

卒業論文

題目：MDCTにおける実測値とコンソール表示被曝線量の精度検証

大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

(指導：医用物理工学講座 松本光弘 准教授)

氏名：大岩恵里香

(平成 25 年 12 月 6 日提出)

内容要旨

【題名】 MDCT における実測値とコンソール表示被曝線量の精度検証

【背景・目的】

IEC60601-2-44(2002)において被曝線量情報(CTDIvol、DLP)をオペレータコンソール上に表示することを勧告している。これらの線量情報は設定した撮影プロトコルに対応した値を表示するため、事前に線量を把握して検査を開始することができ、そのためプロトコル作成時及び変更時の有用な線量ガイダンスとして活用できる。そこで、このコンソール表示被曝線量が実測値とどれほどの精度を持っているのか検証した。

【方法】

装置は CT 装置 TOSHIBA 社 Aquilion64 と GE 社 CT750HD と TOSHIBA 社 Aquilion ONE(すべて MDCT)を使用した。線量評価は X 線 CT における線量測定マニュアル(公益社団法人日本放射線技師会)に準じた。ファントムは頭部用アクリルファントム(16cm φ × 15cm)と腹部用アクリルファントム(32cm φ × 15cm)、線量計は UNIDOS-E 及び TN30009 型 3.14cc 線量計を使用し、TOSHIBA 社 Aquilion ONE(320 列)のみ PTW30010 線量計でも測定を行った。撮影条件は、各装置 4 種類ずつ(320 列のみ 2 種類)設定して測定を行った。

【結果】

CTDIvol 表示値と実測値との誤差は表 1 に、CTDIvol 実測値の装置間の比較は表 2 に示す。

表 1. 各装置の列数ごとの CTDIvol 表示値と実測値の誤差(平均値)

	64列		32列		320列(腹部)	
	頭部	腹部	頭部	腹部	CTチェンバ	ファーマーチェンバ
TOSHIBA 社 Aquilion64	0.90	-0.81	3.35	1.90		
GE社 CT750HD	-12.92	-10.26	-2.16	0.52		
TOSHIBA社 Aquilion ONE	-4.42	3.92	-0.74	8.76	10.73	10.87

誤差(%)

表 2. 各装置の列数ごとの CTDIvol 実測値の比較

	64列		32列	
	頭部	腹部	頭部	腹部
TOSHIBA社 Aquilion64	73.81	44.36	77.6	46.42
GE社 CT750HD	52.32	25.16	54.49	26.3
TOSHIBA社 Aquilion ONE	81.96	35.27	89.56	38.43

単位(mGy)

【考察】

装置によって総ろ過などが異なるため、各装置の実効エネルギー、つまり線質は異なる。GE 社の装置で被曝線量が低く出たのは、実効エネルギーが大きいためであると考えられる。装置によって表示値と実測値の誤差は様々であるが、各施設が各装置においてこれらの特徴を把握することにより、コンソール表示被曝線量は概ね有用であるといえる。

1 背景

CTの性能はヘリカルCT、そしてマルチスライスCTへと飛躍的な進歩を続けており、これに伴いCTの検査件数の増加、適応範囲も拡大している。また、検査件数の増加とともに、マルチスライスCTではその装置性能の向上によりスキャン範囲が拡大される傾向にあり、また多時相撮影が頻繁に行われるようになってきている。これらの結果、医療被曝に占めるCTの割合が増加傾向にあることが指摘されており撮影条件の最適化と同時に検査時の線量を把握し、その妥当性を正しく評価することが求められている。

現在、CTの線量指標として国際規格の整備も進められており、その一つとしてIEC60601-2-44(2002年)においては線量情報(CTDIvol[mGy]、DLP[mGy・cm]など)をオペレータコンソール上に表示することを勧告している¹⁾。これらの線量情報は設定した撮影プロトコルに対応した値を表示するため、事前に線量を把握して検査を開始することができ、そのためプロトコル作成時及び変更時の有用な被曝線量ガイダンスとして活用できる。

