原 著

脳 CT 画像における低コントラスト検出能の 定量的評価：超急性期脳梗塞の識別に対する ウィンドウ幅の影響に関する検討

長島宏幸¹⁾・岩崎隆史²⁾・須永眞一³⁾・後閑隆之⁴⁾・藤井雅典⁵⁾
佐藤 慶⁶⁾・根岸 徹¹⁾・白石明久¹⁾・小倉敏裕¹⁾・土井邦雄¹⁾

論文受付
2011年 6 月28日

論文受理
2011年10月 3 日

Code Nos. 251
522

1)群馬県立県民健康科学大学診療放射線学部

2)慶友整形外科病院画像診断科

3)桐生厚生総合病院放射線科

4)中央群馬脳神経外科病院放射線科

5)老年病研究所附属病院画像診断部

6)社会保険群馬中央総合病院放射線科

緒 言

超急性期脳梗塞における computed tomography (CT)検査は、これまで脳内出血や脳腫瘍などの除外診断が主体であったが、マルチスライス CT 装置の登場により、薄いスライス像を加算するスタックス

キャンが利用でき、さらに、画像再構成に利用される投影数の増加と検出器の改善も加わって、低コントラスト検出能が向上したため、脳虚血の初期段階で皮髄境界の消失、レンズ核・島皮質の不明瞭化、脳溝の消失・狭小化のような早期虚血変化を描出できるよう

Quantitative Evaluation of Low Contrast Detectability in a Brain Computed Tomography: Investigation for the Effect of Window Width on Recognition of Hyperacute Ischemic Stroke

Hiroyuki Nagashima,¹⁾ Takahumi Iwasaki,²⁾ Shinichi Sunaga,³⁾ Takayuki Gokan,⁴⁾ Masanori Fujii,⁵⁾ Kei Sato,⁶⁾ Toru Negishi,¹⁾ Akihisa Shiraishi,¹⁾ Toshihiro Ogura,¹⁾ and Kunio Doi¹⁾

1) Gunma Prefectural College of Health Sciences

2) Keiyu Orthopaedic Hospital

3) Kiryu Kosei General Hospital

4) Central Gunma Neurosurgical Hospital

5) Geriatrics Research Institute and Hospital

6) Gunma Chuo General Hospital

Received June 28, 2011; Revision accepted October 3, 2011; Code Nos. 251, 522

Summary

In diagnostic brain computed tomography (CT) imaging of hyperacute ischemic stroke, the recognition of subtle lesions is difficult and may be missed. The aim of this study was to evaluate quantitatively the effect of the window width on low contrast detectability by using digital phantom images intended for detection of hyperacute ischemic stroke, and clinical CT images. We first derived the digital phantom images by subtracting the simulated signal data (intensity=1–3 hounsfield units (HU), diameter=10–30 mm) from the water phantom images at various mAs values. Observer studies were then performed under the various window widths at 20, 40, 60, and 80 HU by using the 30 digital phantom images and the 30 water phantom images. In addition, observer studies on brain CT images with 30 abnormal cases and 30 normal cases were performed under the window widths at 20 and 80 HU. Studies were also performed under the simultaneous display of the set of brain CT images on each window width. As a result of evaluation by receiver operating characteristic analysis, narrowing of the window width can improve the low contrast detectability in CT images with noticeable noise, and can decrease the variation in the interpretation skills between observers in clinical CT images. Moreover, the interpretation accuracy was improved by displaying simultaneously the clinical CT image set on window widths at 20 and 80 HU.

Key words: computed tomography (CT), hyperacute ischemic stroke, window width (WW), low contrast detectability, receiver operating characteristic (ROC) analysis

別刷資料請求先：〒 371-0052 前橋市上沖町 323-1
群馬県立県民健康科学大学 長島宏幸 宛

になった。しかし、CT 画像上の早期虚血変化は、非常に淡い低吸収域を呈するため、視覚的に識別しにくく、不適切な撮影条件下で撮影された場合には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¹⁻³⁾。また、各施設で撮影され、the European cooperative acute stroke study(ECASS)に登録された 620 症例の脳 CT 画像において、画像不良な症例が 20%存在したと報告されている⁴⁾。したがって、施設ごとでの超急性期脳梗塞を対象とした CT 検査における至適撮影パラメータの設定が必要である。

