

□原著論文□

新しいX線CT用バーガーファントムの提案

岡野 員人* 飯沼 一浩**

抄 録

本研究では、空間解像度とコントラストの総合的な視覚評価ができる新しいX線CT用バーガーファントム(BP)を提案し、その基本特性を明らかにした。新しいBPは、直径200mm、厚さ20mmの円形のアクリル板に直径1mm～10mmの8種類の孔を開け、そこにアクリル板とCT値が異なる種々の濃度の塩化ナトリウム(NaCl)水溶液を封入したものである。NaCl水溶液とアクリルのCT値差を5～110まで11種類に設定した。実験的にNaCl水溶液の濃度とCT値の関係式を求め、対応する濃度のNaCl水溶液を封入してBPを自作した。このBPのNaCl水溶液の設定CT値と実測CT値は画像ノイズの範囲で一致した。これにより、一つのBPで8種類の孔径、11種類のコントラストをもつ画像が得られることを確認した。また、7人の観察者が視覚評価を行いC-Dダイアグラムを作成し線量の異なるX線CT画像の比較を行うことができた。しかし、特定の孔の配列が先入観を与えることや主観的な判定基準のため観察者による変動が大きく、ファントム形状および視覚評価法の検討が今後の課題である。

Proposal of a New Burger Phantom for X-ray CT

OKANO Kazuto and IINUMA Kazuhiro

Abstract

A new Burger Phantom for X-ray CT (BP) has been proposed to visually evaluate both spatial resolution and contrast, and its characteristics are investigated. The new BP is made of an acrylic disk with 8 different hole diameters, from 1 to 10mm, filled with 11 different concentrations of NaCl solution. The diameter of the disk is 200mm and its thickness 20mm. The differences between the CT number of the NaCl solution and the acrylic were set from 5 to 110. The relationship between the concentrations of the NaCl solution and the CT numbers was obtained experimentally and each hole was filled with NaCl solution corresponding to each CT number. The difference between the predetermined CT number and the measured CT number of the NaCl solution was within the range of image noise. It was confirmed that an image of holes with 8 different diameters and 11 different contrasts was obtained by using only one BP. The C-D diagram has been generated by using images of one BP at the various X-ray doses and evaluated by 7 observers. However, the data fluctuate between observers because of each observer's preconception of the hole arrangement and the subjective conviction criterion. Therefore, improvement of the BP construction and visual evaluation method is needed.

Keywords: Computed tomography (コンピュータドトモグラフィ),
Burger Phantom (バーガーファントム), C-D diagram (C-D ダイアグラム)

I. はじめに

診断用X線装置により得られる画像の視覚評価方法のひとつに、バーガーファントムを撮影した画像から

得られるC-Dダイアグラム(C-D Diagram)を用いる方法がある(Burger 1950; 土井 1987)。この方法は、ヒトの視覚による認識が空間解像度とコントラストの

受付日: 2010年11月4日 受理日: 2011年6月17日

*国際医療福祉大学 放射線・情報科学科

Department of Radiological Sciences, International university of health and welfare

E-mail: okanok@iuhw.ac.jp

**国際医療福祉大学 医療福祉学研究科 保健医療学専攻 放射線・情報科学分野

Division of Radiological Sciences, Graduateschool of Health and Welfare Sceinces, International University of Health and Welfare Graduateschool

両方に依存しているため、空間解像度とコントラストを単独に評価するのではなく、総合的に評価するものである。バーガーファントムは、正方形のアクリル板の一方に直径、それと直角方向に深さの異なる円形の孔または突起が配列され、X線透過像の視覚評価に使用され、一般に市販されている。バーガーファントムを撮影した画像について、横軸に孔または突起の直径、縦軸に孔または突起の識別可能な最小のコントラストをプロットしたものがC-Dダイアグラムである。

X線CTの画像については、種々のファントムを用いてC-Dダイアグラムを作成する評価法が報告されている。東村ら(1984)は、直径164mmのポリスチレン円板に、直径0.75mm~16mmまでの17種の孔を開け、このポリスチレン円板をCT用水ファントム中に封入したファントムを提案している。孔は直径が0.75~2.5mm, 1.0~3.0mm, 1.5~3.5mm, 2~6mm, 3~11mm, 6~16mmの6つの領域に分けられており、各領域でポリスチレンの厚さを変え、0.75~2.5mmの領域では、ポリスチレンの厚さが12.68mm以降段階的に3.80mm, 3.16mm, 1.86mm, 1.21mm, 0.68mmとなっている。上記のファントムをスライス厚10mmで撮影し、ポリスチレンの厚さの違いによる部分体積効果(partial volume effect)を利用して6つのコントラストを作っている。評価は、各領域の最小識別能を測定しC-Dダイアグラムを作成している。この方法では、部分体積効果を用いて平均的なCT値すなわちコントラストを変えているためスライス厚を変えるとコントラストが変わり、また、0.5mmの薄いスライス厚の評価には使用できない。

