原 著

KEYフィルタと銅-アルミニウムフィルタの特性の比較

木村 均・久保田護¹⁾・斎藤 隆・藤森 明・須崎勝正・神 寿宏
 榎木 聡・白川浩二・森田竹史・大谷雄彦・安倍勝美

論文受付
 1997年1月8日

論文受理
 1997年5月15日

Code No.621,
 734

弘前大学医学部附属病院放射線部
 1) 弘前大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

1. はじめに

近年国民の医療被曝は増加の一途をたどり、社会問題とさえなりつつある。従来より被曝低減に対し感材系、装置系など種々の方面から検討され続けている¹⁻³⁾。

最近、低エネルギー域のX線の特異的に吸収し被曝低減に著しく効果があると言われるKEY-filter(以下、KF)が発売され、各方面で注目されその効果が報告されている⁴⁻⁶⁾。

過去においても、低エネルギー域のX線を吸収する目的でニオブ、イットリウムなどK吸収端を考慮した材質の効果について、考案、報告されている^{7,8)}。

しかし、簡便に入手できるアルミニウムを用いたフィルタの報告もされている⁹⁾。

われわれも、過去においてパソコンによるシミュレーションより、アルミニウム板を用い任意の波長域をもったX線の作成について検討し、同様の結果を得ていた¹⁰⁾。

これらのことをふまえ、KFと従来から使用されてきた銅およびアルミニウム板によるフィルタについて、透過X線スペクトル、各種線量、蛍光量等を比較してみた。さらにKFの散乱X線から材質の推定を試みた。

Comparison between KEY and Copper Plus Aluminium Filters

HITOSHI KIMURA・MAMORU KUBOTA¹⁾・TAKASHI SAITOH・AKIRA FUJIMORI
 KATSUMASA SUZAKI・TOSHIHIRO JIN・SATOSHI NARAKI・KOUJI SHIRAKAWA
 TAKESHI MORITA・YUUKI OHTANI and KATSUMI ABE

Department of Radiology, Hirosaki University Hospital
 1) School of Allied Medical Sciences, Hirosaki University

Received Jan.8,1997; Revision accepted May 15,1997; Code No.621,734

Summary

The KEY-filter(KF) is said to greatly reduce exposure dose by absorbing x-rays in the low energy region, where there is an undesirable increase in exposure. This effect has been reported by various workers. In this study, the effects of the KF on transmitting x-ray spectrum, various doses, fluorescence, exposure condition, etc., were compared with those of filters consisting of copper plus aluminium. Materials composing the KF were also estimated from the spectrum of scattering x-rays. The experimental results showed no difference between the KF and the copper-plus-aluminium filter on any item examined. Characteristic x-rays of copper and tin were observed in the scattering x-ray spectrum of the KF. Accordingly, it seems that the copper-plus-aluminum filter can be substituted for the KF.

Key words: KEY-filter, Copper plus aluminium filter, X-ray spectrum, Thoraeus filter, Exposure dose

2. 使用機器

本研究に使用した機器を以下に示す.

線量, 蛍光量測定X線装置:

株式会社東芝製 KXO 2050

総濾過 2.9mmAl

スペクトル測定X線装置:

株式会社東芝製 DC-15KA-BJ

総濾過 0.7mmAl

高純度ゲルマニウム半導体検出器:

EG & G ORTEC

GLP-0616/05

波高分析器: CANBERRA Industries. Inc.

SERIES 35

線量計: NUCLEAR ENTERPRISES LTD

IONEX 2500/3

2581 #148

蛍光量計: トーレック株式会社製 EY-1001D,

蛍光体 FS

ファントム: 京都標本科学株式会社 BMU-1

フィルム, 増感紙:

日本コダック株式会社

TMG, LaneX-R

黒化度計: 富士メディカルシステム株式会社

MODEL 301 RS

KEY-filter: エックスレイプラス株式会社

40~70kV用

X線管の総濾過に関しては, アルミニウムフィルタ等のさらなる付加は行っていない. また, 使用した銅およびアルミニウム板は半価層測定用として市販されているものだが, 材質の純度は確認していない.