これまで、脳 CT 画像における低コントラスト検出能の向上を目的とした、線質に関わる管電圧や、画像ノイズに関わるスキャン方式、X 線出力、スライス厚、および画像再構成関数などの撮影パラメータの最適化に関する研究は、数多く報告されている⁵⁻¹¹⁾。また、middle cerebral artery embolism local fibrinolytic intervention trial Japan(MELT Japan)では、脳 CT 検査における撮影条件と画像表示条件の標準化を行い、さらに、読影訓練プログラムを用意して、早期虚血変化に対する検出能の向上を図っている¹²⁾。MELT Japan の報告の中で、画像表示条件であるウィンドウ幅(window width; WW)の設定は、80 hounsfield units (HU) 以下とすることが推奨されている。一方、臨床画像における主観的評価により、WW を狭くして観察することが有効であるという報告がされている^{13, 14)}。また、Lev らは、超急性期脳梗塞症例が含まれた 30 例の CT 画像の WW を 8 HU に初期設定し、神経放射線科医 2 名が WW を 1~30 HU まで変化させながら観察した結果、WW を 80 HU に設定した表示条件に比べて、読影精度が向上したと報告している¹⁵⁾。しかし、この報告は、シングルスライス CT 装置で撮影された画像を利用した結果であり、また、全症例に対して同一の撮影条件で撮影されているため、WW の変化が画像ノイズの異なる CT 画像の信号検出能に及ぼす影響についての検討はなされていない。さらに、観察者実験に利用した症例数や観察者数が少ないため、統計的な信頼性に疑問が残る。これまで、超急性期脳梗塞の CT 画像における表示条件の最適化に関する研究報告は、Lev らの報告以外に存在せず、画像ノイズが変化した CT 画像における WW が及ぼす信号検出能の影響に関する基礎的な研究報告はされていない。

われわれは、管電流時間積(mAs 値)を変化させて撮影した水ファントム画像を用いて、超急性期脳梗塞を対象とした低コントラスト検出能を評価するためのデジタルファントム画像を作成し、WW が低コントラスト検出能に及ぼす影響についてシミュレーション実験を行った。また、マルチスライス CT 装置で撮

影された、超急性期脳梗塞症例が含まれる 60 例の CT 画像を用いて、10 名の観察者による receiver operating characteristic(ROC)実験を施行し、WW の違いにおける読影精度への影響について検討したので報告する。

1. 方 法

1-1 デジタルファントム画像を用いた実験

超急性期脳梗塞を対象とした CT 検査における撮影パラメータの最適化に関する研究は、主に CT 値の差が最小 5 HU の信号を用いた性能評価ファントムを用いて検討されている^{7, 11)}。しかし、超急性期脳梗塞を伴う脳実質部の CT 値は、含水量の 1%の変化において 2.6 HU 低下し¹⁾、また、発症してから間もない虚血領域における周辺組織との CT 値の差(CT 値差)は、1~3 HU 程度であると報告されている⁷⁾。したがって、超急性期脳梗塞をシミュレーションした低コントラスト検出能の評価を行う場合、既存の性能評価ファントムでは適応外となる。原ら¹⁶⁾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おり、極めて有用な研究であると考ええる。しかし、各施設で簡便に利用できるものではなく、汎用性に関して乏しいものと推測する。本研究では、既存の水ファントムを撮影した CT 画像と画像処理技術を用いて作成した信号画像からデジタルファントム画像を作成し、WW が低コントラスト検出能に及ぼす影響について検討した。