Zatzら(1987)は、ポリスチレン円板に径の異なる孔をランダムに開けてそこに希釈したアルコールを満たし、アルコール濃度を変えた5個のファントムを使用している。評価方法は、コントラストが等しく孔径の異なる1つのファントムの画像を1枚としてコントラストの異なる5個のファントムの画像を5枚作成し、最小識別能の孔径とコントラストをグラフにプロットしてC-Dダイアグラムを作成している。

また、京都科学社製(京都)マルチスライスCT評

価用テストファントムを用いてC-Dダイアグラムを測定する方法がある(日本放射線技術学会, 1996)。これは、ウレタン内に直径が2~15mmの8種の球体が配置されている。径の異なる各球体列と周囲物質とのCT値差は含有成分の違いにより、10~800まで段階的に設定されている。球体を使用しているため部分体積効果があり、評価にはコントラストの異なる複数の試料が必要である。

上記の方法はいずれも、1つの撮影条件に対して、コントラストが等しく孔径の異なるファントムの画像を1枚として、コントラストの異なる複数のファントムの画像を撮影しなければならないため、使用するファントムの数が多く操作が煩雑で時間もかかる。また、東村ら(1984)および京都科学(1996)の方式では部分体積効果のため、撮影時のスライスの位置およびスライス厚によりコントラストが変化する欠点がある。

本研究の目的は10mm以下でスライス厚に依存せず、かつ1枚の画像でC-Dダイアグラムを作成できる新しいX線CT用のファントムを提案しその基本特性を明らかにすることである。このファントムをX線CT用バーガーファントム(以下、BP)と呼ぶことにする。

II. 方法

1. BPの設計と作成方法

今回試作したBPは、10mmのスライス厚が十分ファントム内に設定できるように直径200mm、厚さ20mmのアクリル円板を用い、その中に直径の異なる孔を開け、孔の中に段階的に濃度(CT値)の異なる塩化ナトリウム水溶液(以下、NaCl水溶液)を満たしたものである。

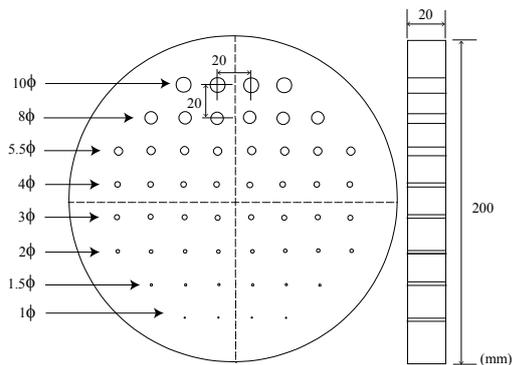
前述のように、従来はアルコールやウレタンが使用されているが、今回は孔を満たす物質として、NaCl水溶液を使用した。NaCl水溶液の特徴は、

- ① CT値を0~340HU(濃度0~約26%)の範囲で自由に変えることができる。
- ② NaClの溶解度は約26gであり、今回用いた最大濃度である9%より十分大きい。
- ③ 化学的に安定である。

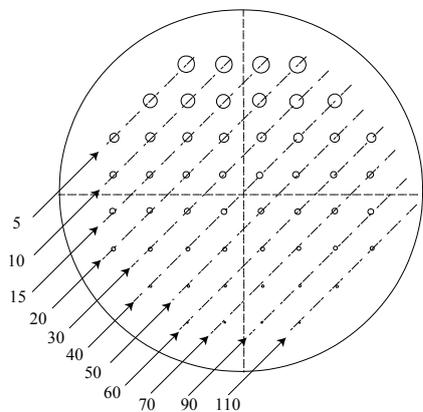
- ④ 揮発性がない。
- ⑤ 安全に取り扱うことができる。
- ⑥ 安価で容易に入手できる。

