



会期：2006年4月7日
会場：パシフィコ横浜会議センター

日本放射線技術学会における線量標準の試み

西谷源展

京都医療技術短期大学

A Study of Standard Radiation Dosimetry by JSRT

Motohiro Nishitani

Kyoto College of Medical Technology

緒 言

1985年にW.C.レントゲンによってX線が発見されて以来、X線は医療に利用されてきた。その後には株式会社島津製作所により国産初の医療用X線装置が製作・販売されている。その後、X線装置も1972年にX線CT装置が開発されるなど大きな進歩を遂げてきた。X線は診断や放射線治療でも利用されるに至り、必然的にその量を測ることも必要となった。その測定原理は、電離作用や蛍光作用、写真感光作用など現在もほとんど変化していない。

わが国の医療における放射線測定は、主に放射線治療分野で始められ、1971年に日本医学放射線学会物理部会によって標準測定法が確立され、医療用線量標準センターが11施設の協力によって発足し標準化がなされた。

一方、診断領域のX線では、被曝線量の測定から標準化の動きはあったが、種々の困難性から進展しなかった。1988年に標準化の試みがなされ、以後もその研究が続けられ、2002年に全国10施設に診断領域の線量標準センターの設置が実現した。本報告書は、診断領域の線量標準センター設置までの経緯と今後の展望について述べる。

1. 本学会での診断領域X線測定の歴史

本学会では、1944年(昭和19年)に本学会誌第1巻第1号において、藤野戸五良により「管電流と照射力(r/min)との関係に就いて」と題して、X線装置からの出力測定が報告されている¹⁾。また、同号に柴崎俊彦による「妊婦撮影時のレ線量に就いて」と題して被曝線量の測定の報告が論文として掲載されている。この論文では、妊婦撮影時の空中線量は、仰臥位で $8.85 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ (3.43R)であったことを述べている²⁾。これらの論文で使用された線量計は、Kustner型線量計である。この線量計は電離箱型線量計で、1940年代には多

く使用され、200kVまでのX線に対する二次標準器として用いられていた。線量の標準としてラジウム(²²⁶Ra)を利用している。しかし、現在はほとんど使用されていない。

本学会における線量測定の研究発表は、今まで多くなされている。

・宿題報告

「線量測定の諸問題」第19回総会

木村幾生(レントゲン技術専修学校)³⁾

「照射線量測定の現況と将来への展望」第27回総会

樋口喜代治(岩手医科大学)⁴⁾

「X線診断領域における線量測定とその問題点」第30回総会

山田勝彦(京都放射線技術専門学校)⁵⁾

・シンポジウム

「診療時における被曝線量」第15回総会

「X線検査時の患者被曝線量の軽減について」第29回総会、第30回総会^{6,7)}

「先端医用画像と被曝線量」第51回総会⁸⁾

「IVR被曝の現状と低減策」第54回総会

このような宿題報告やシンポジウムは、放射線技術の進歩と密接に関連している。

1960年代は、今まで放射線測定が治療分野に偏っていたのが、ようやく診断領域に及んできた時代といえる。1970年代では、希土類蛍光体増感紙の出現で被曝線量の減少が図れるようになり、被曝線量測定が多く行われた。しかし、画像評価法が確立され始めると、より高画質を指向するようになり被曝線量は軽視されがちとなった。また、CT装置においても高画質指向は同様の結果となった。

その後、診断領域の被曝線量の増加が危惧されるようになり、IAEAによるガイダンスレベルの提唱やIVRによる皮膚障害の報告などから、再び被曝線量低減への関心が高まり、現在に至っている。また、放射線に