1-1-1 デジタルファントム画像の作成

本研究では、4 data acquisition system(DAS)のマルチスライス CT 装置(Light Speed Plus:GE 横河メディカルシステム社製)を使用した。まず、既存の京都科学社製の性能評価ファントム(JIS Z4923 200 mmφ)を専用支持台に配置し、ファントム中心を CT ガントリ内中心に設定して画像ノイズ評価用のスキャン位置を撮影し、ノイズ画像を収集した。撮影条件は、スキャンモード:コンベンショナル、管電圧:120 kV、再構成スライス厚:10 mm(2.5 mm×4 DAS)、再構成関数:STANDARD、FOV:200 mm 一定にて、mAs 値(表示 CTDI_w)を 200(37.55 mGy)、400(75.11 mGy)、600(112.66 mGy)、800 mAs(150.21 mGy)と変化させた。なお、管電流は、200 mA に固定した。また、各 mAs 値において、30 画像を収集した。次に、Microsoft 社製のプログラミングソフト(Visual C++6.0)を用いて、512×512 マトリクス内の画素値を 0 にし、その中に陽性像となる信号陰影を 1 個配置させた画像を作成した。なお、信号陰影の直径は、後述の 1-2 で利用した超急性期脳梗塞症例における虚血領域の最小径が約 10 mm であったこと、また、事

Fig. 1 Digital phantom images scanned with 200 mAs. The diameter and intensity of signal in a image are 30 mm and 3 respectively.

Fig. 2 Digital phantom images scanned with each current time product: (a) 200 mAs, (b) 800 mAs. The diameter and intensity of signal in each image are 30 mm and 2 respectively.

a | b

前実験において信号径の異なるデジタルファントム画像を用いた視覚的評価を実施した結果、信号径が30 mm以上では信号検出能が一定となったことから、10, 15, 20, 25, 30 mmと変化させ、信号コントラストは、1, 2, 3と変化させた。そして、計15種類の信号が配置された画像を2セット、計30画像を用意した。なお、信号の位置は、乱数を用いて決定させた。最後に、撮影したノイズ画像と信号画像の減算処理によりデジタルファントム30画像を作成した。Fig. 1に、200 mAsで撮影された信号コントラストが3のデジタルファントム画像を、Fig. 2に、各mAs値で撮影された信号コントラストが2のデジタルファントム画像を示す。

1-1-2 画像評価

1-1-2-1画像ノイズの測定

mAs値の異なる4条件の各ノイズ画像30画像から5画像を選択し、画像の中央部および周辺部4カ所に直径40 mmの円形ROIを設定してROI内の画素の標準偏差(standard deviation; SD)を求め、mAs値ごとに加算平均した。

1-1-2-2ROC解析

観察者実験は、まず、観察者に対し、あらかじめ評価基準が一定となるようにトレーニングを行った。各mAs値におけるデジタルファントム画像30画像とノイズ画像30画像、計60画像を高精細21.3型liquid crystal display(LCD)モニタ(MS 35i2 3M monochrome: TOTOKU社製)にランダムに表示し、WWを20, 40, 60, 80 HUに設定した際の連続確信度法を用いた観察者実験を暗室下で実施した。なお、観察者には、撮影条件に関する情報は提示していない。また、表示する各条件の順番も観察者ごとにランダムにした。画像観察における時間的間隔は、

各条件間で3日以上空くよう設定した。視覚評価した観察者は、16年および42年の臨床経験をもつ2名の診療放射線技師と、本施設に在籍する5名の学部生の計7名である。学生が視覚評価を行った理由は、事前に観察者実験を実施した結果、診療放射線技師と学生間の評価結果に有意な差が認められず、本観察者実験には読影能力の有無を必要ないと考えたためである¹⁷⁾。最後に、得られた観察者7名の確信度結果をROC解析ソフトROCKIT(シカゴ大学製)に入力し、計16条件における各々の平均ROC曲線と平均ROC曲線下面積(area under the curve; AUC)を求めた。なお、観察者の研究参加において、臨床経験や評価結果などの個人情報公開する旨を説明したうえで、すべての観察者から承諾書を得ている。

1-2 臨床画像を用いた実験

1-2-1 画像データベース

本実験に使用した画像データベースは、2006年4月から2007年9月までに中央群馬脳神経外科病院で16 DASのマルチスライスCT装置(LightSpeed 16: GE横河メディカルシステム社製)を用いて撮影された、超急性期脳梗塞症例30例(男性16名、女性14名)と、正常症例30例(男性14名、女性16名)の計60例のCT画像で構築されている。なお、30例の超急性期脳梗塞症例における責任血管は、すべて中大脳動脈(middle cerebral artery; MCA)であり、MCA領域全体に梗塞範囲が広がった症例が8例、MCA領域の一部に限局した症例が22例(皮髄境界の消失8例、レンズ核・島皮質の不明瞭化14例)存在する。CT画像上における早期虚血変化の有無の判定、および画像所見が超急性期脳梗塞であるのか否かの判定