であり、これ以上のものは見当たらず、NaCl 水溶液が最も適切な媒質と判断した。

孔の直径は、人の感覚が刺激の対数に比例するというウェーバー・フェヒナーの法則により、対数で略等間隔すなわち略等比級数的で切りのよい数値に設定した。孔の直径は、10, 8.0, 5.5, 4.0, 3.0, 2.0, 1.5, 1.0mm の 8 段階、アクリルとの CT 値差は、5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90, 110 の 11 段階とした。Fig.1 (a) に示すようにアクリル円板の縦方向に上から大きい順に孔の中心間隔を 20mm とし、円板の面に垂直に孔を開けた。コントラスト (アクリルとの CT 値差) は Fig.1 (b) に示すように、斜め方向に変化させた。BP では孔の配列が円形内に制限されるため、中央に比較して上部および下部の個数が減ることになる。そこで、



(a) ファントムの寸法と孔の径の配列



(b) コントラストの配列

Fig. 1 X線 CT 用バーガーファントムの構造

コントラストは孔径が小さいほど認識しにくく、大きいほど認識しやすいという視覚特性を考慮し、小孔径では高コントラスト側に、大孔径では低コントラスト側にシフトし、全てのコントラストを含むようにした。

アクリルの加工は、アクリル加工専門の業者である株式会社さくら樹脂 (神奈川県) に製作を依頼した。

2. NaCl 水溶液の濃度と CT 値およびアクリル板の CT 値

設定した CT 値になる NaCl 水溶液を得るため、実験により塩化ナトリウム水溶液の濃度 (重量比) と CT 値の関係を求めた。純水と純度 99.57% の NaCl を混合し、重量比 1%, 3%, 5%, 7%, 9% の濃度の塩化ナトリウム水溶液を作成し、各濃度の CT 値を測定した。NaCl 水溶液の生成方法は、ビーカーに純水を入れ、その中に溶液に対する重量比が上述の値となる塩化ナトリウムを入れ、ガラス棒でかき混ぜ塩化ナトリウムが完全に溶解するようにした。各濃度の NaCl 水溶液は、BP の直径 10mm の孔に入れ、X 線 CT 装置で撮影し濃度と CT 値の関係を求めた。

使用した X 線 CT 装置は、日立メディコ社製 ROBUSTO (4DAS)、撮影条件は、X 線管電圧 120kV、管電流 300mA、スキャン時間 1 秒、スライス厚 5mm、FOV200mm であり、フィルタ関数を腹部標準に設定した。スキャン時間は、ノイズを少なくして CT 値を正しく求めるため通常の検査で使用する 0.8 秒より少し長い 1 秒を用いた。

また、実際に BP に使用する CT 値差 5~110 に対応する NaCl 水溶液の濃度を計算で求め、その濃度の NaCl 水溶液を作り、同様の方法で CT 値を測定した。孔への NaCl 水溶液の注入方法は、まず BP の片面に孔を塞ぐようにビニールテープを貼り、もう片方の面から 5cc 用のシリンジにつめた NaCl 水溶液を先のとがっていない細い中空の針で各孔に液面が表面張力で盛り上がるまで注入した。上から表面張力で浮き上がった液面を押し出すようにビニールテープを貼り、気泡が入らないように配慮しながら密閉した。

アクリル円板の CT 値の測定は、直径 200mm・厚さ

10mm の平坦で孔のないアクリル円板を寝台に乗せ、X線CT装置で側面および正面の位置決め画像を撮影し、アクリル円板の面がX線CT装置の回転軸に垂直になるように調整した。調整後、円形アクリル板を撮影し、円形アクリル板のCT値を測定した。撮影条件は、NaCl水溶液のCT値を求めるときと同じである。CT値の測定箇所は、Fig. 2に示すように中央部および周辺4箇所の加算平均(速水ら1991)とし、Region of interest (ROI)の大きさは15.6mm×15.6mm(40×40ピクセル)である。

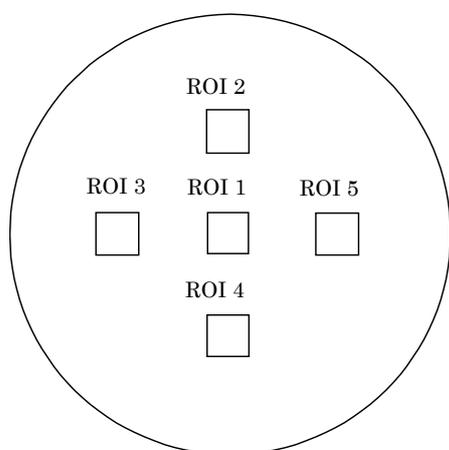


Fig. 2 アクリル円板のCT値の測定箇所

円板直径：200mm，ROIの中心間隔：50mm
ROIの大きさ：15.6×15.6mm(40×40ピクセル)