よる被曝はマスコミでも取り上げられるようになり、被検者の被曝線量への関心も高まってきている。

2. 診断領域X線測定法標準化への問題点

診断領域X線測定の問題点は、第一に低エネルギーであることがある。電離箱型線量計は最も線質特性がよい線量計である。指頭型では、線量計の壁厚は二次電子平衡を達成できる厚さが必要である。しかし、診断領域15~50keVの実効エネルギーでは数mg/cm²と非常に薄く、強度的に製作が困難である。第二には、X線撮影時の線量は、瞬間に大線量率となることである。しかし、総線量は比較的少ない。大線量率では、線量計のイオン再結合損失が問題となる。比較的電離体積の小さい線量計は電極間の印加電圧が高くイオン再結合損失は少ない傾向にある。しかし、電離体積が小さいことは、総線量の少ない場合には感度の面で不利となる。大きな体積で感度を上昇させると、イオン再結合損失は大きくなる。Table 1は、線量率(管電流)の変化を電離体積が3.6mlと30mlで比較したものである。イオン収集効率は管電流800mAでは、3.6mlが0.95であるが、30mlでは0.63となり、大きな影響を受ける。

3. 本学会における線量標準化への試み

3-1 「診断領域におけるX線量計測の標準化」1989年、1990年度での検討班

2年間にわたり、次の班員で標準化の検討を行った。

班員 長澤 弘(班長)、西谷源展、坂本弘己、砂屋敷 忠、野原弘基、藤本信久、森 剛彦

この検討班は、理想的な線量計の開発を目的として発足した。理想となる線量計は、測定エネルギー範囲は10~60keV、測定線量範囲は透視線量から撮影線量とした。この要求を満たす線量計は、壁厚が薄く、電離体積が数ml~30ml程度とした。

2年間の検討を行い、次の結論を出したが、検討班は満足な結果を得るに至らなかった。

- ・理想的な線量計の開発を試みたが、目的を満たす線量計の開発は不可能である。

- ・測定エネルギー範囲は、乳房撮影領域と一般撮影領域に分ける。

- ・一般撮影領域で理想に近い線量計を選択する。

選択基準 1. 指頭型線量計 2. 壁厚が薄い 3. 適切な電離体積

- ・安定した線量計で、校正システムを全国レベルで構築する。

以上の結論となり、種々の市販線量計をテストしたが、最終的には本学会予算内では、標準となる線量計

Table 1 電離体積の違いによるイオン再結合損失の比較

mA	照射条件80kV 100mS 10~800mA				
	10	100	320	500	800
線量計A	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
線量計B	1.00	0.90	0.80	0.73	0.63

電離体積A ; 3.6ml, B ; 30ml

の取得はできなかった。

その後、計測分科会では次のような活動を行い、標準化へのステップとした。

- 1994年 診断領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査(第1回)⁹⁾
 1995年 乳房撮影領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査(第1回)¹⁰⁾
 1996年 診断領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査(第2回)¹¹⁾
 1998年 乳房撮影領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査(第2回)¹²⁾
 2000年 照射線量計の保有状況の全国調査¹³⁾

3-2 「診断領域X線の標準測定の検討」1999年、2000年度での検討班

2年間は次の班員で検討を行った。班員は、本学会のみでなく他学会からも選任し、関係学会でコンセンサスの取れた内容とすることにした。

班員 西谷源展(班長)、岩波 茂、加藤二久、菊地透、熊谷道朝、古賀佑彦、小山修司、前越 久

ここでは、診断領域X線測定の標準化に際して、次の3点を活動内容とした。

- ・すべての関連学会で合意が得られた方法であること。
- ・治療領域の校正システムと同様な方法であること。
- ・線量計測の標準化には正確でトレーサビリティの取れた線量計の校正システムが必要であること。

前回の検討班の結論から、市販の線量計を選択して、線量計を正確に校正することを目標とした。

3-2-1 校正場の検討

線量計を校正する校正場の検討を行った。IEC規格では、線質は管電圧70kVで半価層2.7mmAIとしている。班員の所属する施設において、この線質の実現の可能性を検討した。現在の医療用X線装置は、総ろ過が2.5mmAIであり診療現場では可動絞りを加えると管電圧70kV、半価層2.7mmAIの線質は困難である結論を得た。

線質としては、その後の実験による検討から、管電圧70kV、半価層3.0±0.1mmAIを基準とすることとし

Table 2 検討班で設定した校正場の線質

kV	HVL	keV	QI
50	2.17	25.5	0.51
60	2.57	31.3	0.50
70	3.00	33.3	0.48
80	3.38	35.1	0.44
90	3.79	35.2	0.39
100	4.19	38.7	0.38
110	4.60	40.3	0.37
120	5.00	41.8	0.35

