

## X線発生装置の使用フィルターの違いが生物応答に及ぼす影響について

先導生命科学研究支援センター 三浦美和、吉田正博、Hakkim FL、松田尚樹  
医歯薬学総合研究科 原研放射 森田直子

### 【概要】

X線発生装置による生物試料の照射では、できる限り均一なエネルギー分布を有したX線を照射するために、金属製のフィルターを装着し低エネルギーX線（軟X線）領域をカットすることが必要です。このフィルターの違いによる生物応答の変化を、B16メラノーマ細胞のcolony形成能により検討したところ、フィルターが薄くなる、すなわち低エネルギー領域の寄与が増すにしたがい、細胞生存率が低下する現象が確認されました。フィルターを薄くすることにより線量率が増加するので、結果として照射時間を短縮することができますが、その反面、同じ吸収線量（Gy）であっても、フィルターが薄いほうが標的はより大きな生物影響を受けるものと考えられます。プラクティカルには、同一プロジェクト内では一定のフィルターに統一する、またX線よりもエネルギーの高い<sup>137</sup>Csによるγ線照射の結果と比較する場合には、高い平均エネルギーを得るために、なるべく厚めのフィルターを使用する、といった点に留意してください。

### 【背景と目的】

本学原研で使用しているX線照射装置では、管電圧（200kV）にほぼ一致するエネルギー（200keV）をピークとして低エネルギー方向に連続スペクトルを示す光子（制動X線、連続X線）を発生させています。このうち、低エネルギー領域は「軟X線」と呼ばれ、高エネルギー領域と比べて物質に吸収されやすい性質があります。以前、原研で使用していたX線発生装置では、X線管球の照射口に存在するガラス、エポキシ、および油により軟エックス線領域が一定量吸収されていましたが、新規X線発生装置（ISOVOLT TITAN320）では、照射口には薄いベリリウム膜が装着されているのみであるため軟X線が吸収されず、結果として軟X線領域を多く含むX線が照射されることとなります。このような軟X線は、例えばフラスコに培養された細胞に照射された場合は、フラスコの素材、培養液、および細胞に吸収されやすく、動物照射の場合では、標的器官に到達するまでに存在する組織（皮膚等）により吸収されやすいと考えられます。したがって、軟X線領域の寄与の度合いの違いにより、異なった生物応答が生じる可能性があります。

照射X線に含まれる軟X線領域をカットするためには金属性フィルターの装着が必須となりますが、この際、フィルターの違い、すなわち、軟X線による寄与の度合いの違いによる生物応答の変化に留意しなければなりません。本技術文書では、4つのフィルター装着条件における等線量（4Gy）照射後の生物応答の違いを、細胞の生存性を指標として示します。

### 【材料と方法】

測定方法：B16メラノーマ細胞を100個植えた直径3.5cmディッシュを照射台中央部に正形状に4枚並べ、種々のフィルターを装着した状態で4GyのX線を照射し、コロニー形成により生存率

を計測

発生条件：管電圧 200kV、管電流 15mA

照射条件：距離 50cm、各フィルター使用時の照射台中央部における線量率は Table 1 のとおり

Table 1. Dose rate of X-ray irradiated through a filter of various components.  
Physical dosimetry was performed by RAMTEC 1000plus equipped with a chamber TN31013-1019.

Filter components	Dose rate (Gy/min)
5mm Al + 0.5mm Al + 0.5mm Cu	0.5531
5mm Al + 0.5mm Al	0.8903
5mm Al	0.9731
none	1.6500

### 【結果と考察】

コロニー形成能による生存率計測の結果を Fig.1 に示します。

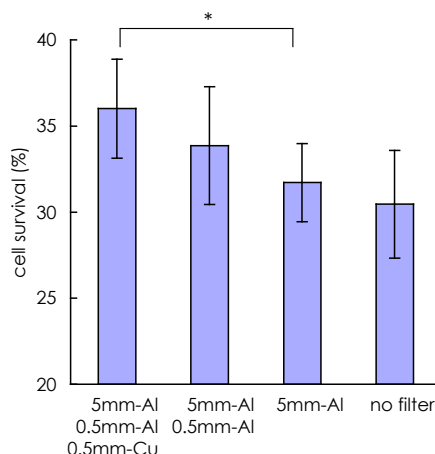


Fig.1 Survival of B16 melanoma cells exposed to 4Gy of X-ray through different filters  
p<0.05

