

### 3 LCDIによるロッドファントム検出能の測定

日本医療科学大学

○竹内佑樹 小川 互

#### 【諸言】

CT (Computed Tomography) 装置は開発されてからこれまでに着実に進歩し続け、近年では心臓CTも可能な高速かつ高性能なMDCT (Multi Detector-CT) が普及しつつあり、その応用症例が多岐に広がることで検査における重要性を確立している。

CTにおける重要な性能評価項目の一つに低コントラスト分解能がある。低コントラスト分解能は僅かなCT値の差を持つ物体を分離する能力の指標であり、現在は定量評価法としてCNR (contrast-to-noise ratio) が広く用いられている。しかし、CNRでは画像の周波数特性が考慮されていないため、再構成フィルタ関数の異なる画像間の評価に問題がある。市川らはCNRに代わる新たな評価指標としてLCDI (Low Contrast Detectability Index) を提唱した<sup>1)</sup>。LCDIはシステムのNPS (noise power spectrum) とMTF (modulation transfer function) を低コントラスト画像に反映させることで、ノイズや鮮鋭度の影響を考慮した指標であり、画像の周波数特性を的確に表していると考えられる。

今回、LCDIの有効性を評価することを目的に、LCDIの異なる模擬ロッドを埋め込んだ水ファントム画像試料を作成し、学生による観察実験を行った。その結果、LCDIと低コントラスト物体の検出率との間には、正の相関関係のあることが確認された。

#### 【LCDI算出方法】

市川らは、Looらの研究によるマッチドフィルタモデル<sup>2)</sup>を低コントラスト検出能の定量評価に応用した。マッチドフィルタモデルとは、信号の周波数成分とNPSのみを考慮するものであるが、視覚の周波数特性を考慮したものと相関を示すことが報告されており、信号の周波数成分を $S(u)$ 、MTFを $M(u)$ 、NPSを $N(u)$ とした時に(1)の式で表される。

$$SNR_M^2 = 2\pi \int_0^\infty \frac{uS^2(u)M^2(u)}{N(u)} \dots (1)$$

今回の実験では円形ロッドを用いるので、ロッドの直径 $d$ 、コントラスト $c$ 、一次の第一種ベッセル関数 $J_1$ を用いて、(1)の式中の $S(u)$ 、即ち信号の周波数成分は(2)の式で表される。

$$S(u) = \frac{\pi}{2} cd^2 \frac{\int_1(\pi du)}{\pi du} \dots (2)$$

そして、(1)の式で算出される指標値 $SNR_{M^2}$ を、Low Contrast Detectability Index (LCDI)として、低コントラスト物体における実際の検出率とLCDIの比較評価を行なった。

#### 【方法】

##### 1. LCDIの算出

CT装置は、2管球128列MDCTであるSOMATOM Definition Flash (シーメンス)を用いた。NPS測定には直径200mmの樹脂製円筒内に水を満たした水ファントムを用い、MTF測定にはそのNPS用水ファントム内にワイヤ径0.2mmの銅ワイヤを張ったワイヤファントムを用いた (MTF測定時にはFOV: 50mmとして十分に拡大した画像を用いた)。撮影条件は管電圧: 120kV、管電流: 200mAとし、回転速度: 1.0sec/rot、ヘリカルピッチ0.6にて撮影した。NPS測定用画像の画像再構成はFOV: 200mmにて再構成フィルタ関数B10、B30、B40を用い、指定スライス厚5mmの画像を5mm間隔にて、10枚の画像データを作成した。

NPSの算出方法はX方向に1ピクセル、Y方向に30ピクセルの仮想スリットを用いて、画像中心部256×256ピクセルのNPSデータを、再構成フィルタ関数ごとに10枚ずつの画像で平均し、一次元のNPSを求めた。MTFは金属ワイヤ法<sup>3~4)</sup>により、ワイヤのPSF (point spread function) を仮想スリットでLSF (line spread function) に変換し、これをフーリエ変換によりMTFを求めた。またLCDIは(1)式及び(2)式を用いて、0.01cycles/

mmごとの値を1.2cycles/mmまで積分して求めた。このとき、NPSとMTFの結果は線形補間により0.01cycles/mmの間隔に変換して求めた。

## 2. 検出率試験法

LCDIと実際の検出率を比較評価するため、水ファントムに任意径、任意コントラストの模擬ロッド（円形画像）を数値的に埋め込んだ画像で検出率試験を行なった。このとき、埋め込む模擬ロッドには測定されたMTFに従った周波数処理を行う必要がある。まず、模擬ロッドを埋め込みたい水ファントム画像の再構成フィルタ関数に応じたMTF（一次元）を二次元に変換する。次に、ピクセル値0のバックグラウンド画像上に任意サイズ、任意コントラストの円形画像を作成、それを二次元フーリエ変換し、スペクトル画像とする。二次元に変換したMTFとスペクトル画像を乗じ、それを二次元逆フーリエ変換することで、MTFによるボケを反映した模擬ロッド画像が作成できる。作成した29種類の模擬ロッドパターンと、そのLCDIを表1に示す。また模擬ロッドを埋め込む水ファントム画像はNPS測定用の10枚の画像をランダムに使い、模擬ロッドの加算位置は水ファントム画像の中心から50mm以内として、NPSとの整合性を計った。

観察者は学生15名を対象とし、模擬ロッドのあると思われる位置をマウスで指示し、それを記録する。模擬ロッドの埋め込まれた水ファントム画像はPCモニタに順に表示され、遮光とモニタまでの距離を一定に保つための専用の観察器を用いて実験を行なった。観察時間は1枚15秒とし、観察画像間にはブランク画像が表示される。また1つの画像に対して一回の試行としたが、観察者には予め訓練用の画像にてトレーニングを課した。