Fig. 3 Brain CT images with hyperacute ischemic stroke: (a), (c) window width=80 HU; (b), (d) window width=20 HU

a	b
c	d

は、2名の脳神経外科医が magnetic resonance imaging (MRI) 拡散強調画像と見かけの拡散係数画像を確認しながらコンセンサスのもとに決定された。撮影条件は、スキャンモード：コンベンショナル、管電圧：120 kV、管電流：200 mA、回転時間：2.0 s/rot (400 mAs)、再構成スライス厚：5 mm (2.5 mm×8 DAS)、再構成関数：STANDARDである。なお、本研究における画像データベースの利用に際し、本施設の倫理委員会の審査を受け、承認を取得している。また、本画像データベースは、施設からCT画像が提供される前に患者情報データが削除され、個人が特定できないよう匿名化されている。

1-2-2 ROC 解析

実験方法は、超急性期脳梗塞症例 30 例と正常症例 30 例、計 60 例の CT 画像を上記と同一の高精細 LCD モニタにランダムに表示し、WW を 80 および 20 HU と独立に設定して、連続確信度法を用いた観察者実験を暗室下で実施した。その後、同一症例の CT 画像を同一モニタ上に並べて配置し、一方の画像の WW を 80 HU に、他方の画像の WW を 20 HU に設定して、両画像を利用した観察者実験を実施した。なお、観察者実験の施行前には、本研究内容、観察方法、および評価基準について説明し、十分なトレーニングを実施した。また、観察者には、画像観察の際に WL を変化させて観察するよう依頼した。特に、WW が 20 HU に設定された画像は、臨床において見慣れていないため、WL を適宜変化させて観

Fig. 4 Average ROC curves for each window width in phantom image scanned with 200 mAs.

察することや、陳旧性脳梗塞所見を無視して観察することなどを詳細に説明した。患者の臨床症状や既往歴などの情報は提示していない。視覚評価した観察者は、3～26 年(平均 13.4 ± 8.9)の臨床経験をもつ 10 名の診療放射線技師である。得られた確信度結果から平均 ROC 曲線と平均 AUC を求めた。なお、1-1-2-2 と同様、観察者の研究参加における承諾書は、すべての観察者から取得している。Fig. 3 に、WW を 80 および 20 HU に設定した際の超急性期脳梗塞症例を示す。

2. 結果

2-1 デジタルファントム画像を用いた実験

本研究においてノイズ画像から SD を求めた結果、mAs 値の増加に伴って SD は低減した。なお、200, 400, 600, 800 mAs における SD は、それぞれ、 ± 3.4 , ± 2.4 , ± 2.0 , ± 1.7 となった。

Fig. 4 および Fig. 5 に、それぞれ 200 および 800 mAs で撮影された画像における各 WW での平均 ROC 曲線を示す。200 mAs において、WW を狭めることによって、信号検出能の向上が認められたが、800 mAs では、WW の変化による信号検出能の差が認められない結果となった。

Fig. 6 に、mAs 値と WW を変化させた 16 条件における平均 AUC を示す。結果から、AUC は、mAs 値の増加、WW の狭小化によって上昇した。また、WW を 20 HU に設定することで、他の WW に比べて、AUC は極めて高値となった。800 mAs における各 WW での平均 AUC 間の統計的有意差検定(両側ペアード t 検定)を行った結果、すべての WW 間において、有意確率 p 値が 0.05 以上となり、有意差は認められなかった。しかし、200,

Fig. 5 Average ROC curves for each window width in phantom image scanned with 800 mAs.

400, 600 mAsにおいて、上記と同様、各 WW での平均 AUC 間の有意差検定を行った結果、WW を 20 HU と 80 HU に設定した際の平均 AUC 間では、有意確率 p 値が 0.05 以下となり、有意差は認められた($p=0.0144, 0.0320, 0.0172$).