3. BPを用いた視覚評価

作成したBPをX線CT装置の寝台の上に垂直におき撮影した。撮影条件は、管電圧120kV、スキャン時間0.8秒、スライス厚5mm、FOV200mm、フィルタ関数は腹部標準とした。X線量を変えるために管電流を画像のノイズを表すCT値の標準偏差(以下、SD)が5、10、15、20になるように設定した。Fig.3は管電流を25mA~300mAまで変化させアクリル円板を撮影したときのSDの実測値であり、このグラフからSD値が5、10、15、20となるように決定した管電流値は、それぞれ300、75、50、25mAである。

BPを撮影したCT画像を表示し、CT検査に携わる7人の診療放射線技師(経験年数1年が2名、2年が

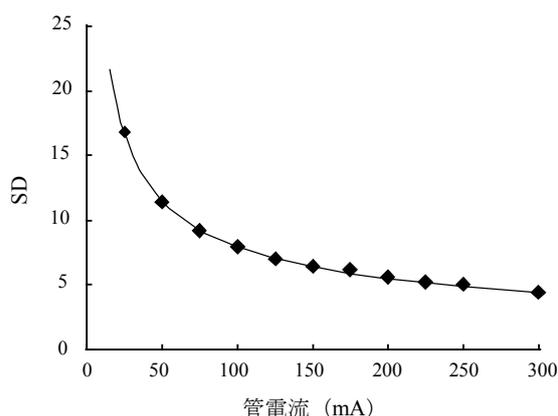


Fig. 3 管電流とSDの関係

2名、4年が1名、5年が1名、7年が1名)により各直径に対する円形画像の識別可能な最小のコントラストを求め、C-Dダイアグラムを作成した。ここでコントラストとは、NaCl水溶液のCT値とアクリルのCT値との差である。

画像の表示はフィルムにて行い、ウィンドウ幅を250、ウィンドウレベルを120に設定した。フィルム出力は、コニカミノルタ社製レーザーイメージャDRYPRO model 752にて行った。また、評価用フィルム以外は遮光し、観察距離は特に設定せず自由な距離とした。

観察者に、各信号サイズで識別可能な最小のコントラストを答えさせた。観察時間は制限を加えず評価者の自由とした。このとき、識別可能な最小コントラストの判定基準の指標として50%確信度(土井1987)を用いた。各X線量における最小コントラストの比較については、各孔径ごとにFriedman検定を行った。また、有意差が出た場合に限りShaffer法を用いて多重比較を行った。

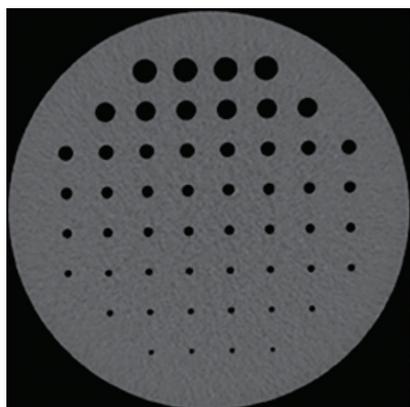
III. 結果

1. 試作したBP

BPの概観の写真およびCT画像をFig.4(a), (b)に示す。横方向では孔の直径が等しく、縦方向ではNaCl水溶液の濃度が等しい。



(a) 概観 (写真)



(b) 撮影した CT 画像

Fig. 4 X線 CT 用バーガーファントムの概観と CT 画像

[管電圧：120kV，管電流：300mA，
スキャン時間：1 秒，スライス厚：5mm]

2. NaCl 水溶液の濃度と CT 値

NaCl 水溶液の濃度に対する CT 値の測定結果を Fig.5 に示す。

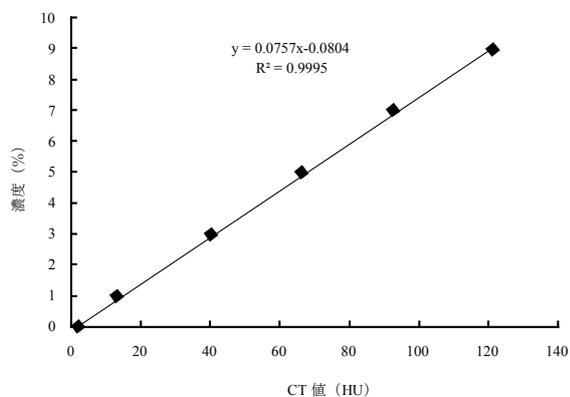


Fig. 5 NaCl 水溶液の濃度と CT 値の関係

[管電圧：120kV，管電流：300mA，
スキャン時間：1 秒，スライス厚：5mm]

