

# 16列マルチスライス CT 装置における自作デジタルファントムを用いた超低コントラスト分解能の評価

——急性期脳梗塞の CT 画像所見の検出を目的とした  
撮影条件の適正化に関する基礎的検討——

須永 眞一<sup>1)</sup>, 長島 宏幸<sup>2)</sup>, 小林 誠<sup>1)</sup>, 中重 富夫<sup>1)</sup>, 小屋 栄一<sup>1)</sup>

根岸 徹<sup>2)</sup>, 白石 明久<sup>2)</sup>, 川島 康弘<sup>3)</sup>, 原川 哲美<sup>4)</sup>

1) 桐生厚生総合病院 放射線科

2) 群馬県立県民健康科学大学 診療放射線学部 診療放射線学科

3) 前橋赤十字病院 放射線科部

4) 前橋工科大学 工学部 システム生体工学科

**目的：**我々は、CT 装置における超低コントラスト分解能を評価するためのデジタルファントムを作成し、急性期脳梗塞の CT 検査における撮影条件の適正化を検討した。

**方法：**管電流時間積を変化させて水ファントムを撮影し、得られた水ファントム画像から、画像処理技術によって作成した超低コントラスト分解能用デジタル画像データを減算して、デジタルファントムを作成した。その後、デジタルファントムのウインドウ幅を変化させて観察者実験を行い、超低コントラスト分解能について評価した。

**結果：**超低コントラスト分解能を評価できるデジタルファントムを簡易的に低コスト且つ短時間で作成できた。また、頭部 CT 画像における撮影条件が、超低コントラスト分解能に及ぼす影響を定量的に求めることができた。

**結論：**本研究において、本施設、本装置の最適な撮影条件を決定するための指標が得られ、急性期脳梗塞の CT 検査における撮影条件の適正化の一助となる可能性が高い。

**キーワード：**頭部 CT 画像, 急性期脳梗塞, 早期 CT サイン, 超低コントラスト分解能, デジタルファントム

## I. 緒 言

三大死因の一つである脳血管疾患は、高齢化社会が進む中で年々増加傾向にあり、要介護性疾患の首位を占めている<sup>1)</sup>。脳血管疾患の7～8割を占める脳梗塞の急性期における画像診断には、CT 検査が施行されている。急性期脳梗塞に対する CT 検査は、これまで虚血領域の検出を目的とせず、脳出血や脳腫瘍などの除外診断が主体となっていたが、マルチスライス CT 装置の登場と検出器の改善により低コントラスト分解能が向上

し、脳虚血の初期段階で早期 CT サインを描出できるようになった。早期 CT サインは、発症後6時間以内に出現するレンズ核の不明瞭化、脳溝の消失、および皮髄境界の消失を伴う画像所見である。しかし、これら画像所見は、脳実質部に低吸収域として見られる非常に薄い陰影であるため、CT 画像を慎重に判読しないと見落とされることがあり、観察者間で認識に差が生じると報告されている<sup>2)3)</sup>。また、早期 CT サインの判読に関しては、臨床経験と CT 検査の撮影条件および画像表示条件により改善されうると報告されている<sup>4)</sup>。

さらに、超急性期脳梗塞に対する局所線溶療法の効果に関する臨床研究班である MCA-Embolism Local Fibrinolytic intervention Trial (MELT-Japan) は、CT 検査の撮影条件について、メーカーや機種によって至適撮影条件が異なるため、明確な基準を定めていないが、十分なコントラストを得るために、装置ごとの最適な撮影条件でスキャンするよう勧告している<sup>5)</sup>。

これまで、CT 画像における低コントラスト分解能の評価は、様々な研究報告がなされており<sup>6-9)</sup>、一般的に CT 値の差が最小 5 Hounsfield units (HU) の信号を用いた性能評価ファントムが使用されている。急性期脳梗塞における脳実質部の CT 値の低下は、含水量の 1% の変化において CT 値が 2.6HU 低下し<sup>2)</sup>、また、発症後 1~3 時間での虚血領域における周辺組織との CT 値の差 (CT 値差) は、2 HU 程度であると報告されている<sup>9)</sup>。よって、急性期脳梗塞をシミュレーションした低コントラスト分解能の評価を行う場合、既存の性能評価ファントムは適応外となる。原らは、周辺部との CT 値差が 2 HU となる固形ファントムを作成し、低コントラスト分解能の評価を行っている<sup>10)</sup>が、汎用性に関して乏しいと思われる。