た。管電圧70kV、半価層 $3.0 \pm 0.1 \text{ mmAl}$ を設定した場合の各管電圧での線質は、Table 2に示す値となる¹⁴⁾。

校正場に使用するX線装置については、校正用の高精度X線装置が必要であるが、診療現場で得られる装置として安定性があり信頼性の高いX線装置を選択することとして、インバータ方式、三相12ピーク方式、定電圧方式の制御方式を基準とすることとした。

3-2-2 国内主要施設での検討

班員の所属する施設が保有する線量計について、東京都立保健科学大学(現 首都大学東京健康福祉学部)の保有する高精度X線装置と校正された線量計を用いて校正を行った。

参加施設は以下の6施設である。

- ・ 東京都立保健科学大学(現 首都大学東京健康福祉学部)
- ・ 北里大学医療衛生学部
- ・ 自治医科大学附属病院
- ・ 名古屋大学医学部保健学科
- ・ 富山医科薬科大学附属病院(現 富山大学附属病院)
- ・ 京都医療技術短期大学

校正された線量計を用いて、各施設において管電圧70kV、半価層 $3.0 \pm 0.1 \text{ mmAl}$ の校正場を設定した。こうして設定した校正場での各施設の半価層はよく一致した。

この校正場で蛍光ガラス線量計を使用して、50mR、100mR、300mRになるように比較照射を行った。このときの配置をFig. 1に示す。

この測定結果はFig. 2となった。このとき自治医科大学の値が若干外れたが、この施設は前述の校正場は設定されていなかった。設定されていた残りの3施設は比較的よく一致した。

この結果は、比較的よく整備された施設の状況である。しかし、診断領域X線の校正を全国レベルで実施するには、さらに多くの施設が必要となる。検討班では、全国でどの程度の施設が線量標準センターとして機能しえるかを検討するために、本学会の8部会に各