4Gy の X 線による B16 メラノーマ細胞の生存率はフィルターが薄くなるにしたがい低下しました。低エネルギー成分がまったくカットされていない no filter の状態では生存率は約 30%を示し、厚さ 5mm のアルミニウムフィルター装着により生存率は約 32%まで上昇しました。この厚さ 5mm のアルミニウムフィルターは、新規 X 線発生装置に新たに含まれるようになった軟 X 線領域をカットし、以前の X 線発生装置とほぼ同様の線質の X 線を得るために装着しているもので、前の機種 of no filter の条件に相当します。したがって、この両者の差は、発生装置による線質の違いが細胞生存率に及ぼした影響を表しています。特に低エネルギー領域を含む積極的な必要があるとき以外は、必ずこの厚さ 5mm のアルミニウムフィルターを装着してください。

次に、厚さ 5mm のアルミニウムフィルターにさらに厚さ 0.5mm のアルミニウムフィルターと銅フィルターを加えた場合、厚さ 5mm のアルミニウムフィルター単独の場合と比べて生存率が約 32%から 35%まで上昇し、両者間には有意差が見られました。すなわち、同じ線量であっても、使用フィルターの違いによ

り、生存率にして約 3%の誤差が生じることとなります。

軟 X 線領域は培養フラスコ等の基材や培養液によっても吸収されますので、光子が細胞を通過する際にはすでにある程度のエネルギーがこの吸収により失われることから、フィルターが薄いほうが細胞への影響が小さくなることも予想されました。しかし事実はその逆で、軟 X 線領域の寄与増大にともない生物効果は明らかに増加しました。細胞もまた多くのエネルギーを軟 X 線領域から吸収したため、結果的にフィルターが薄いほうが細胞への影響が大きくなったようです。また、フィルターが薄いことにより線量率が増加するため、線量率が高ければ高いほど生物影響は大きくなる、いわゆる線量率効果が寄与していることも否定できませんが、一般に線量率効果は極低線量率の慢性被ばくと高線量率の急性被ばくのような極端な例で見られやすいもので、今回で結果で得られた 2 から 3 倍程度の線量率の差が細胞生存率にどの程度の変化を与えるかという点は今後の検討課題です。

使用フィルターは、各実験の目的によって選定することとなりますが、今回の結果を考え合わせ、次のような点を参考に選定してください。

1. 特殊な理由がない限り 5mm 厚のアルミニウムフィルターは必ず装着してください。
2. 同一プロジェクト内で安定した実験データを得るためには、使用フィルターを固定してください。
3. 線量率を増加させ、照射時間は短縮するためには、薄いフィルターを使用することになりますが、その際、軟 X 線領域の寄与により生物影響が増加していることに留意してください。
4. 一般に、均一に近いエネルギー分布を有する X 線、すなわち軟 X 線領域を含まない X 線を照射するほうが、パブリシティの点からはより acceptable です。したがって、まず 5mm 厚のアルミニウムフィルターに加えて厚さ 0.5mm のアルミニウムフィルターと銅フィルターを併用する条件（最も線量率が下がる条件）を基本とし、照射試料が耐えうる照射時間（照射率と総照射線量に依存）を考慮して、フィルターを薄くするようにしてください。
5. 本学原研に設置されているような通常用いられる  $\gamma$  線発生装置は  $^{137}\text{Cs}$  を装着しており、その光子は 662keV と X 線装置よりも高いエネルギーを有します。したがって、 $\gamma$  線照射の場合との結果の比較を行うときには、X 線の平均エネルギーを高め  $\gamma$  線に近づけるために、5mm 厚のアルミニウムフィルターに加えて厚さ 0.5mm のアルミニウムフィルターと銅フィルターを併用することが必要です。

-----  
TECDOC0802

Rev.1 August 15, 2008