2-2 臨床画像を用いた実験

10 名の観察者の平均 ROC 曲線を Fig. 7 に示す。WW を 80 HU に設定した際の平均 AUC は 0.616 ± 0.154 となり、WW を 20 HU に設定した際の平均 AUC は 0.677 ± 0.058 となった。両 WW における平均 AUC 間において、統計的有意差検定(両側ペアー t 検定)を行った結果、有意確率 p 値が 0.05 以上となり、有意差は認められなかった($p=0.3352$)。しかし、両 WW における AUC 間において、標準偏差の差を検定した結果、有意確率 p 値が 0.05 以下となり、有意差は認められた($p=0.0251$)。

WW の異なる両画像を利用した際の平均 AUC は 0.720 ± 0.127 となった。WW を 20 HU に設定した際の平均 AUC と、WW の異なる両画像を利用した際の平均 AUC 間において、有意差検定を行った結果、有意確率 p 値が 0.05 以上となり、有意差は認められなかった($p=0.3124$)。しかし、WW を 80 HU に設定した際の平均 AUC との間においては、有意確率 p 値が 0.05 以下となり、有意差は認められた($p=0.0206$)。

3. 考 察

超急性期脳梗塞の CT 画像所見である早期虚血変化は、非常に淡い低吸収域を呈するため、読影に困難を要するが、CT 検査の撮影条件や画像表示条件を適切に設定することによって改善されると報告されている²⁾。これまで、脳 CT 画像における低コントラ

Fig. 6 Average area under the curves (AUC) in different current time products and window widths.

Fig. 7 Average ROC curves for 10 observers in clinical CT image.

ト検出能に関する撮影パラメータの検討は数多く実施されている。しかし、画像表示条件の検討報告は極めて少なく、画像ノイズが異なる CT 画像における WW の調節が及ぼす低コントラスト検出能の影響についての検討はされていない。われわれは、基礎的実験として、超急性期脳梗塞の早期虚血変化をシミュレーションしたデジタルファントム画像を作成し、水ファントム画像を併用して観察者実験を実施した。

本研究で用いたデジタルファントム画像は、水ファントム画像と低コントラストの信号を含んだ画像との減算処理により作成されている。そのため、信号の辺縁情報が、実際に撮影された CT 画像上の信号と異なることが懸念される。市川らは、CT 画像の空間周波数特性の影響を加味したデジタルファントム画像の作成方法を提案している¹⁸⁾。われわれは、作成したデジタルファントム画像の信号コントラストが 1~3 と極めて小さく、辺縁情報の差異が、観察者実験を実施した際の評価結果に影響を及ぼす程度ではないと考え、単純な減算処理によりデジタルファントム画像を作成した。

われわれは、デジタルファントム画像と水ファントム画像を用いて観察者実験を実施した。その結果、7名の観察者における平均 AUC は、mAs 値の増加と WW の狭小化によって上昇した。また、200, 400, 600 mAs で撮影された画像に対し、WW を 20 および 80 HU に設定した際の平均 AUC 間において、統計的有意差検定を行った結果、有意差が認められた。しかし、800 mAs で撮影された画像では、X 線量子ノイズの影響が低減されているため、WW を変化させても信号検出能に差が生じなかった。

Fig. 4 における 200 mAs で撮影された画像を用いた各 WW での平均 ROC 曲線の形状から、信号が存在するデジタルファントム画像における観察者の確信度の変動が、ノイズ画像における確信度の変動に比べて大きいことが推測される。本研究で利用したデジタルファントム画像 30 画像には、信号コントラストが 1 の直径が異なる陰影が 10 画像含まれており、観察する際にこれらの信号陰影が見落とされたためと考える。しかし、200 mAs で撮影された画像において、WW を狭くすることによって平均 AUC が上昇していることから、WW の狭小化は、信号陰影の検出感度の向上が図れるものと考ええる。