KFの使用方法是, カタログ中の着脱式KEYフィル

タの基本的撮像方法の項目中に, 半定量撮像の場合として挙げられている, 管電圧に対してKFを1~数ランク下げて使用する方法を選択した. これは使用するKFと撮影条件との対比が単純で, 各種測定結果の比較が容易と考えたからである.

KFはX線管への装着部位により二種類ある. 今回われわれはX線管の絞り前面に装着する, 大きいサイズのものを使用した. また, KFにはX線入射方向の指定がない. そこで, Fig.1にFで示す面を表側, X線入射面とした.

3. 方法

3-1 透過X線スペクトルの測定

KFの効果を確認するためにGeスペクトロメータを用い, 各管電圧ごとにフィルタのない時と, KFを使用した時の透過X線スペクトルを求めた. 測定はX線管電流をdead timeが5%以下になるように調節し, 測定時間を一定として行った.

得られた透過X線スペクトルで, 制動放射領域の最大カウントを示したエネルギーを求めた. 管電圧60, 70kVでは40keV付近で, また管電圧80, 90kVでは50keV付近で最大カウントを示した. この値の線減弱係数より, 管電圧ごとにアルミニウムの厚さを0.505mmとした時必要とされる銅の厚さを式(1)より求めた.

$$I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \times e^{-\mu_2 x_2} \dots \dots \dots (1)$$

I : フィルタを付けた時の光子数

I_0 : フィルタを付けない時の光子数

μ_1 : アルミニウムの線減弱係数

μ_2 : 銅の線減弱係数

x_1 : 一定としたアルミニウムの厚さ

x_2 : 求める銅(フィルタ)の厚さ

(管電圧 60, 70kVでは40keV.

80, 90 kVでは50keVの値で計算)

計算結果より各管電圧に対応した銅板とアルミニウム板の組合せでフィルタを作成し(以下, CA), 透過X線スペクトルを求めKFと比較, 検討した. 透過X線スペクトルを求めた各器材の配置を, Fig.2-Iに示す.

3-2 線量計による測定

スペクトル測定時, 大幅な光子数の減少がみられたことからX線量の減少が考えられた. そこで各フィルタによるX線の吸収の割合を求めるため, 管電圧ごと

Fig. 1 Photograph of KEY-filter. F is the face of the KF and x-ray entrance plane.

に空気中の照射線量を測定した。X線の照射条件は、管電流 500mA、撮影時間 100msec一定とした。線量測定時の各機器の測定配置図をFig.2-IIに示す。

3-3 ファントム表面の照射線量および透過線量、蛍光量測定

フィルタを使用すると被曝線量が減少することは知られており、KFも資料中にそのことが述べられている。そこでフィルタを使用せず、椎体横の濃度が同じになるように各管電圧ごとに管電流を500mA一定とし、撮影時間を調節して腹部用ファントムの撮影を行った。

次に各管電圧に対応したKF、CAフィルタを用い、撮影条件の調節を同様にして撮影を行い、濃度を揃えた。この撮影条件下でのファントム表面の照射線量、蛍光量を求め、フィルタ有無時の比較をした。各機器の測定配置図をFig.2-IIIに示す。

またファントム透過線量、蛍光量を測定し、フィルム濃度との関係性を求めた。測定はFig.2-IIIのファントム(H)の下に測定機器(G)を置きに行った。

3-4 撮影条件の比較

われわれの日常使用している装置はその性格上、定格についてはあまり余裕を有していないことが多い。また、撮影対象となるのは動きを有する人体であるため、撮影条件には種々の制約が生じる。したがって、いかに有用な撮影補助具といえども、この条件に合わないものを使用する際は種々のリスクを背負うことになる。そこでKF、CAを使用した場合装置に要求される撮影条件について検討をしてみた。