2 目的

本研究の目的は、コンソール表示被曝線量が実測値とどれほどの精度をもっているのか検証することである。

CT装置は3種類のMDCTを用いて、各4種類(320列のみ2種類)の撮影条件を設定した。CTDI評価用アクリルファントムを用いて吸収線量を測定し、コンソール表示被曝線量と比較することで検証した。

3 使用機器・器具

- Multi Detector CT : TOSHIBA 社 Aquilion64(Fig 1)
GE 社 CT750HD(Fig 2)
TOSHIBA 社 Aquilion ONE(Fig 3)
- CTDI アクリルファントム : 頭部用 16cm Φ ×15cm(Fig 4)
腹部用 32cm Φ ×15cm(Fig 5)
- 線量計 : UNIDOS-E(Fig 6)
TN30009 型 3.14 cc線量計(CT チェンバ)(Fig 7)
PTW30010 線量計(ファーマーチェンバ)(Fig 8)
- 水銀温度計(Fig 9)
- アネロイド気圧計 : No.7610-20 SATO-KEIRYOKI 社製(Fig9)



Fig 1. TOSHIBA 社 Aquilion64



Fig 2. GE 社 CT750HD



Fig 3. TOSHIBA 社 Aquilion ONE



Fig 4. CTDI 頭部用アクリルファントム
(16cm Φ ×15cm)



Fig 5. CTDI 腹部用アクリルファントム
(32cm Φ ×15cm)



Fig 6. UNIDOS-E



Fig 7. TN30009 型 3.14 cc



Fig 8.PTW30010



Fig 9. 水銀温度計及びアネロイド気圧計

4 方法

4.1 吸収線量(CTDIvol)の測定

CT装置に Fig10 に示すように 16cm 径(頭部用)もしくは 32cm 径(腹部用)の CTDI 用アクリルファントムを配置し、Fig11 に示すように CT 用チェンバまたは ファーマーチェンバをファントムに差し込み、上下左右、中心の 5 点をそれぞれ 三回ずつ測定した。

撮影条件は次のとおりである。TOSHIBA 社 Aquilion64 では、基準の条件を 列数 64、Pitch factor(以下、PF):0.828、300mA、スライス厚 0.5mm とし、この基準となる条件からそれぞれ、列数 32(PF 0.844)、PF 0.641、管電流 150mA といった条件の一つずつ変更した全 4 種類の撮影条件で行った。FOV は頭部条件では S(240mm)、腹部条件では L(400mm)を用いた。TOSHIBA 社 Aquilion ONE での条件も上記と同じである。しかし、Aquilion ONE では 320 列の測定も行った。320 列での条件は、基準を列数 320、FOV:L(400mm)、300mA、スライス厚 0.5mm とし、そこから管電流 500mA に変更した、全 2 種類の撮影条件で行った。320 列の場合臨床ではほとんどが心臓 CT において使用されているということで FOV は腹部用の条件のみで行った。GE 社 CT750HD では、TOSHIBA 社の装置の条件とできるだけ近い条件となるように設定した。基準の条件を列数 64、PF 0.984、300mA、スライス厚 0.625mm とし、この基準となる条件からそれぞれ、列数 32(PF 0.969)、PF 0.516、管電流 150mA といった条件の一つずつ変更した全 4 種類の撮影条件で行った。FOV は頭部条件では SmallHead(250mm)、腹部条件では LargeBody (500mm)を用いた。

線量計は UNIDOS-E および TN30009 型 3.14 cc 線量計を使用し、320 列の測定のみ PTW30010Famer 線量計でも測定を行った。