そこで、われわれは、画像処理技術を用いた超低コントラスト分解能用デジタルファントムを作成し、撮影条件における管電流時間積 (mAs 値)、および画像表示条件であるウインドウ幅 (WW) が超低コントラスト分解能に及ぼす影響について検討したので報告する。

## II. 方 法

### 1. 使用機器

CT 装置：マルチスライス CT Light Speed Ultra 16DAS (GE 横河メディカルシステム株式会社)

水ファントム：頭部用 QA PHANTOM 22cm $\phi$

(GE 横河メディカルシステム株式会社)

画像処理ソフト：Visual C++ 6.0 (Microsoft)

画像観察モニタ：2M color monitor (TOTOKU)

### 2. 水ファントムの撮影

水ファントムを専用支持台にセットし、ファントム中心を CT ガントリ内中心に設定した。管電圧 120kV、スキャン時間 2 秒/rot、スライス厚 10 mm、画像再構成フィルタ関数を Standard にて、mAs 値を 100, 200, 400, 600, および 800mAs と変化させ、同一スライス面をコンベンショナルスキャンモードにて撮影し、全 5 種類の水ファントム画像を収集した。なお、mAs 値以外の撮影条件は、本施設で採用している頭部 CT ルーチン検査の撮影条件とした。

### 3. デジタルファントムの作成

画像処理ソフトを用いて、まず、方法 2. で得られた水ファントム画像を、CT 値 0 HU を中心とした 256 階調 (-128HU~127HU) の画像に変換処理した。なお、本変換処理による CT 値の変化はない。次に、既存の性能評価低コントラスト分解能用ファントム<sup>11)</sup>の各信号の位置および直径を擬似したデジタル画像データを作成した。なお、信号の直径は、2, 3, 5, 7, 10, 14, および 20mm まで 7 段階変化させた。また、デジタル画像データのマトリックス寸法は、512 $\times$ 512 とし、背景の画素値を 0 に、信号の画素値を 1 から 4 まで 4 段階に変化させた。その後、256 階調の水ファントム画像から作成したデジタル画像データを減算処理させ、ウインドウレベルを 0、ウインドウ幅 (WW) を 40, 60, 80, 100, および 120 と変化させて、デジタルファントム画像を作成した。図 1 に、作成した超低コントラスト分解能用デジタルファントム画像を示す。

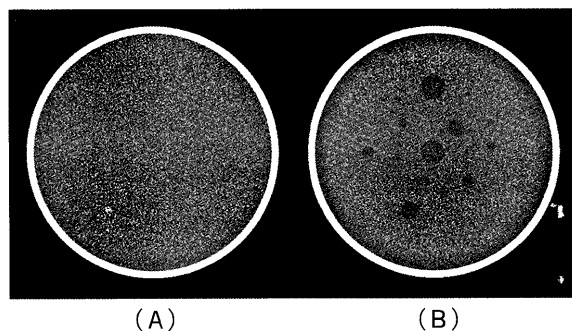


図1 作成した超低コントラスト分解能用デジタルファントム画像

(A)撮影条件は、100mAs、フィルタ関数 Standard で、CT 値差 1 HU である。(B)撮影条件は、800mAs、フィルタ関数 Standard で、CT 値差 4 HU である。

#### 4. 画像評価

作成したデジタルファントムを用いて、臨床経験が2年から30年の8名の診療放射線技師による観察者実験を行った。観察者は、あらかじめ評価基準が一定となるようトレーニングを行い、その後、作成したデジタルファントム画像に対し、識別できる最小直径 ( $d_x$ ) の信号  $N$  個のうち何個 ( $M$  個) 識別できるかを評価した。なお、判断基準は、信号領域の陰影の半分以上認識できれば「判別できる」とした。低コントラスト分解能 ( $DD_x$ ) は、以下の式 (1) および (2) に従って算出した<sup>6)</sup>。

$$\begin{aligned} M = N \text{ のとき} \\ DD_x = d_x \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} M \neq N \text{ のとき} \\ DD_x = d_{x+1} - (d_{x+1} - d_x) \times M/N \end{aligned} \quad (2)$$