3-3検討項目のX線写真の濃度を揃えた実験では、フィルタを使用すると蛍光量の減少がみられた。そこで、フィルタを使用しない時と同じ蛍光量を得ることができる撮影条件を各管電圧ごとに、管電流を500mA一定とし撮影時間を変化させて求めた。各機器の測定配置図はFig.2-IIIと同じである。

また、撮影条件はファントムの厚さに影響される可能性もある。そこで、ファントムのない状態でのフィルタ有無時での蛍光量の差を調べ、その時の撮影条件

Fig. 2 Schematic diagram illustrating the arrangements of the devices and parameters for this experiment.

- A : x-ray tube
- B : diaphragm (10mm×10mm)
- C : collimator 1mmφ
- D : collimator 1mmφ
- E : filter
- F : Ge detector (Pb shield)
- G : dosimeter, fluorescence meter
- H : phantom

を比較した。管電圧ごとに、管電流を500mA一定とし撮影時間を変化させ求めた。それぞれの各機器の測定配置図をFig.2-IIに示す。

3-5 KFの構成物質の推定

物質にX線を照射し、発生した特性X線のエネルギーから物質の材質を推定することができる。そこでKFの散乱X線スペクトルを測定し、構成物質の推定を試みた。各器材の配置をFig.2-IVのようにし、KFの散乱X線スペクトルを求め、次にフィルタをとり去り、バックグラウンドのスペクトルを求め各エネルギー間で減算を行い、残ったピークのエネルギーを求めた。その値を各元素ごとのX線放射エネルギーと吸収端の表¹⁾に照らし合わせ材質を推定した。得られた結果より、使用していると推定された材質のスペクトルも測定し比較した。また、KFを裏返し、裏面の散乱X線スペクトルも測定した。

4. 結 果

4-1 透過X線スペクトルの測定

管電圧と使用したKF、計算より求めた銅の厚さ、実験に使用した銅-アルミニウム板の組合せをTable 1に示す。管電圧の上昇とともに銅板の厚さは増加し、90kVでは計算上 0.60mmとなった。

Fig.3に各管電圧ごとのフィルタなし、KF、CAの透過X線スペクトルを示す。KFとCAのグラフは各管電圧とも一致していた。

Table 1 Filters used for experiments and calculated values according to various x-ray tube voltages.

X-ray tube voltage	KEY filter	Calculated value	Filter used for experiments
60kV	40kV	Cu 0.118mm	Cu 0.11mm + Al 0.505mm
70kV	50kV	Cu 0.229mm	Cu 0.20mm + Al 0.505mm
80kV	60kV	Cu 0.373mm	Cu 0.31mm + Al 0.505mm
90kV	70kV	Cu 0.603mm	Cu 0.51mm + Al 0.505mm

Cu: copper Al: aluminium

Fig. 3 X-ray spectra of transit KEY-filter and copper-aluminium filter.

Table 2 Air dose ratios.

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	1.0	0.38	0.33
70kV	1.0	0.26	0.25
80kV	1.0	0.23	0.22
90kV	1.0	0.18	0.18

* Tube current: 500mA Timer: 100msec

4-2 線量計による測定

Table 2に、フィルタを使用しない時を1.0とした測定値の比を示す。X線量の吸収をフィルタの有無について管電圧ごとに比較してみると、管電圧が上昇するに従い著しく、KF, CAとも、管電圧が90kVの際には

吸収率が82%に達した。

4-3 ファントム表面および透過線量、蛍光量測定

椎体横の黒化度を揃えた撮影条件でのファントム表面の照射線量比を、フィルタを使用しない時を1.0とし、Table 3-Iに示す。表面の照射線量の減少率は管電圧の上昇にあわせて著しく、両フィルタとも管電圧90kVでは約70%にも達した。