TN30009 型 3.14 cc 線量計を使用した場合は式 1、2 を用い、PTW30010 線量計を用いた場合には式 3、4 を用いて吸収線量を測定した。

$$\bullet Nk = 8.176 \times 10^7 (\text{Gy} \cdot \text{cm}/\text{c}) \quad (\text{式 1})$$

$$\bullet D(\text{mGy}) = M(\text{nC}) \times Nk(\text{Gy} \cdot \text{cm} \cdot \text{C}^{-1}) \times 10 \times k_{tp} \times \frac{1}{NT} \quad (\text{式 2})$$

$$\bullet Nc = 49.54436(\text{mGy}/\text{nC}) \quad (\text{式 3})$$

$$\bullet D(\text{mGy}) = M(\text{nC}) \times Nc(\text{mGy}/\text{nC}) \times k_{tp} \quad (\text{式 4})$$

$$\cdot k_{tp} = \frac{273.2+T}{295.2} \times \frac{101.33}{P} \quad (\text{式 5})$$

*Nk : 空気カーマ校正定数

NT : X線ビーム幅

Nc : コバルト校正定数

ktp : 温度気圧補正係数

T : 温度

P : 気圧

D : 内部吸収線量(mGy)

M : 測定値(nC)

また、この線量を用いて、日本診療放射線技師会で採用されている「X線CTにおける線量測定マニュアル」²⁾に基づき、CTDI_w、CTDI_{vol}を(式6、7)で算出した。

$$\cdot \text{CTDI}_w = 1/3\text{CTDI}(\text{中心}) + 2/3\text{CTDI}(\text{上下左右の平均}) \quad (\text{式 6})$$

$$\cdot \text{CTDI}_{vol} = \text{CTDI}_w / \text{CT pitch factor} \quad (\text{式 7})$$



Fig10

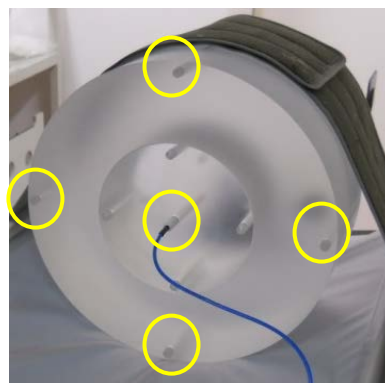


Fig11

4.2 測定線量の補正

測定した吸収線量には、予備実験にて診断用平行平板形 PTW-TN24069(6 cc)線量計との相互比較により補正係数を得た。補正係数は PTW-TN30009(3.14 cc)線量計では 1.04、PTW-TN30010(0.6 cc)線量計では 0.94 であった。

4.3 線量計の校正定数の不確かさ

それぞれの線量計の校正定数の不確かさを Table1 に示す。

Table1.各線量計の校正定数の不確かさ

型名	電離容積	不確かさ
TN24069	6cc	5%
TN30009	3.14cc	5%
TN30010	0.6cc	2%

4.2 で得た補正係数の不確かさは以下である。

$$\text{TN30009} : \sqrt{5^2 + 5^2} = 7.0[\%]$$

$$\text{TN30010} : \sqrt{5^2 + 2^2} = 5.4[\%]$$

計測値が上記不確かさの範囲であれば有意と判断できる。

4.4 実際のスキャン長(実効スキャン長)の検討

多列 MDCT ではスカウト像上に設定したスキャン長よりも実効スキャン長が長くなる傾向がある。DLP の計算では、設定スキャン長ではなく実効スキャン長を用いなければならないが、この値はコンソール表示値 $\text{DLP}[\text{Gy} \cdot \text{cm}]/\text{CTDIvol}[\text{Gy}]$ でしか知ることはできない。そのため各撮影条件下での実効スキャン長も調べた。設定スキャン長はすべて 10cm とした。

5 結果

TOSHIBA 社 Aquilion64 の結果を Table2 に示す。誤差は頭部の 64 列で約 1%、腹部で - 1% であり、概ね表示値と測定値は一致していた。