なお、 $d_{x+1}$  は、 $d_x$  より 1 段大きい直径である。画像観察は、臨床にて読影業務に利用されている液晶モニタを使用した。観察距離は自由とし、観察時間は 1 つの直径の信号につき 15 秒程度とした。

### III. 結果

図2に、WW の変化における mAs 値と低コン

トラスト分解能の関係を示す。図2(A)は、周辺部と信号領域の CT 値の差が 1 HU となるデジタルファントム画像を用いて視覚評価した結果を、図2(B)、図2(C)、および図2(D)は、それぞれ CT 値差 2 HU, 3 HU, および 4 HU の結果を示す。なお、これらの結果の曲線は、累乗近似式にて求め、相関係数が 0.8 以上、相関係数の有意確率  $P$  値が 0.05 以下となったため、本研究ではこの近似式を利用した。結果より、低コントラスト分解能は、mAs 値の上昇、CT 値差の増加、および WW の狭小化により向上した。また、WW が及ぼす低コントラスト分解能の影響は、CT 値差の増加により軽減された。

図3に、WW の変化における CT 値差と低コントラスト分解能の関係を示す。図3(A)および図3(B)は、図2をもとに、当施設のルーチン検査で使用している 360mAs、および最大 mAs 値である 800mAs での低コントラスト分解能を、それぞれの WW で算出した結果を示す。なお、本施設では、急性期脳梗塞に対する CT 撮影条件の見直しを検討するため、上記 mAs 値とした。360mAs において、CT 値差 1 HU, 2 HU, および 2.6HU の信号が識別できる最小直径をグラフ上から読み取った結果、WW が 40 のとき、それぞれ 14.0mm $\phi$ , 6.5mm $\phi$ , および 4.9mm $\phi$  となった。また、800mAs では、CT 値差 1 HU, 2 HU, および 2.6HU の信号が識別できる最小直径は、WW が 40 のとき、それぞれ 11.6mm $\phi$ , 5.2mm $\phi$ , および 3.8mm $\phi$  となった。

### IV. 考察

近年、CT 検査における医療被ばくが社会問題として取り上げられている。本研究で対象とした急性期脳梗塞の CT 検査では、画質および診断精度が患者の生死を分ける重要なポイントになる可能性があるため、患者にとって有益且つ適正な検査を施行することが診療放射線技師の責務と考える。これまでの CT 画像における低コントラスト