Fig.5 から NaCl 水溶液の濃度と CT 値の関係は以下の線形な近似式で表される。

$$\text{濃度 (\%)} = 0.0757 \times \text{CT 値} + 0.0804 \quad \text{---(1)}$$

$$\text{CT 値} = 13.2 \times \text{濃度 (\%)} + 1.06 \quad \text{---(2)}$$

アクリル円板の CT 値の測定結果を Table 1 に示す。平均値は 121.9，SD は 4.4 である。

アクリルとの CT 値差 (ΔCT) が 5~110 となるように設定した設定 CT 値 (CT_{cal})，設定 CT 値を得るために(1)式より求めた NaCl 水溶液の濃度 (D_{NaCl})，各濃度の NaCl 水溶液の CT 値の実測値 (CT_{meas})，誤差 (CT_e) を Table 2 に示す。設定した CT 値に対応する実測値の誤差は -2.2~1.6 であり，Table 1 に示した $\text{SD}=4.4$ に比較して十分小さい。

Table 1 アクリル円板の CT 値の測定結果

測定値 (CT 値/SD)					
ROI 1	ROI 2	ROI 3	ROI 4	ROI 5	平均
121.4/4.7	121.7/4.2	124.0/4.4	122.7/4.5	119.5/4.2	121.9/4.4

アクリルの厚さ：10mm アクリル直径：200mm

Table 2 CT 値差に対する設定 CT 値，NaCl 水溶液濃度，NaCl 水溶液の実測 CT 値および設定 CT 値と実測 CT 値の誤差

CT 値差 (ΔCT)	設定 CT 値 (CT_{cal})	NaCl の濃度 (%) (D_{NaCl})	実測 CT 値 (CT_{meas})	誤差 (CT_e)
0	121.9	0	121.9	0
5	116.9	8.77	114.7	-2.2
10	111.9	8.39	110.3	-1.6
15	106.9	8.01	107.2	0.3
20	101.9	7.63	103.5	1.6
30	91.9	6.88	90.8	-1.1
40	81.9	6.12	80.5	-1.4
50	71.9	5.36	69.7	-2.2
60	61.9	4.61	61.2	-0.7
70	51.9	3.85	52.0	0.1
90	31.9	2.33	31.9	0.0
110	11.9	0.82	11.6	-0.3

3. BP を用いた視覚評価

SD=5, 10, 15, 20 となるように決定した撮影条件を Table 3 に示す。これらの撮影条件に対して、得られた画像を Fig. 6(a)~(d) に示す。実際に撮影した画像から気泡は観測されず、孔全体が塩化ナトリウム水溶液で満たされていることがわかる。

Table 3 Fig. 6 に示す X 線 CT 用バーガーファントム画像の撮影条件 (SD と管電流, 管電流時間積)

SD	管電流 (mA)	管電流時間積 (mAs)
5	240	300
10	60	75
15	40	50
20	20	25

Table 4 に孔直径とコントラスト配置の対応表を示す。7名の診療放射線技師により、上述の4種類のSD値をもつCT画像について各孔径に対する識別可能な最小コントラストを評価し、7名の平均値とばらつき、Friedman 検定の結果を Table 5 に、Shaffer の方法による各孔における各SD間の比較結果を Table 6 に示す。また、作成したC-Dダイアグラムを Fig.7 に示す。変動係数を表すCV値は、SD=5の画像で0.11~0.33, SD=10の画像で0.00~0.45, SD=15の画像で0.10~0.39, SD=20の画像で0.00~0.28であった。

Fig.7より、SDが小さくなるにつれC-Dダイアグラムが左下にシフトしている。また、各孔径ごとにFriedman 検定を行った結果は、すべての孔径で有意差(p<0.01)が有ることがわかった。Shaffer 法による多