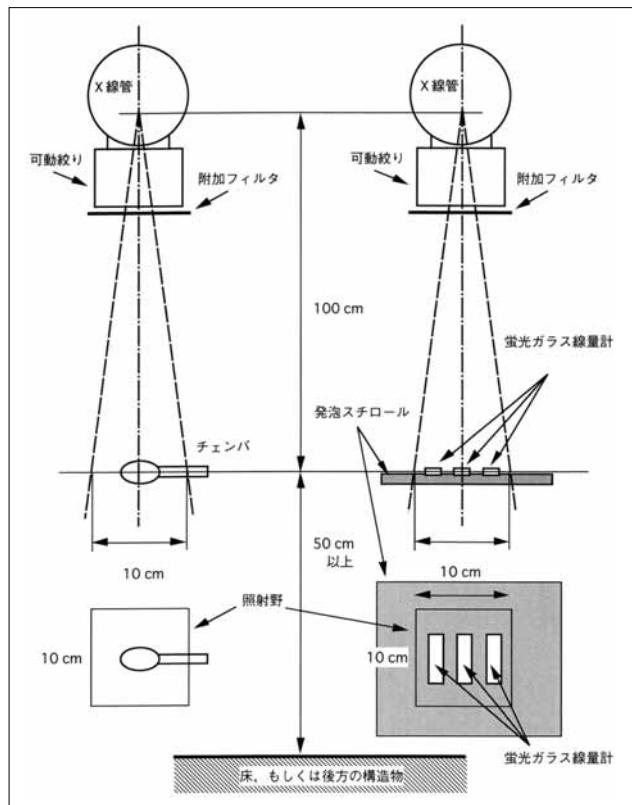


Fig. 1 校正場における線量測定の実験配置図

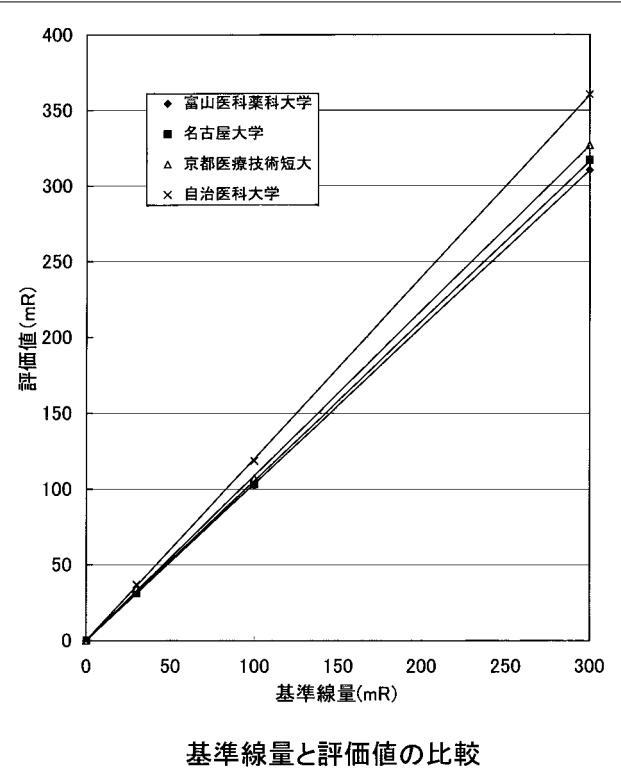


Fig. 2 校正場による線量測定の結果

Table 3 実験に参加した施設のX線装置と線量計

a) X線装置			b) 線量計(Electrometer)			c) 線量計(電離槽)			
メーカー	機種	台数	メーカー	機種	台数	メーカー	機種	容積(cm ³)	台数
Philips	MG165/4.5	1	Capintec	Model 192	3	Capintec	PR-06C	0.6	1
	Super50CP	1	Ionex	2000/3	4	Exradin	A4	30	1
Siemens	Polydoros	3		2590	2	Ionex	2580	0.6	1
				不明	1		shallow	0.3	1
島津	HD150B-30	2	NOMEX	7723	1		Thin Window	600	1
	UD150B-10	2							
東芝	DC-50F	1	PTW	UNIDS	1	PTW	N-30001	0.6	3
	KXO-1250	1					77334	1.0	1
	KXO-1250A	1	Radcal	1015	4		77335		1
	KXO-50F	1		1015C	1		W-23361	30	1
	KXO-50G	2		9015	10	Radcal	10X5-6	6	11
	KXO-80G	6	東洋メディック	RAMTEC 1000	3		10X5-60	60	1
	KXO-1000 , L2	1				Victoreen	550-4	30	1
			Victoreen	500	1		不明		7
日立	DH158HM	1		NERO 6000B	1				
	DHF1510H	2	極光	X線アナライザ	1				
	DHF153HII	1							
	DHF155H	3							
	DHF155HII	1							
	DHF158H	1							
	DHF158HII	1							

合計31本中，校正したもの23本

部会4~5 施設の推薦を受けて、33施設により同様の実験を拡大して行った。

実験に参加した施設の、X線装置および線量計(本体)、プローブをTable 3に示す。

実験の結果、X線装置の安定性に関する変動係数は、33施設中29施設が1%以内で良好であった。線量計の直線性においては、33施設中8施設が5%を超えた。総合的に考察した結果、33施設中で24施設(72%)で安定した結果が得られ、線量標準センターとして使用できる可能性があることが分かった^{15~17)}。

3-3 「診断領域における線量計校正システムの構築」

2001年、2002年、2003年度での検討班

この3年間の検討は、前年度の班員で行った。

これまでの検討で、診断領域X線の線量測定の標準化については可能であることが分かったが、本学会としての標準となる線量計の確保が予算的にできない状況に直面していた。しかし、今回は、東洋メディック株式会社のご好意によって線量計10台の寄贈を受けることになり、本研究は大きく進展した。

寄贈された線量計

本体 RAMTEC 1500B

検出部(プローブ) Wellhofer DC300

電離体積 2.98ml

壁材料 Shonkaplast C522

壁 厚 0.3mm

Table 4 JQAで校正された線量計の受け入れ試験の結果

線量計No	名古屋大学	京都医療短大
1	0.91	0.08
2	-0.07	-0.02
3	0.15	0.23
4	0.65	0.91
5	-1.65	-1.21
6	-0.90	-0.20
7	-0.08	0.60
8	1.53	0.48
9	-0.56	-0.49
10	0.03	-0.38