近年、画質と被ばく線量の最適化を図ることが可能な CT 用自動露出機構を活用した撮影が実施されている。この機能は、画像ノイズの評価指標である SD を利用し、出力線量を制御することで画質を標準化するものである。本研究において、撮影された水ファントム画像から SD を求めた結果、上記の ROC 解析結果で有意差が認められた 600 mAs (112.66 mGy) では ± 2.0 となった。よって、各施設で所有する直径 200 mm の水ファントム画像上の SD が ± 2.0 を上回る場合には、視覚的なノイズの影響を低減させるために WW を広げるのではなく、WW を 20 HU に設定し、画像コントラストを上昇させて観察することが、信号検出能の標準化につながるものと考ええる。ただし、SD は、空間周波数特性に依存され、装置ごとで信号検出能が異なるものと推測されることから、施設ごとの検討が必要である。また、上記の検討は、均一な物質で構成されたデジタルファントム画像を用いた実験結果に基づくものであり、実際の臨床画像に直接反映させることはできない。しかし、上記の結果から、WW を 20 HU に設定することで、低コントラスト検出能の向上が図れることは確認されており、左右対称性の特徴を利用して比較読影される臨床画像においては、強調された早期虚血変化が容易に識別可能となるものと考ええる。

MELT Japan は、超急性期脳梗塞の CT 画像を観察する際、WW を 80 HU 以下に設定するよう推奨し

ている。また、筆者らは、各施設における頭部 CT 検査のルーチン撮影条件を調査しており¹⁹⁾、その報告を基に各施設の mAs 値を平均すると約 350 mAs であった。そこで、本研究で得られた Fig. 6 の結果を利用して、これらの各条件下で撮影および画像観察された場合をシミュレーションすると、平均 AUC が 0.893 となり、この平均 AUC を基準とした場合、WW を 20 HU に設定することで、mAs 値を約 200 mAs まで低減可能となる。このように、WW を狭めて画像観察することは、低コントラスト検出能の向上のみならず、出力線量の低減にも寄与する可能性があるものと考ええる。

本研究では、臨床画像を用いた観察者実験も実施した。上記のデジタルファントム画像と水ファントム画像を用いた観察者実験において、WW を 20 HU に設定することで、平均 AUC が極めて高値となったため、われわれは、WW の設定を 80 および 20 HU に決定し、10 名の観察者による評価を行った。その結果、WW を 80 および 20 HU と個々に設定して観察した際の平均 AUC は、それぞれ 0.616 ± 0.154 , 0.677 ± 0.058 となり、両 WW の AUC 間における有意差は認められなかった。しかし、標準偏差の差においては、有意差が認められた。これは、WW を 20 HU に設定することで、観察者間の読影能力の変動を低減できることを示した結果である。また、Fig. 7 における WW を 20 HU に設定した際の平均 ROC 曲線の形状から、超急性期脳梗塞症例における観察者の確信度の変動に比べ、正常症例における観察者の確信度の変動の方が大きいことが推測される。この結果から、WW を 20 HU に設定して観察することは、非常に淡い早期虚血変化を検出できる一方、無病誤診率の増加を伴うことが示唆される。われわれは、同一モニタ上に WW の異なる画像を並べて配置し、両画像を利用した際の観察者実験を行った。その結果、平均 AUC は 0.720 ± 0.127 となり、WW を 80 HU に設定した時と比べ、有意に増加した。近年の CT 装置では、スキャン計画を立てる際に、再構成画像の表示条件を複数設定することが可能である。したがって、WW を 80 HU に設定した画像だけではなく、WW を 20 HU に設定した画像も併せて出力し、両画像を並べて観察することが、早期虚血変化の更なる読影精度の向上につながるものと考ええる。今後の課題として、放射線科医や脳神経外科医を対象とした観察者実験を実施し、検討を重ねることが必要である。

4. 結 語

本研究では、超急性期脳梗塞を対象としたデジタルファントム画像を作成し、WW の変化が低コント

ラスト検出能に与える影響について検討した。さらに、超急性期脳梗塞症例が含まれる CT 画像を用いた観察者実験を実施して、WW の違いにおける読影精度について検討した。その結果、WW を狭めて画像表示することは、画像ノイズが顕著な CT 画像において低コントラスト検出能の向上につながり、さらに、出力線量の低減に寄与する可能性があることがわかった。また、臨床画像において、WW を 20 HU に設定することにより、読影精度の有意な向上は図れなかったが、観察者間の読影能力の変動を低減で