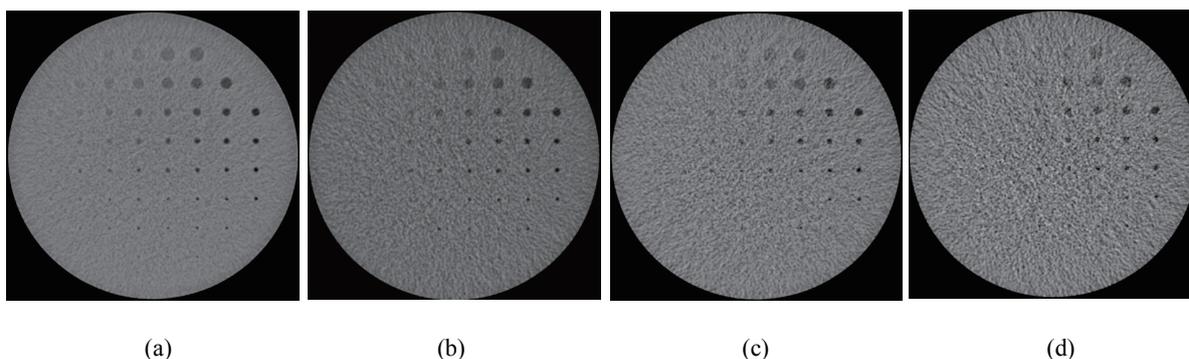


Fig. 6 管電流を変えて撮影した X 線 CT 用バーガーファントムの CT 画像

[管電圧: 120kV, スライス厚: 5mm, スキャン時間: 0.8s, 管電流: a: 300mA(SD=5), b: 75mA(SD=10), c: 50mA(SD=15), d: 25mA(SD=20)]

Table 4 孔直径とコントラスト (CT 値) 配置の対応表

孔径 (mm)	孔位置							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	/	/	7.2	11.6	14.7	18.4	/	/
8.0	/	7.2	11.6	14.7	18.4	31.1	41.4	/
5.5	7.2	11.6	14.7	18.4	31.1	41.4	52.2	60.7
4.0	11.6	14.7	18.4	31.1	41.4	52.2	60.7	69.9
3.0	14.7	18.4	31.1	41.4	52.2	60.7	69.9	90.0
2.0	18.4	31.1	41.4	52.2	60.7	69.9	90.0	110.3
1.5	/	41.4	52.2	60.7	69.9	90.0	110.3	/
1.0	/	/	60.7	69.9	90.0	110.3	/	/

Table 5 評価者による識別可能な最小のコントラスト差 (CT 値差)

SD	5			10			15			20			統計値	
	孔径[mm]	平均	sd	CV	χ^2									
10	8.42	2.15	0.26	9.95	3.63	0.36	10.6	3.44	0.32	17.4	2.59	0.15	13.8	0.00319
8	8.42	2.15	0.26	9.95	3.63	0.36	11.1	4.35	0.39	17.9	1.4	0.08	13.0	0.00458
5.5	9.5	3.1	0.33	16.3	1.98	0.12	17.6	6.12	0.35	23.9	6.79	0.28	14.7	0.00213
4	13.4	2.65	0.2	20.6	9.32	0.45	22	6.2	0.28	38.5	5.03	0.13	18.1	0.00041
3	15.8	1.81	0.11	31.1	0	0	32.2	7.79	0.24	41.4	0	0	17.4	0.00059
2	22	6.2	0.28	44.3	11.2	0.25	56.6	17.6	0.31	74.3	11.2	0.15	18.8	0.00031
1.5	41.5	6.08	0.15	62	3.46	0.06	76	22	0.29	113	4.73	0.04	18.6	0.00034
1	75.6	15.3	0.2	94.3	11.4	0.12	116	11.4	0.1	※	※	※	10.3	0.00584

SDはCT値のばらつきを表す標準偏差, sdは評価者間のばらつきを表す標準偏差, CVは変動係数, χ はFriedman検定の統計量である。※は、識別可能な最小コントラストが判断できず除外した。

重比較の結果は、コントラストが低い4mm~10mm孔径では、SD=5, 10, 15の間で有意差はなかった。2mm・3mm孔径では、SD=10とSD=15の間のみ有意差はなく、その他はX線量が多くなるほど有意に識別可能な最小コントラストが低くなり、より低いコントラストの孔まで識別できた。また、コントラストが高い1mm~1.5mmでは、X線量が多くなるほど有意に識別可能な最小コントラストが低くなり、より低いコントラストの孔まで識別できた。

IV. 考察

これまで、C-Dダイアグラムを用いてCT画像の視覚評価を行うためのいくつかのCT用ファントムが考案されている。Table 7に従来の方法と本論文の方法を一覧表として示した。東村ら(1984)のコントラストを変えるために部分体積効果を利用する方法は、1個のファントムで複数のコントラストを得ることができるが、撮影時のスライス位置およびスライス厚によってコントラストが変化し定量性に欠け、また、正確なポジショニングを行わないと再現性にも乏しく、薄いスライス厚では使用できないと推察される。Zatzら(1987)のポリスチレン円板に孔を開けて水とアルコ