寄贈を受けた線量計については、京都医療技術短期大学で動作試験を行った後に国家標準とのトレーサビリティを図るために、(財)日本品質保証機構(JQA)において校正を行った。校正条件は、本検討班で指定する管電圧70kV、半価層 $3.0 \pm 0.1 \text{ mmAI}$ を指定して行った。

校正後の受け入れ試験は、名古屋大学医学部保健学科および京都医療技術短期大学で実施した。その結果、測定値に校正定数を乗じた値の平均値に対する偏差はTable 4に示すようにNo.5を除き、1%以内で良好な値を示した。No.5については翌年度のJQAでの校正値が1.11から1.09となりすべてが1%以内となった。

Table 5 線量標準センターが保有する校正用の機器

	X線装置	制御方式	温度計	気圧計	校正ジオメトリー
1. 北海道大学病院	UD-150-B	インバータ	標準温度計	アネロイド*	置換法または同時照射法
2. 東北大学	DHF-155HII	インバータ	水銀温度計	フォルタン	同時照射法
3. 北里大学	KXO-80G	インバータ	水銀温度計	フォルタン	同時照射法
4. 駒澤大学	PANTAK	インバータ	水銀温度計	フォルタン	置換法
5. 金沢大学	IRF-400-150	インバータ	標準温度計	フォルタン	置換法
6. 名古屋大学	KXO-1250	定電圧	乾湿式温度計	フォルタン	同時照射法
7. 京都医療技術短大	SHD-150G	定電圧	水銀温度計	フォルタン	同時照射法
8. 広島大学	KXO-80G	インバータ	標準温度計	フォルタン	同時照射法
9. 徳島大学	HD-150G-60	定電圧	標準温度計	フォルタン	置換法
10. 九州大学病院	DHF-155H	インバータ	水銀温度計	アネロイド*	同時照射法

*フォルタン気圧計にて校正

3-3-1 線量標準センターの募集

寄贈された線量計を全国に配置するために、「線量標準センター」の募集を本学会誌57巻8号で行った。線量標準センターとしての条件は、次の5項目とした。

- ・X線装置；三相12ピーク装置、インバータ装置、定電圧装置を保有している。
- ・管電圧70kV、半価層 3.0 ± 0.1 mmAIが設定できる。
- ・線量計の適切な維持ができる。
- ・年間10~15施設程度の相互比較ができる。
- ・将来的に地区の校正センターとして活動できる。

この条件を満たすことと、全国8部会に配置することを目的として次の10施設を線量標準センターとして決定した。

1. 北海道大学医学部附属病院
2. 東北大学医学部保健学科
3. 北里大学医療衛生学部
4. 東京都立保健科学大学 平成17年度より駒澤大学
医療健康科学部に変更
5. 金沢大学医学部保健学科
6. 名古屋大学医学部保健学科
7. 京都医療技術短期大学
8. 広島大学大学院医歯薬学総合研究科
9. 徳島大学医学部保健学科
10. 九州大学医学部附属病院

3-3-2 各線量標準センターの概要

各線量標準センターは、各地区の中心となる診療放射線技師養成校や大学附属病院となっている。それぞれの施設で使用しているX線装置等をTable 5に示す。

10施設のなかで、特に線量標準センターの中心的な役割をする施設(中心センター)として駒澤大学医療健康科学部を指定している。ここでは、校正場として、高精度X線装置(線量計校正用X線装置)を保有してい



Fig. 3 駒澤大学(中心センター)の校正場

る。また、ここに配置する線量計は、毎年1回JQAにおいて校正を行っている(他の施設は、2年ごとの校正となっている)。

駒澤大学医療健康科学部のX線装置の概要は次のようにになっている。

線量計校正用X線装置(HF-160S)