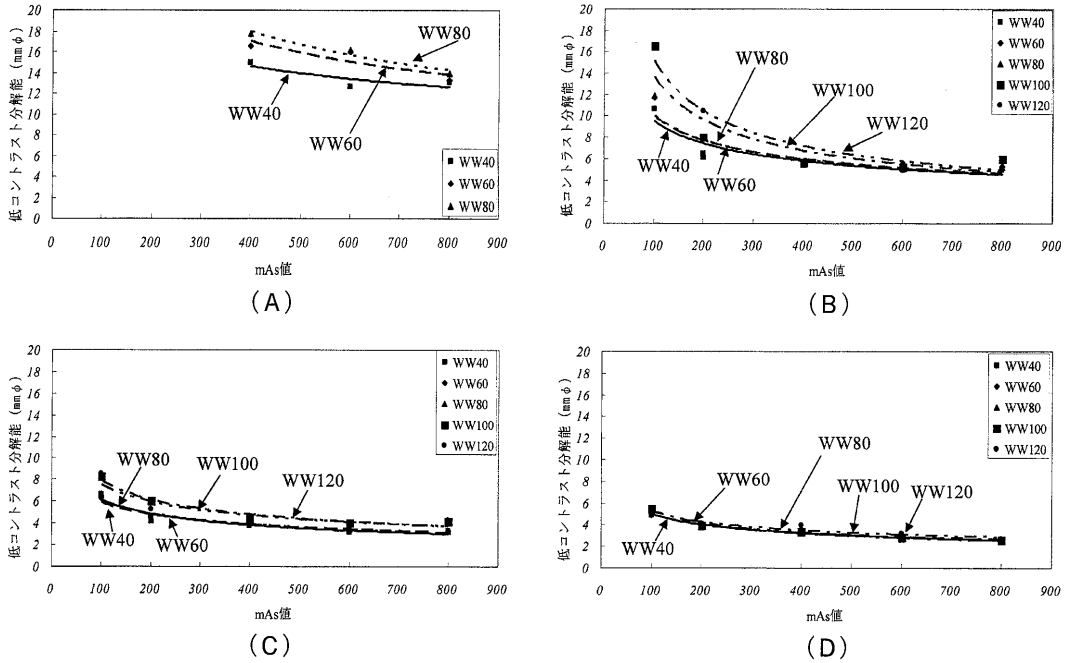


図2 WWの変化における mAs 値と低コントラスト分解能の関係  
 (A), (B), (C), および(D)は、それぞれ CT 値差 1 HU, CT 値差 2 HU, CT 値差 3 HU, CT 値差 4 HU となるデジタルファントム画像を用いて視覚評価した結果である。

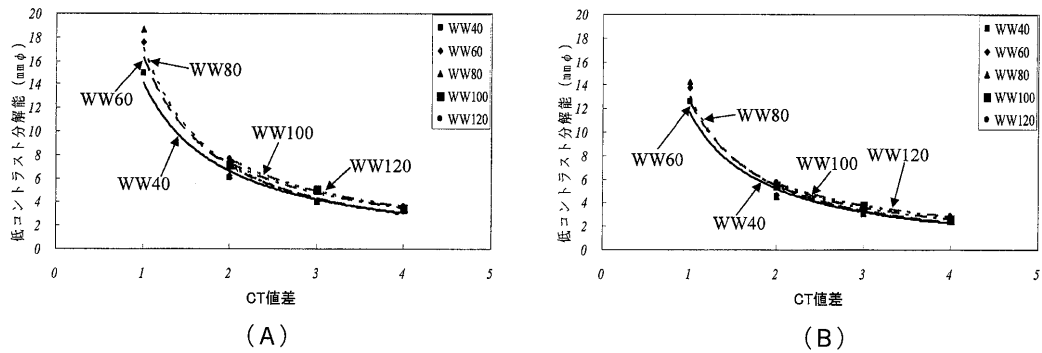


図3 WWの変化における CT 値差と低コントラスト分解能の関係  
 (A)360mAs, (B)800mAs

分解能の評価は、CT 値差が最小で 5 HU となるファントムを用いて実施されていたが、急性期脳梗塞の CT 画像を対象とした場合、適応外であった。本研究では、急性期脳梗塞の CT 画像における低コントラスト分解能の評価に適応したデジタルファントムを作成し、撮影条件の適正化について検討を行った。

今回、簡易的に超低コントラスト分解能の評価を行えるデジタルファントムを低コスト且つ短時間に作成することができた。今後、直径の大きい

水ファントム画像との減算処理により、腹部領域の超低コントラスト分解能用デジタルファントムの作成に努めていきたいと考えている。

本研究結果において、低コントラスト分解能は WW を狭めることにより改善したが、CT 値差 4 HU における評価では、ほとんど変化が見られなかった。この結果は、WW を狭めることによって生じるノイズ成分の強調度合いが、CT 値差 4 HU 以上の信号検出には影響しないことを示している。また、CT 値差 2 および 3 HU における評価で

は、mAs 値の低下により、WW の変化で低コントラスト分解能が大きく変動した。小川らは<sup>9)</sup>、急性期脳梗塞の CT 画像所見は、CT 値差が 1～3 HU 程度であると報告している。したがって、急性期脳梗塞における CT 撮影条件の適正化には、WW を可能な限り狭めた 40 における mAs 値の検討を行う必要があると言える。