ールの混液を入れる方法では、部分体積効果はないが、5段階のコントラストを得るためにアルコールの濃度の異なる5個のファントムを必要とし、撮影にも5倍の時間がかかると推察される。マルチスライスCT評価用テストファントム(日本放射線技術学会, 1996)は、部分体積効果のため所定のコントラストを得ることが困難であり、またコントラストの異なる画像を複数枚撮影しなければならない。その上、ファントムが高価であるため入手が困難である。

従来の方法に比較して、今回作成したファントムは、8種類の孔径と11種類のコントラストが1個の亚克力円板に形成されているため短時間で撮影でき、また、1枚の画像で同時に空間解像度とコントラストの総合的な視覚評価を行うことができる。また、部分体積効果がないためスライス厚を10mm以内で自由に変えて撮影することができると考えられる。今回作成したBPでは、BPと同じ直径の亚克力円板のCT値を測定し、BPの孔に満たしたNaCl水溶液の濃度とCT値との関係をあらかじめ測定して、亚克力とのCT値差が5, 10, 15, ..., 110となるNaCl水溶液をBPの孔に封入した。CT値は実効エネルギー、すなわち管電圧およびファントムの材質や直径などに依存する。したがっ

Table 6 Shafferの方法による各孔における各SD間の比較 *は有意差有

孔径	SD:SD	t-value	p-value	criteria	有意差
10mm	5:20	5.60	9.21E-06	0.0083	*
	10:20	4.65	1.00E-04	0.0167	*
	15:20	4.26	2.72E-04	0.0167	*
	5:15	1.34	1.94E-01	0.0167	
	5:10	0.945	3.54E-01	0.0250	
	10:15	0.392	6.98E-01	0.0500	
8.0mm	5:20	5.69	7.32E-06	0.0083	*
	10:20	4.78	7.35E-05	0.0167	*
	15:20	4.08	4.35E-04	0.0167	*
	5:15	1.61	1.19E-01	0.0167	
	5:10	0.915	3.69E-01	0.0250	
	10:15	0.700	4.91E-01	0.0500	
5.5mm	5:20	5.44	1.38E-05	0.0083	*
	10:20	3.06	5.43E-03	0.0167	*
	15:20	2.87	8.41E-03	0.0167	*
	5:15	2.57	1.69E-02	0.0167	
	5:10	2.38	2.55E-02	0.0250	
	10:15	0.488	6.30E-01	0.0500	
4.0mm	5:20	7.45	1.08E-07	0.0083	*
	10:20	5.32	1.87E-05	0.0167	*
	15:20	4.90	5.38E-05	0.0167	*
	5:15	2.56	1.74E-02	0.0167	
	5:10	2.14	4.29E-02	0.0250	
	10:15	0.417	6.80E-01	0.0500	
3.0mm	5:20	12.0	1.27E-11	0.0083	*
	10:20	7.70	6.13E-08	0.0167	*
	15:20	7.17	2.05E-07	0.0167	*
	5:15	4.82	6.62E-05	0.0167	*
	5:10	4.29	2.53E-04	0.0250	*
	10:15	0.528	6.03E-01	0.0500	
2.0mm	5:20	7.98	3.27E-08	0.0083	*
	10:20	5.28	2.05E-05	0.0167	*
	15:20	4.58	1.19E-04	0.0167	*
	5:15	3.40	2.36E-03	0.0167	*
	5:10	2.70	1.24E-02	0.0250	*
	10:15	1.88	7.23E-02	0.0500	
1.5mm	5:20	11.4	3.87E-11	0.0083	*
	10:20	8.10	2.54E-08	0.0167	*
	15:20	5.88	4.55E-06	0.0167	*
	5:15	5.47	1.26E-05	0.0167	*
	5:10	3.26	3.33E-03	0.0250	*
	10:15	2.22	3.64E-02	0.0500	*
1.0mm	5:15	5.86	1.50E-05	0.0167	*
	10:15	3.14	5.71E-03	0.0500	*
	5:10	2.72	1.39E-02	0.0500	*