固有フィルター	1mm Be
管電圧	10~160kV連続可変
管電流	大焦点 0.1~50mA 小焦点 0.1~10mA
Ripple	±0.1%以下
電圧安定度	±0.05%以内
電流安定度	±0.05%以内
精度	電圧、電流ともに±1%以内
シャッター開閉時間	0.3sec

X線装置の概要および校正場をFig. 3に示す。

3-3-3 線量計の相互比較(校正)のためのプロトコールの概要

線量計の相互比較(校正)を行うために、X線装置などの校正場の設定や相互比較方法は、各線量標準セン

ターで統一したものが必要となる。相互比較のためのプロトコールを作成して統一を図った。その概要は、次のとおりである。

線量計比較測定試験のプロトコール(概要)

1. 使用機器の基準

- 1) 基準線量計 2) X線発生装置
- 3) 付加ろ過板 4) HVL測定用減弱板
- 5) 温度計 6) 気圧計 7) 湿度計

2. 校正場の基準

- 1) 線質 2) 線量 3) 線量率
- 4) 一様性 5) 幾何学的条件

3. 線質の評価法

- 1) 半価層 2) 管電圧

4. 空気密度と湿度の測定・評価法

- 1) 気温 2) 気圧 3) 空気密度補正係数
- 4) 湿度

5. 校正係数の評価法

- 1) 置換法 2) 同時照射法

- 3) 比較試験報告書の様式

6. 本トレーサビリティ体系が用いる物理定数

純粋なアルミニウムの密度, W値, 照射線量の換算係数

7. 比較試験で用いるデータシートの例

8. 減弱率測定用フィルターの厚さの校正

これらについて、詳細に検討を行って線量計比較測定試験のプロトコールを規定した。本プロトコールに準拠して、各線量標準センターにおいて試験的に運用を開始した。

4. 現在の活動

4-1 各線量標準センター間の相互比較

各線量標準センターでは、統一したプロトコールに基づいて比較試験を実施している。しかし、各センター間の比較測定を実施するには、基準となる線量計を巡回させて、それぞれの校正值を比較することが必要となる。そこで、測定値の再現性のよい線量計を選択して各センターを巡回して測定することとした。巡回線量計として、RTI社製造のSolidose 308M型を選択した。

2005年8月から2006年2月にわたり、10カ所の各センターを巡回して比較測定を実施した。参考のために、協力施設として首都大学東京にも参加の協力を得た。

4-1-1 相互比較結果

相互比較に使用した巡回線量計は乳房撮影用であるために、校正係数は大きな値となっている。管電圧50kV, 60kV, 70kV, 80kV, 90kV, 100kV, 120kVにおいての校正係数はTable 6のようになった。

中心センターである駒澤大学医療健康科学部の校正值とその他の9施設の平均値はよく一致している。平均値に対して、120kVを除けば±2.5%以内で、120kVを含めると±3%以内となった。また、高精度の線量計校正用X線装置を有している、駒澤大学医療健康科学部と首都大学東京の比較では、Table 7のようになつた。

駒澤大学の値に対して、首都大学東京は最大で-2.58%を示した。

これらの結果から、線量標準センターの相互比較では良好な結果を得ることができた。

4-2 各線量標準センターの精度の維持

各センターに設置した線量計は、毎年1回は校正することが理想的である。しかし、本学会の予算的制約から、中心センターは毎年実施するがその他のセンターでは2年ごとに(財)日本品質保証機構(JQA)で行っている。

中心センターでは、管電圧40kV, 50kV, 70kV, 100kV, 120kV, 150kVの6点の校正を行っている。その他のセンターでは、70kV, 120kVの2点で行っている。2年ごとの校正となるために、中途で校正值等に疑義が生じた場合は中心センターで比較試験を行うことになっている。それぞれの年度におけるJQAでの校正值をTable 8, 9に示した。

5. 今後の課題

5-1 各線量標準センターの比較試験精度の向上

各センター間の比較測定では、よい結果を得ている。しかし、さらに向上するための努力を常に行う必要がある。そのためには線量標準センター会議を開催して、精度向上の研究が必要である。2006年度に開催を予定している。