GE 社 CT750HD の結果を Table3 に示す。誤差は頭部の 64 列で約-13%、腹部で - 10% であり、表示値が約 1 割低くなっていた。

TOSHIBA 社 AquilionONE の 64 列での結果を Table4 に示す。誤差は頭部の 64 列で約-4%、腹部で 5% であった。

TOSHIBA 社 AquilionONE の 320 列での結果を Table5 に示す。CT チェンバとファーマチェンバの差はほとんどなく、補正係数の有意性が確認できた。また、320 列 CT ではどちらの線量計でも測定可能であった。さらに表示値が約 1 割高くなっていた。

各装置での設定条件による実効スキャン長を Table2～Table5 に示す。実効スキャン長は装置別、PF 別に依存していることがわかる。相対的に AquilionONE < CT750HD < Aquilion64 の順に大きくなっている。

各装置の列数ごとの CTDIvol 表示値と実測値の誤差の平均値をまとめたものを Table6 に示す。TOSHIBA 社 Aquilion64 では、表示値と実測値に大きな差は見られなかったが、GE 社 CT750HD では 64 列の場合実測値よりも表示値は 10% 程度低い結果となった。よって GE 社の装置では 64 列の場合、表示値は過小評価ぎみであることが分かった。

各装置の列数ごとの CTDIvol 実測値を比較したものを Table7 に示す。実測値の比較では GE 社の装置の方が被曝線量が低い結果となった。

Table2. TOSHIBA 社 Aquilion64

頭部					
基準: 列数64、PF 0.828、300mA、FOV S(240mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	74.3	1210	73.81	-0.67	16.29
150mA	37.1	605.3	36.86	-0.65	16.32
PF 0.641	96	1450	94.7	-1.37	15.10
列数32(PF 0.844)	80.2	1100	77.6	-3.35	13.72
腹部					
基準: 列数64、PF 0.828、300mA、FOV L(400mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	43.8	714.7	44.36	1.26	16.32
150mA	21.9	357.3	22.12	0.99	16.32
PF 0.641	56.7	855.7	56.8	0.17	15.09
列数32(PF 0.844)	47.3	648.4	46.42	-1.9	13.71

Table3. GE 社 CT750HD

頭部					
基準: 列数64、PF 0.984、300mA、FOV SmallHead、スライス厚 0.625					
	表示値[測定毎]		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	44.87	654.87	52.32	14.23	14.59
	[45.01]	[656.86]		13.97	
150mA	22.43	327.44	26.2	14.38	14.60
	[22.51]	[328.49]		14.08	
PF 0.516	89.66	1265.1	100.22	10.54	14.11
	[89.91]	[1268.64]		10.29	
列数32(PF 0.969)	53.14	651.52	54.49	2.48	12.26
	[53.49]	[655.84]		1.84	
腹部					
基準: 列数64、PF 0.984、300mA、FOV LargeBody、スライス厚 0.625					
	表示値[測定毎]		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	22.25	324.81	25.16	11.57	14.60
	[22.32]	[325.83]		11.3	
150mA	11.13	162.4	12.63	11.89	14.59
	[11.17]	[162.99]		11.58	
PF 0.516	44.47	627.47	48.21	7.77	14.11
	[44.61]	[629.36]		7.47	
列数32(PF 0.969)	26.35	323.14	26.3	-0.19	12.26
	[26.52]	[325.29]		-0.84	

Table4. TOSHIBA 社 Aquilion ONE(64 列)

頭部					
基準: 列数64、PF 0.828、300mA、FOV S(240mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	78.9	1027	81.96	4.07	13.02
150mA	37.3	485.8	39.24	5.27	13.02
PF 0.641	102	1315.6	105.72	3.91	12.90
列数32(PF 0.844)	89.2	1057.6	89.56	0.74	11.86

腹部					
基準: 列数64、PF 0.828、300mA、FOV L(400mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
基準	37.1	473.3	35.27	-5.19	12.76
150mA	17	216.6	16.83	-0.99	12.74
PF 0.641	47.9	606.2	45.36	-5.6	12.66
列数32(PF 0.844)	41.8	490.4	38.43	-8.76	11.73

