川勝弘, 高田忠徳, 原孝則, 他 : CT における時間分解能の新しい測定法, 日本放射線技術学会雑誌 64(9) : 1172-1176, 2008
- 2) 辻岡勝美, 井田義宏, 大坪寛知, 他 : X 線 CT における time sensitivity profile(TSP)と測定法の開発—non helical scan, single slice helical scan, multi slice helical scan の比較—, 日本放射線技術学会雑誌 56(12) : 1461-1469, 2000