5-2 診断領域線量計の普及

2000年度に計測分科会で実施した「照射線量計の保有状況の全国調査」では、病床数300床以上の医療施設1000カ所にアンケート調査した。回収率62.5%(625施設)で、保有施設数163施設で平均保有台数2.7台であった。Fig. 4に結果を示す¹³⁾。

これらの施設でも、診断領域に使用できるものは、電離体積から44%程度である。この状況は、保有施設が22%であることから、適切な線量計は約1割程度しか普及していないことになる。この原因は、線量計が比較的高価であること、および測定に対する意識の希薄な面に起因するであろう。価格については、安価な(100万円程度)での供給が可能となっている。X線装置やCT装置に比較するには間違いかもしれない

Table 6 線量標準センターの校正值と駒澤大学の校正值の比較

kV	50	60	70	80	90	100	120
駒澤大学	61.71	61.32	61.20	61.09	61.03	60.78	60.67
全国平均	61.55	61.09	61.13	61.09	61.14	61.12	60.98
SD	0.714	0.662	0.653	0.654	0.681	0.689	0.711
CV%	1.16	1.09	1.07	1.07	1.11	1.13	1.17
最大%+	1.31	1.01	1.37	1.55	2.20	2.52	3.01
最小%−	2.40	1.77	2.12	1.87	1.79	1.25	1.24

Table 7 線量計校正用X線装置を保有する駒澤大学と首都大学東京の校正值の比較

kV	50	60	70	80	90	100	120
駒澤大学	61.71	61.32	61.20	61.09	61.03	60.78	60.67
首都大学東京	60.77	59.74	59.81	59.66	59.68	59.67	59.66
誤差%	-1.52	-2.58	-2.27	-2.34	-2.21	-1.81	-1.66

誤差は駒澤大学と比較した誤差(両施設とも線量計校正用X線装置)

Table 8 線量標準センターの保有する基準線量計のJQAによる校正值の推移

年度	2003年		2004年		2005年	
	70kV	120kV	70kV	120kV	70kV	120kV
No.1	1.01	1.10	1.10	1.10		
No.2	1.11	1.11	1.11	1.11		
No.3	1.10	1.09	1.10	1.09		
No.4	1.11	1.10	1.11	1.11		
No.5	1.10	1.10	1.11	1.10	1.10	1.10
No.6	1.11	1.10			1.10	1.10
No.7	1.11	1.10			1.12	1.11
No.8	1.09	1.09			1.09	1.09
No.9	1.10	1.10			1.10	1.10

Table 9 駒澤大学(中心センター)の保有する基準線量計のJQAによる校正值の推移

kV	2004年	2005年
40	1.11	1.11
50	1.10	1.11
70	1.10	1.10
100	1.10	1.10
120	1.10	1.10
150	1.10	1.10

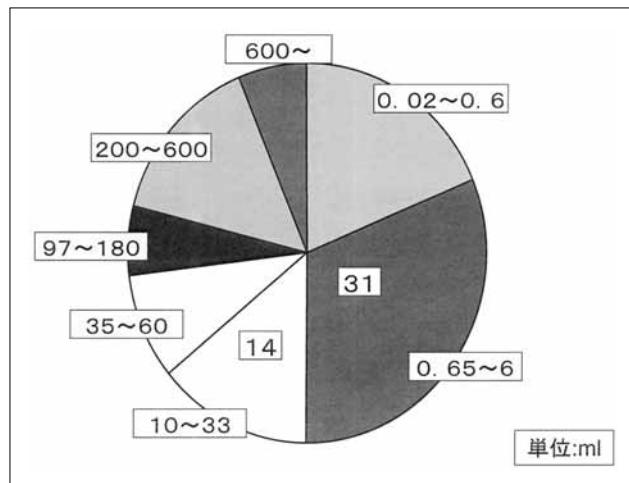


Fig. 4 調査した保有線量計の電離体積

が、この程度の価格の線量計は保有してほしいものである。また、有害とされる放射線を人体に照射する場合に、少なくともどれだけの線量であったのかを確認しておくのは、放射線診療に従事するものの責任ではないだろうか。