本研究では、当施設のルーチン撮影条件である 360mAs と最大 mAs 値である 800mAs における低コントラスト分解能に及ぼす影響について検討した。結果より、360mAs において、CT 値差 1 HU, 2 HU, および 2.6HU の信号が識別できる最小直径は、WW40 でそれぞれ 14.0mm $\phi$ , 6.5mm $\phi$ , および 4.9mm $\phi$  となり、800mAs では、それぞれ 11.6mm $\phi$ , 5.2mm $\phi$ , および 3.8mm $\phi$  となった。脳梗塞における CT 値差は、急性期で 2.6HU, 超急性期で 2 HU 程度であるという報告<sup>2)9)</sup> を用い、上記結果を検討すると、現在のルーチン撮影条件では 6.5mm $\phi$  以下、最大 mAs 値では 5.2mm $\phi$  以下の超急性期脳梗塞陰影は、見落とされる可能性があるということになる。Abe らは、シルビウス裂に面する脳表部分の皮髄境界が局所範囲で同吸収域になり、このサインを見落とさないよう喚起している<sup>12)</sup>。本研究では実際の頭部 CT 画像と異なる水ファントムを用いた評価であるが、超急性期脳梗塞の早期 CT サインの判読には、800mAs の出力線量を用いることで、改善につながる可能性があると考えられた。また、内山らは<sup>13)</sup>、重篤な脳梗塞との関係が示唆されているラクナ梗塞の MRI 画像における検出法の開発を試みており、3 mm 以上 15mm 未満の 93箇所 のラクナ梗塞を対象としている。この報告より、本研究で使用した水ファントムによる評価では、3 mm  $\phi$  の信号陰影は、CT 値差 1 HU および 2 HU では検出できず、CT 値差 3 HU において、WW40 で 800mAs, CT 値差 4 HU においては、WW40 で 500mAs 以上の出力線量が検出するために必要となる。これらの結果よ

り、本施設のルーチン撮影条件は、急性期脳梗塞の CT 画像所見の検出を目的とした場合、見直す必要があることが示唆された。

検討課題として、超低コントラスト分解能用デジタルファントム画像は、水ファントムを利用して作成されているため、ほぼ均一な CT 値分布を呈しており、また、周辺部に高吸収物質が存在しないため、線質硬化の影響も軽減されている。よって、本評価結果は、臨床画像における低コントラスト分解能の評価結果に比べ、過大評価となることが推測される。今後、臨床で撮影された正常症例の CT 画像とデジタル画像データとの減算処理により、臨床画像用デジタルファントムを作成し、本研究と同様に低コントラスト分解能の定量的評価を試みていきたいと考えている。

## V. 結 論

本研究では、急性期脳梗塞の CT 画像を対象に、超低コントラスト分解能の評価を簡易的に行えるデジタルファントムを開発し、撮影条件における適正化を検討した。その結果、WW について最適条件を求めることができ、mAs 値については、脳梗塞の発症時間および発生機序にもよるが、CT 画像所見の見落としを防止するために、できる限り高い出力線量でのスキャンが望まれる結果となった。以上の結果より、CT 検査における撮影条件である mAs 値および WW が超低コントラスト分解能に及ぼす影響を定量的に求めることができ、本研究は、本施設、本装置の最適な撮影条件を決定するための一助となる可能性が高いと考ええる。今後は、その他の撮影条件（管電圧、スライス厚など）についても詳細に検討したいと考えている。