Table5. TOSHIBA 社 Aquilion ONE(320 列)

腹部(CTチェンバ)					
基準: 列数320、FOV L(400mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
300mA	31.9	510.2	28.39	-12.36	15.99
500mA	53.2	850.4	48.76	-9.11	15.98

腹部(ファーマーチェンバ)					
基準: 列数320、、FOV L(400mm)、スライス厚 0.5					
	表示値		測定値	誤差(%)	実効スキャン長(cm)
	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy・cm)	CTDIvol(mGy)	CTDIvol	
300mA	31.9	510.2	27.82	-14.65	15.99
500mA	53.2	850.4	49.68	-7.09	15.98

Table6. 各装置の列数ごとの CTDIvol 表示値と実測値の誤差の平均

	64列		32列		320列(腹部)	
	頭部	腹部	頭部	腹部	CTチェンバ	ファーマーチェンバ
TOSHIBA 社 Aquilion64	0.90	-0.81	3.35	1.90		
GE社 CT750HD	-12.92	-10.26	-2.16	0.52		
TOSHIBA社 Aquilion ONE	-4.42	3.92	-0.74	8.76	10.73	10.87

誤差(%)

Table7. 各装置の列数ごとの CTDIvol 実測値の比較

	64列		32列	
	頭部	腹部	頭部	腹部
TOSHIBA社 Aquilion64	73.81	44.36	77.6	46.42
GE社 CT750HD	52.32	25.16	54.49	26.3
TOSHIBA社 Aquilion ONE	81.96	35.27	89.56	38.43

単位(mGy)

6 考察

線量測定値の有意性については、320列CTにおいてTN30009及びTN30010と診断用TN24069による補正値を考慮する事により、両者の誤差(10.73%/10.87%=1%)は校正定数の不確かさの範囲内であり、これによりCT線量計TN30009による計測値の信頼性が確認できた。

コンソール表示値はメーカーにおいても今回同様の測定結果から得られた値であることに変わりはないが、測定に用いられたCT装置及び線量計の相違により、今回のような誤差が出たと考えられる。しかしその誤差はいずれも線量計の不確かさの範囲内であったが、CT750HDでは設定条件によってはその範囲を超える結果となった。

実効スキャン長は、概ね、開発年の順に小さくなっていった。CT被曝線量(DLP)はCTDIvol×スキャン長となるため、(実効スキャン長)－(設定スキャン長)の長さの分だけ、被曝が増えてしまうことになる。

Table7に示す各CTDIvolの比較では相対的にCT750HDが低い値を示している。この理由として考えられることは、前述の実効スキャン長の短さと実効エネルギー(半価層)が高い³⁾事があげられる。総じて実効エネルギーが高い方が被曝線量は低下する。

これらのことより、それぞれに応じてCTDIvol、DLPは変化しているため、自施設のCT装置のコンソール表示値と実測値の把握が重要との結論を得た。

7 結語

装置によって表示値と実測値の誤差は様々であるが、各施設が各装置においてこれらの特徴を把握することにより、コンソール表示被曝線量は概ね有用であるといえる。

8 謝辞

本卒業論文を作成するにあたり、多くの有益な助言を賜りました大阪大学大学院医学系研究科医用物理工学講座 松本光弘准教授に深く感謝致します。また、本研究に対し快くご協力頂きました大阪大学医学部附属病院 医療技術部放射線部門の関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

9 参考文献

- 1) IEC 60601-2-44:Particular requirements for the safety of Xray equipment for computed tomography part2-44,Switzerland,2002.
- 2) 社団法人日本診療放射線技師会、医療被ばくガイドライン、2006年
- 3) 澤田徹也、他、当院での2機種間でのCT値の比較、第8回中四国放射線医療技術フォーラム、一般演題抄録 11-050、2012年