5-3 線量標準センターの増強

現在10カ所の線量標準センターでの運営が行われているが、今後に予想される線量計の保有台数の増加には対応することができない。少なくとも各県に1カ所はセンターが設置されることが望ましい。しかし、これは本学会が行うには莫大な費用が必要となる。適切な線量計を保有する施設の協力が不可欠であろう。

6. 結語

1988年から2003年の15年間にわたって本学会で診断領域X線の標準測定を研究・模索してきた。現在、やっと線量標準センターとして第一歩を踏み出した。まだまだ各センターでの実績は少ないが、徐々に増加すると思われる。

この、線量標準センターの設立にあたっては、東洋メディック株式会社の多大なるご寄付によって達成されたことに深甚の謝意を表します。

本報告にあたり、4回にわたって研究班の設置を許可いただいた本学会にも感謝いたします。また、本報告は、研究班の皆様を代表してまとめさせていただきました。研究班の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)藤野戸五良、汲田敏男：管電流と照射力(r/min)との関係について。日本レントゲン技術員学会誌, 1(1), 13-14,(1944).
- 2)柴崎俊彦：妊婦撮影時のレ線量について。日本レントゲン技術員学会誌, 1(1), 21-24,(1944).
- 3)木村幾生：線量測定の諸問題。日放技学誌, 19(1), 1-38,(1963).
- 4)樋口喜代治：照射線量測定の現況と将来への展望。日放技学誌, 27(1), 1-22,(1971).
- 5)山田勝彦：X線診断領域における線量測定と問題点。日放技学誌, 30(2), 176-208,(1974).
- 6)仙貫忠夫、後藤勝正、宮下五郎、他：X線検査時の患者被曝線量の軽減について。日放技学誌, 29(3), 220-259,(1973).
- 7)宇山茂樹、砂屋敷忠、丸山静雄、他：X線検査時の患者被曝線量の軽減について。日放技学誌, 30(3), 276-312,(1974).
- 8)土屋 明、横山博典、水谷 宏、他：先端医用画像と被曝線量。日放技学誌, 52(1), 27-47,(1996).
- 9)前越 久、木村千明、小山修司、他：診断領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査の結果の報告。計測分科会誌, 2(2), 8-10,(1994).
- 10)前越 久：乳房撮影領域X線の照射線量測定精度標準化に関する全国調査。計測分科会誌, 3(2), 38-41,(1995).
- 11)西谷源展、大釜 昇、木村千明、他：診断領域X線の照射線量測定精度標準化に関する第2回全国調査の報告。計測分科会誌, 5(2), 11-15,(1997).
- 12)西谷源展、大釜 昇、木村千明、他：乳房撮影領域X線の照射線量測定精度標準化に関する第2回全国調査の結果報告。計測分科会誌, 6(2), 12-17,(1998).
- 13)西谷源展、大釜 昇、加藤 洋、他：照射線量計の保有状況の全国調査。計測分科会誌, 7(2), 20-21,(1999).
- 14)菊地 透、加藤二久、小山修司、他：診断領域における線量標準測定法の確立。計測分科会誌, 8(2), 2-10,(2000).
- 15)加藤二久、西谷源展、小山修司、他：入射表面線量測定用線量計のトレーサブルシステム確立の可能性。計測分科会誌, 9(1), 47-53,(2001).
- 16)加藤二久、西谷源展、小山修司、他：診断領域X線用線量計のトレーサブルシステム構築に向けて。日放技学誌, 57(12), 1438-1443,(2001).
- 17)西谷源展、岩波 茂、加藤二久、他：診断領域X線の標準測定検討班報告。日放技学誌, 59(1), 85-88,(2003).
- 18)前越 久、藤本信久、森 剛彦、他：診断領域X線の照射線量の現状と問題点。日放技学誌, 51(4), 524-547,(1995).
- 19)花山正行、佐藤州彦、古田 求、他：IVR被曝の現状と低減策。日放技学誌, 55(1), 23-42,(1999).
- 20)西谷源展：診断領域線量計の校正システムの紹介。計測分科会誌, 12(2), 43-46,(2004).
- 21)大塚昌彦、八木浩史、小山修司、他：診断領域線量計校正センターの現状。計測分科会誌, 12(1), 4-13,(2004).