蛍光量の測定結果をTable 3-IIに示す。表面の照射線量測定時と同様な結果が得られ、KF, CAによる違いは認められなかった。()内にフィルタを使用しな

い時を1.0として求めた比を示す。

Table 4に、ファントム透過線量、蛍光量測定結果を表面の測定値と同様に示す。線量測定では、管電圧70kVでフィルタ有無に差がみられた。

蛍光量測定では、各管電圧ともフィルタなしに比較し低い値となった。KF、CAを比べてみると若干の違いがみられた。

4-4 撮影条件の比較

腹部用ファントムを使用した撮影では撮影時間の倍率はKF、CAとも1.56～2.0となった。Table 5-Iにそれらの結果を示すが、フィルタの種類による違いはなかった。

ファントムなしでも撮影時間は管電圧が高くなるにつれて長くなり、KFでは90kVで640msecになった。これはフィルタを使用しない時の6.4倍に相当する。CAについても同じ値となりその差はなかった。その他の管電圧でもKFとCAによる違いはなかった。Table 5-IIにそれらの結果を示す。

Table 3-I Air dose ratios with phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	1.0	0.53	0.53
70kV	1.0	0.37	0.39
80kV	1.0	0.33	0.36
90kV	1.0	0.29	0.34

* Tube current: 500mA

Table 4-I Transit dose ratios with phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	1.0	0.8	1.0
70kV	1.0	0.67	0.67
80kV	1.0	1.0	1.0
90kV	1.0	1.0	1.0

* Tube current: 500mA

Table 5-I Exposure conditions with phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	320 (339) **	500 (190)	500 (190)
70kV	80 (139)	120 (53)	120 (55)
80kV	40 (96)	64 (31)	64 (34)
90kV	20 (63)	40 (18)	40 (20)

* Unit: msec Tube current: 500mA

** Fluorescence is shown in parentheses.

4-5 KFの構成物質の推定

結果をFig.4に示す。FはKFの表側、Bは裏側の散乱X線スペクトルを示す。グラフに示すようにF側では4本のピークが観察され、それらは銅のK α (8.048keV, 8.028keV)と、K β (8.905keV, 8.979keV)のもの、錫のK α (25.271keV, 25.044keV)と、K β (28.486keV, 29.111keV)のものと吸収端の表より判定した。KFの資料中に記載されているアルミニウムのスペクトルはエネルギーが低すぎ測定でできなかった。KF裏面では、Bのグラフに示すように60kV用では銅のピークが消失した。

Fig.5に銅と錫のスペクトルをKFに重ねて示す。KFで観察された各ピークに良く一致していた。

5. 考 察

今回の実験において、透過X線スペクトルの測定はフィルタをX線管絞り直後に設置して求めるのが最適と思うが、装置配置の都合上できなかった。配置を変えると低エネルギー域の形状に変化があるかもしれない。しかしながら、同一条件で測定した各フィルタ間

Table 3-II Fluorescence with phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	339 (1.0) **	190 (0.56)	191 (0.56)
70kV	139 (1.0)	53 (0.38)	55 (0.40)
80kV	96 (1.0)	31 (0.32)	34 (0.35)
90kV	63 (1.0)	18 (0.29)	20 (0.32)

* Tube current: 500mA

** Ratios are shown in parentheses.

Table 4-II Transit fluorescence with phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	2.45 (1.0) **	2.19 (0.89)	2.20 (0.90)
70kV	1.40 (1.0)	1.01 (0.72)	1.03 (0.74)
80kV	1.24 (1.0)	0.84 (0.68)	0.88 (0.71)
90kV	0.98 (1.0)	0.65 (0.66)	0.70 (0.71)

* Tube current: 500mA

** Ratios are shown in parentheses.

Table 5-II Exposure conditions without phantom.*

Tube voltage	No filter	KEY filter	(Copper + Aluminium) filter
60kV	100 (78) **	250 (69)	250 (69)
70kV	100 (120)	400 (111)	400 (116)
80kV	100 (167)	500 (147)	500 (160)
90kV	100 (214)	640 (177)	640 (198)

* Unit: msec Tube current: 500mA

** Fluorescence is shown in parentheses.

Fig. 4 Scattered x-ray spectra of KEY-filter. Lower curve represents data with the KEY-filter turned over.