き、さらに、WW の異なる画像を並べて観察することで、読影精度の向上が図れることがわかった。したがって、超急性期脳梗塞の CT 画像診断において、WW を狭めた画像の利用は、非常に効果があるものとする。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、多大なご協力をいただきました。桐生厚生総合病院および中央群馬脳神経外科病院の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 成富博章. 脳梗塞の early CT sign. 脳梗塞超急性期 - Brain attack 時代の診断と治療. 医歯薬出版, 東京, 2001: 25-31.
- 2) 橋本洋一郎. 第 5 章 X 線 CT. 脳卒中を防ぐ - 病診連携の最前線. 南山堂, 東京, 2001: 81-104.
- 3) 前田正幸. 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 2005; 25(12): 1454-1462.
- 4) von Kummer R, Allen KL, Holle R, et al. Acute stroke: usefulness of early CT findings before thrombolytic therapy. Radiology 1997; 205(2): 327-333.
- 5) 片田和廣. Neuro-imaging Update(画像診断の分野)新しい CT 撮像法: 脳血管障害への応用. 脳卒中 2004; 26(4): 552-556.
- 6) 奥村美和. 低コントラスト分解能の評価方法. アールティ 2005; 27: 42-47.
- 7) 小川正人. 急性期脳梗塞の単純 CT について - 低コントラスト分解能 -. 日放技学誌 2006; 62(10): 1377-1379.
- 8) 前田正幸. 急性期脳梗塞画像診断の標準化の現状 単純 CT の意義と標準化の現状. Innervision 2009; 24(1): 11-14.
- 9) 藤村一郎. 明日から使える頭部 CT 頭部単純 CT はノンヘリカルかヘリカルか? アールティ 2009; 44: 25-33.
- 10) 須永眞一, 長島宏幸, 小林 誠, 他. 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. 群馬県立県民健康科学大学紀要 2009; 4: 39-45.
- 11) 浜口直子, 小寺秀一. 急性期脳梗塞診断に対するヘリカルスキャンの適用に関する検討. 日放技学誌 2010; 66(6): 632-640.
- 12) 小川 彰. 厚生労働科学研究費補助金「超急性期脳梗塞に対する局所線溶解法の効果に関する臨床研究」. 平成 14 年度総括研究報告書, 2003.
- 13) 平野照之. 脳卒中専門医のための脳血管障害の画像診断 急性期脳梗塞の頭部単純 CT・拡散強調画像. 分子脳血管病 2008; 7(1): 78-85.
- 14) 細矢貴亮, 佐々木真理. 超急性期脳梗塞の CT. 救急で役立つ頭部 CT・MRI. 南江堂, 東京, 2010: 22-26.
- 15) Lev MH, Farkas J, Gemmete JJ, et al. Acute stroke: improved nonenhanced CT detection - benefits of soft-copy interpretation by using variable window width and center level settings. Radiology 1999; 213(1): 150-155.
- 16) 原 秀剛, 井上年幸. 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 2006; 26 (Suppl 3): 183-184.
- 17) 竹田 智, 後藤 淳, 丸野達也, 他. Receiver operating characteristics(ROC)解析における信号の選択に関する検討. 日放技学誌 2010; 66(11): 1467-1473.
- 18) 市川勝弘, 原 孝則, 丹羽伸次, 他. 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. 医用画像情報会誌 2007; 24(3): 106-111.
- 19) 長島宏幸, 白石明久, 小倉敏裕, 他. 群馬県内施設を対象とした頭部 CT 検査における撮影線量と画質の比較評価. 医学物理 2004; 24(4): 154-161.

図表の説明

- Fig. 1 200 mAs で撮影された信号コントラストが 3 のデジタルファントム画像
なお、画像における信号の直径は 30 mm である。
- Fig. 2 各 mAs 値で撮影された信号コントラストが 2 のデジタルファントム画像
(a)および(b)は、それぞれ 200 mAs および 800 mAs での画像である。なお、各画像における信号の直径は 30 mm である。
- Fig. 3 WW を 80 および 20 HU に設定した際の超急性期脳梗塞症例
(a)および(c)は WW が 80 HU の画像、(b)および(d)は WW が 20 HU の画像である。
- Fig. 4 200 mAs で撮影された画像における各 WW での平均 ROC 曲線
- Fig. 5 800 mAs で撮影された画像における各 WW での平均 ROC 曲線
- Fig. 6 各 mAs 値および各 WW における平均 AUC
- Fig. 7 臨床画像における観察者 10 名の平均 ROC 曲線