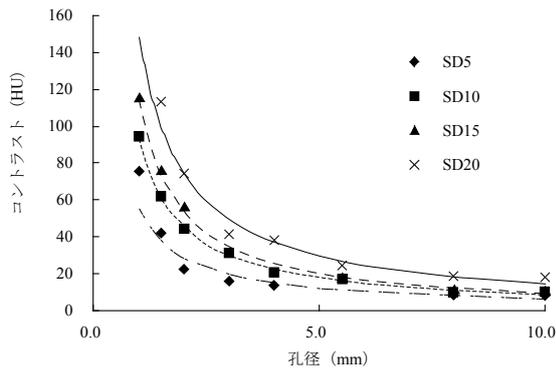


Fig.7 4枚のX線CT用バーガーファントム画像を用いて作成したC-Dダイアグラム (診療放射線技師7名の平均値)

て、もっとも手軽なアクリルを材料としたファントムを使用する場合でも、異なる管電圧あるいはファントム直径に対して正しいCT値差を設定するためには、その条件でのアクリルのCT値およびNaCl水溶液の濃度とCT値との関係を求める必要がある。

今回作成したファントムは、厚さが20mmでありノンヘリカルスキャンではスライス厚を10mm以内で自由に変えることができるが、ヘリカルスキャンに対してはファントム厚が十分とはいえない。C-Dダイアグラムの作成にあたっては、診断用X線装置に用いるバーガーファントムと同様に、孔径とコントラストの配列が決まっているため先入観の影響を受ける恐れがある。また、Table 5より観察者間の変動係数(CV値)を見ると、それぞれのCV値の平均が21%であり、観察者間の変動が大きいことがわかる。土井ら(1987)

の報告では、観察者の数を9人でC-D Diagramを作成する実験を行った結果、観察者間の変動が8%~22%と示されており同様の結果を得ることができたが、50%確信度の判定基準に個人差があり、主観的方法であるために評価者による変動が大きい欠点がある。さらに、評価者の観察時間を制限する場合と制限しない場合があり、適切な視覚評価法も今後の課題である。また、X線CT画像は、スライス面の位置によって解像力特性およびノイズ特性(原ら2007; Haraら2010)が異なるため、今回配置した孔の位置を再検討する必要があると考えられる。これらの問題点を解決できる、さらに新しいBPの検討が必要である。

V. 結論

本研究で提案したアクリル円板に直径の異なる孔を開けて濃度の異なるNaCl水溶液を注入する方式のBPは、1個で同時に空間解像度とコントラストの総合的な視覚評価ができ、厚さ20mmの円形のアクリル板を使用し部分体積効果がないため、スライス厚を10mm以内で自由に変えることができる。また、CT値をNaCl水溶液の濃度で決定しているためスライス厚が変化しても常に目的のCT値を得ることができる。しかし、配列が決まっているための先入観の影響や、50%確信度の個人差など、診断用X線装置に用いるバーガーファントムと同様に評価者による変動が大きいという問題点があり、ファントム形状および視覚評価法の検討が今後の課題である。

Table 7 従来の方法と本論文の方式の比較一覧表

提案者	構造	使用するファントムの個数	部分体積効果
東村ら(1984)	CT用水ファントムに異なる径の孔の開いたポリスチレン円板を封入し、厚さの異なる複数の円板を使用	1	あり
Zatz et al.(1987)	異なる径の孔のあいたポリスチレン円板にアルコールを封入し、濃度の異なる複数の円板を使用	5	なし
京都科学(1996)	ウレタンに、材質と径の異なるウレタンの球を埋め込んだファントムを複数使用	コントラストの数だけ必要	あり
本論文	孔のあいたアクリル円板に、濃度の異なる食塩水を封入	1	なし

謝辞

本研究にあたり、視覚評価に御協力をいただいた国際医療福祉大学病院放射線室の診療放射線技師の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

Burger, G.E.C., 1950, Phantom tests with X-rays, Philips Technical Review 11, 291-298

土井邦雄, 1987, X線画像の信号検出と視覚特性の重要性, 日放技学誌, 43(6), 694-729

原孝則, 市川勝弘, 丹羽伸次, 2007, CT撮像系におけるスライス面の位置と方向に対する解像力特性の評価, 日放技学誌, 64(1), 50-56

Hara T., et al., 2010, Image quality dependence on in-plane positions and directions for MDCT images, EJIR, 75, 114-121

速水昭雄ら, 1991, X線CT装置性能評価に関する基準(案), 日放技学誌, 47(1), 56-63

東村享治, 伊藤武, 1984, Partial Volume型低コントラスト用ファントムの使用方法とその評価, 日放技学誌, 40(7), 1054-1059

日本放射線技術学会編, 1996, 臨床放射線技術実験ハンドブック, 442-446, 通商産業研究社

Zatz L.M., 1987, Imaging Quality in Cranial Computed Tomography, Journal of Computer Assisted Tomography, 2, 336-346