### 【結果】

図1にLCDIとDetectabilityの関係とその近似曲線及び相関係数 $R^2$ を示した。 $R^2$ の値は0.5523となり、正の相関があることを示している。また図2にMTFの測定結果を、図3にNPSの測定結果を示した。

### 【考察】

今回の実験では観察者が学生であり、個人差によるバラつきが大きくなると予想されたため、試料数ではなく観察者数を増やすことで個人による

バラつきを抑えた結果を得ようとした。しかし、結果的に全体としての相関は認められたものの、特定の試料においてLCDIと観察率に極端な差が認められるものがあった。この極端な差が認められるものはLCDIの低い模擬ロッド画像で多くみられたことから、模擬ロッドの直径が小さく、コントラストが低い場合に、ノイズの統計的な偏りによる局所的な低吸収域（または高吸収域）に模擬ロッドが埋め込まれることで、特異的に信号が消失（または出現）することが原因であると考えられる。今回用いたモニタはノートPCのモニタであり、高精細モニタと比較すると解像度や濃度分解能が劣るため、この現象が顕著にみられたと考える。

### 【結語】

考察で述べたように、今回の実験ではノートPCのモニタによる検出率測定の不確かさが結果に大きな影響を与えたため、LCDIと検出率との間に高い相関を求めることはできなかった。しかし、全体として正の相関があることは確認できたため、高精細モニタで観察実験を行うことにより、高い相関を得られることが期待できる。

また今回の実験における画像処理及びMTFやNPS、LCDIの算出はすべてImage-JとExcelにより行っており、一度手法を確立してしまえば簡便にLCDIを測定できると思われる。

- 1) 市川勝弘 原 孝則 丹羽伸次 山口 功 大橋一也：CTにおける信号雑音比による低コントラスト分解能の評価 医用画像情報学会雑誌 24(3), 106-111, 2007
- 2) Loo LN, Doi K and Metz CE : A comparison of physical image quality indices and observer performance in the radiographic detection of nylon beads, Phys Med Biol, 29 (7), 837-856, 1984.
- 3) 遠藤真広 飯沼 武 竹中栄一：ワイヤによるCT像の分解能の測定. 日本医放会誌 40, 43-51, (1980)
- 4) 市川勝弘 原 孝則 丹羽伸次 大橋一也：CTにおける金属ワイヤによるMTFの測定法 日本放射線技術学会雑誌 64(6), 672-680, 2008

フィルタ	d	c	LCDI
b30	2	7	5.297
b10	2	7	5.683
b40	2	7	5.646
b30	3	6	13.154
b10	3	5	10.139
b40	3	5	9.901
b30	3	7	17.904
b10	3	6	14.6
b40	3	6	14.258
b30	3	8	23.385
b10	3	7	19.873
b40	3	7	19.407
b30	3	9	29.596
b10	3	9	32.851
b40	3	9	32.08
b30	4	7	40.09
b10	3	10	40.557
b40	4	7	45.402
b30	4	8	52.363
b10	4	7	47.666
b40	3	12	57.031
b30	4	9	66.272
b10	3	12	58.401
b40	6	5	74.402
b30	6	6	83.969
b10	5	6	67.324
b40	5	7	86.709
b30	5	7	72.241
b10	6	5	78.352

表1：模擬ロッドパターンごとのLCDI

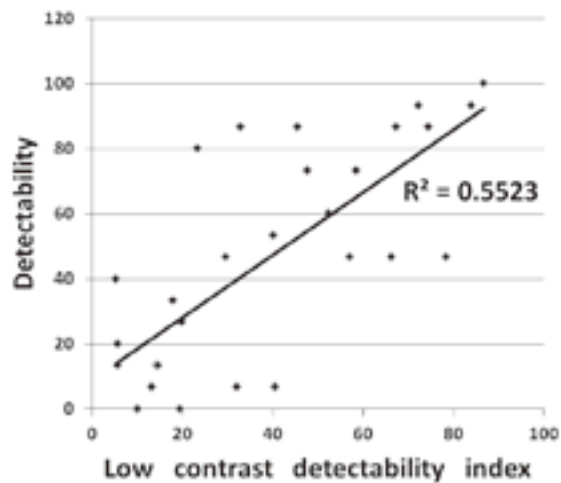


図1：LCDIとDetectabilityの関係

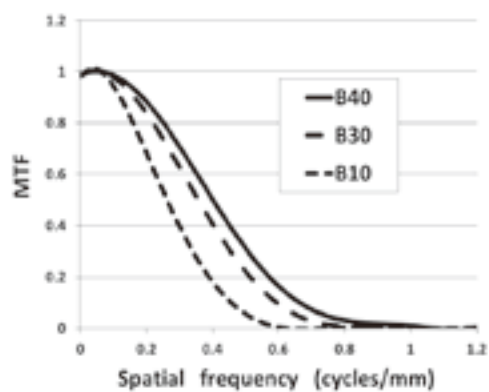


図2：MTF測定結果

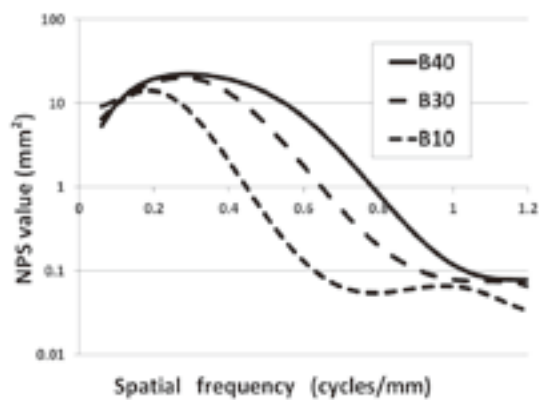


図3：NPS測定結果