Fig. 5 Scattered x-ray spectra of the KEY-filter, copper and tin.

に透過X線スペクトルの差は見いだせなかった。

ファントム表面の照射線量の測定では、フィルタにより大幅なX線の吸収があった。このことより、被曝線量の減少を期待できることを示していると思われる。

ファントム透過線量、蛍光量の測定結果、フィルタ有無に若干の違いが生じた。特に蛍光量では最大34%

の違いであったが、写真の濃度には違いがなかった。

線量測定結果より被曝線量の減少は期待できるが、撮影条件は約2倍の設定を必要とした。この値は実際の撮影時、X線機器の定格、撮影部位、フィルタの使用法、感材系などを含め今後検討すべき問題を生じると考える。ファントムを除いた撮影条件の倍率は最大で約6倍となり、被写体の厚さによる影響が大きいと考える。

散乱X線のスペクトル測定では、銅と錫のスペクトルが観察され、かつてX線深部治療に使用された Thoracius filterに近い組成と判断した。ただ、60kV用KFの裏面で、銅のスペクトルが消失した原因については不明である。

6. 結 語

使用目的に最適なエネルギー分布を持つX線を得ることは従来から検討されており、この種のフィルタの研究が数多くされてきた。しかし、先に述べたように従来から使用されてきた物質でも同等の効果を得られると報告されている。今回われわれの研究は、KFが他の物質に比較し、低エネルギー域を特異的に吸収しているのではなく、また、従来使用してきた銅-アル

ミニウム板の組合せでも同等の効果が期待できるということを示した。

最後にこれらのフィルタの使用に関しては、まだ問題があると考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に快く装置の使用を許可して下さいました弘前大学医療技術短期大学部 神廉教授にお礼申し上げます。また、KEY-filterならびに各種資料を提供していただきましたKSオリンパス株式会社に心より感謝いたします。

本論文の要旨は第51回日本放射線技術学会総会、第33回東北部会にて発表した。

参考文献

- 1) 澤田道人, 拓植達矢, 山中由紀, 他: 複層フィルタ (yttrium Mo) 使用による被曝線量の軽減. 日放技学会誌, 47(8), 1343, (1991).
- 2) 山口健人, 上田講紀, 山本兼右, 他: 被曝線量低減用NIOBIUM-FILTER の総合的評価. 日放技学会誌, 50(2), 231, (1994).
- 3) Burgess AE: Physical measurements of heavy metal filter performance. Med. Phys., 12(2), 225-228, (1985).
- 4) 藤崎和声: 連続X線による定量計測. 映像情報, 67-71, (1990).
- 5) 串田一博, 傳田正史: 日立メディコ社製Dual-energy X-ray absorptiometry (BMD-1X) の使用経験. 映像情報 MED, 831-833, (1993).
- 6) 光岡正次, 忽那龍雄: キーフィルタを使用した放射線防禦の研究. 医界佐賀, 2-7, (1994).
- 7) 神崎竜二, 大塚昭義, 岡山昭雄, 他: 胸部断層撮影に対するガドリニウムフィルタの適用. 日放技学会誌, 49(4), 576-581, (1993).
- 8) 小田敍弘, 寺田邦広, 田中幸枝: 血管造影に用いる適性な付加フィルタ. 日放技学会誌, 44(12), 1668-1674, (1988).
- 9) 吉田賢一, 大塚昭義, 山内秀一, 他: 低エネルギー領域にK吸収端をもつフィルタの評価—ニオブフィルタの有用性—. 日放技学会誌, 50(6), 710-715, (1994).
- 10) 工藤幸清, 久保田護: 低エネルギー連続X線における線量当量換算係数. 弘前大学医療技術短期大学部紀要, 15, 40-47, (1991).
- 11) アイソトープ手帳, アイソトープ協会