なお、本研究は、日本医学物理学会第 93 回学術大会（横浜）にて発表した。

## 【引用文献】

- 1) 緒方利安, 岡田 靖: 急性期脳梗塞の画像診断再入門 急性期脳梗塞の診療と画像診断の役割. 画像診断 25 (12); 1448-1453
- 2) 成富博章 (2001): 脳梗塞急性期—Brain attack 時代の診断と治療, p.25-31, 医歯薬出版株式会社, 東京
- 3) 前田正幸(2005): 急性期脳梗塞の画像診断再入門 頭部CTの臨床的意義と課題—血栓溶解療法を行うにあたり—. 画像診断 25 (12); 1454-1462
- 4) 橋本洋一郎(2003): 脳卒中を防ぐ—病診連携の最前線, p.81-104, 南山堂, 東京
- 5) 井上 敬, 小川 彰(2007): 脳梗塞超急性期局所線溶解法の有効性—MELT-Japan (MCA-Embolic Local Fibrinolytic Intervention Trial-Japan) Study. 脳卒中 29; 695-698
- 6) 村松禎久, 三塩宏二, 松田幸広(1994): 最近のエックス線CT装置の動向—X線発生方式による被曝線量と低コントラスト分解能との関係—. 日本放射線技術学会雑誌 50 (1); 21-27
- 7) 吉澤 寿, 安部真治, 小倉 泉(2001): X線CT装置における低コントラスト分解能の客観的評価. 東京保健科学学会誌 3 (4); 251-256
- 8) 長島宏幸, 池長 聡, 下瀬川正幸ほか(2002): X線CT装置における撮影条件と画質の評価. 群馬県立医療短期大学紀要 9; 21-29
- 9) 小川正人 (2006): 急性期脳梗塞の単純CTについて—低コントラスト分解能—. 日本放射線技術学会雑誌 62 (10); 1377-1379
- 10) 原 秀剛, 井上年幸(2006): 頭蓋内疾患評価用X線CTファントムの試作—急性期脳梗塞模擬モデルの評価—. Jpn J Med Phys 26 (3); 183-184
- 11) 竹中栄一, 飯沼 武, 遠藤真広(1989): X線コンピューター断層撮影装置の性能評価に関する基準 (第2次勧告). 日本医師会雑誌 88 (8); 759-771
- 12) Toshi Abe, Masaru Hirohata, Yusuke Uchiyama, et al (2006): Current status of neuroimaging in emergency medicine. 日獨医報 51 (1); 20-29
- 13) 内山良一, 松井 篤, 横山龍二郎ほか(2007): 脳MRにおけるラクナ梗塞の検出法. 電気情報通信学会論文誌D 情報・システム 90 (7); 1820-1829

# **Evaluation of Ultra-Low Contrast Resolution Using a Digital Phantom of Our Own Making in 16-Section Multi-Detector Row Computed Tomography :**

## **Basic Study of Suitable Scan Parameters for Recognition of Subtle Findings of Acute Ischemic Stroke in Brain CT**

Shinichi Sunaga<sup>1)</sup>, Hiroyuki Nagashima<sup>2)</sup>, Makoto Kobayashi<sup>1)</sup>,  
Tomio Nakajyu<sup>1)</sup>, Eiichi Koya<sup>1)</sup>, Toru Negishi<sup>2)</sup>, Akihisa Shiraishi<sup>2)</sup>,  
Yasuhiro Kawashima<sup>3)</sup>, Tetsumi Harakawa<sup>4)</sup>

- 1) Department of Radiology, Kiryu Kosei General Hospital.
- 2) School of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences.
- 3) Department of Radiology, Maebashi Red Cross Hospital.
- 4) The Department of Information Engineering, Maebashi Institute of Technology.

**Objectives :** In this study, digital phantoms for evaluation of ultra-low contrast resolution in CT were created, and CT scan parameters suitable for acute ischemic stroke were evaluated.

**Methods :** The water phantom was first scanned using different mAs values. The digital phantom images were then derived by subtracting the digital image data for evaluation of ultra-low contrast resolution created using an image processing method from the obtained water phantom images. The digital phantom images, which changed the window width of the image display conditions, were displayed on the liquid crystal display monitor, and the observer study was performed in order to evaluate ultra-low contrast resolution.

**Results :** In this study, the digital phantom images for evaluation of ultra-low contrast resolution could be created easily at low cost and in a short time. In addition, quantification of the relationship between the scan parameters in brain CT and ultra-low contrast resolution was made possible.

**Conclusions :** The fundamental data for determining the optimal CT scan parameters for acute ischemic stroke in our institution using our CT scanner were obtained. Therefore, this study may be useful for reconsidering the CT scan parameters suitable for brain CT.

**Key words :** Brain Computed Tomography (CT) Image, Acute Ischemic Stroke, Early CT Sign, Ultra-Low Contrast Resolution, Digital Phantom