



Title	写真フィルムによる高エネルギーX線の肺内線量分布測定法に関する基礎的研究
Author(s)	森, 剛彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(5), p. 268-273
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19068
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

写真フィルムによる高エネルギーX線の 肺内線量分布測定法に関する基礎的研究

森 剛彦

鈴鹿医療科学大学保健衛生学部放射線技術科学科

A Study of Dose Distribution of High Energy X-ray in Lung Measured by Film Method

Takehiko Mori

Measurement was carried out for 6 MV X-rays using an inhomogeneity phantom with films. The films were set parallel or perpendicular to the beam axis. Measurement data were compared with values obtained by a JARP dosimeter, to assess the accuracy of evaluation. 1) The data measured by perpendicular films showed underestimation but were more accurate than those measured by parallel films when compared with the JARP method. 2) The difference in measurement between the perpendicular films with multi-layers and a single layer was 0.4%. 3) The difference in measurement between packed and unpacked films was 1.5%. The former overestimated values, but they were closer to the JARP values than those of unpacked film. 4) In comparison with the JARP method, accuracy decreased in the following order: perpendicular packed film with multiple layers, perpendicular packed film with a single layer, perpendicular unpacked film with multiple layers, perpendicular unpacked film with a single layer, parallel film. 5) The values measured by films in the inhomogeneity phantom were closer to those measured by the JARP method than values measured in a water-equivalent phantom. The reason was that there was less scatter in the lung of the inhomogeneity phantom than in the water-equivalent phantom.

Research Code No.: 203.1

Key words: Film dosimetry, High energy X-rays,
Inhomogeneity correction

Received Aug. 31, 1999; revision accepted Jan 24, 2000
Department of Radiological Technology, Faculty of Health Science,
Suzuka University of Medical Science

別刷請求先
〒510-0293 三重県鈴鹿市岸岡町1001-1
鈴鹿医療科学大学保健衛生学部放射線技術科学科
森 剛彦

緒 言

2次元, 3次元的な肺内線量分布測定は, 電離箱線量計などでは困難であり, 写真フィルムではそれが可能で, かつ空間分解能もよい。しかし, フィルムは, エネルギー依存性, 方向依存性, 密着度, 現像方法などに影響され, 測定精度のうえで問題があるといわれている^{1)-6), 8), 9)}。

水等価ファントムでの写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定に関する検討は, 尾内らをはじめとする多くの研究があるが¹⁾⁻⁵⁾, 肺内線量分布測定, すなわち不均質ファントムでの写真フィルムを用いた場合の精度評価の研究は少ない。

そこで, 平行ビームフィルム照射用不均質ファントム(以下, 平行フィルム用不均質ファントム), および垂直ビームフィルム照射用不均質ファントム(以下, 垂直フィルム用不均質ファントム)を試作し, 6MVX線の肺内線量分布測定に写真フィルムを用いた場合の精度について検討を行った。

検討した項目は, Fig. 1~Fig. 2(A)(B)に示すように, 1) ビームに平行なフィルム(以下, 平行フィルム)と, ビームに垂直なフィルム(フィルムを重ね合わせて照射)(以下, 垂直フィルム(重ね合わせ))との比較, 2) 平行フィルムと, ビームに垂直なフィルム(フィルムを一枚ずつ深さ別に照射)(以下, 垂直フィルム(一枚ずつ))との比較, 3) 垂直フィルム(重ね合わせ)と垂直フィルム(一枚ずつ)のフィルム厚の影響, 4) パックフィルムとハダカフィルムとの相違について検討し, さらにそれらとJARP形線量計での実測値との差および誤差を求め, 肺内線量分布測定に写真フィルムを用いた場合の精度について検討を行った。

実験方法

リニアック(三菱電機, ML15MDX)による6MVX線, SSD100cm, 照射野10×10cm²を用い, フィルムは両面乳剤で医療用に市販されているKodak XV2を用いた。

線量-黒化度曲線作成用の標準フィルムはready packのKodak XV2を用い, 6MVX線で深さ10cmのMixDPにはさみ, フィルムに対して垂直に照射した。黒化度はデンシトメータ(コニカ, PDA 65)を用いて測定し, 等濃度曲線は等濃度記録装置(コニカ, PDI 10)にペンレコーダを接続, 等濃度記録装置とペンレコーダのスキャン速度を一致させる

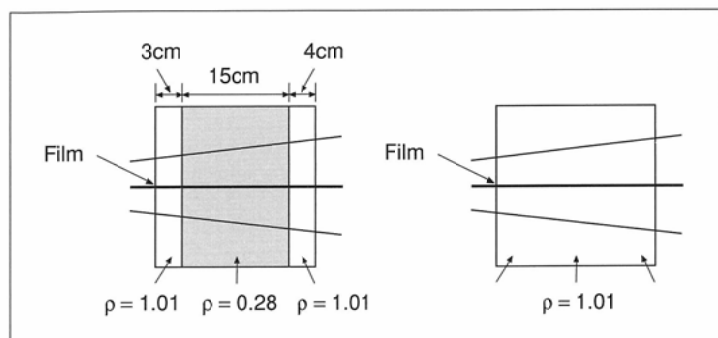


Fig. 1 The inhomogeneity phantom and water-equivalent phantom for parallel film and the geometry of parallel beam irradiation.

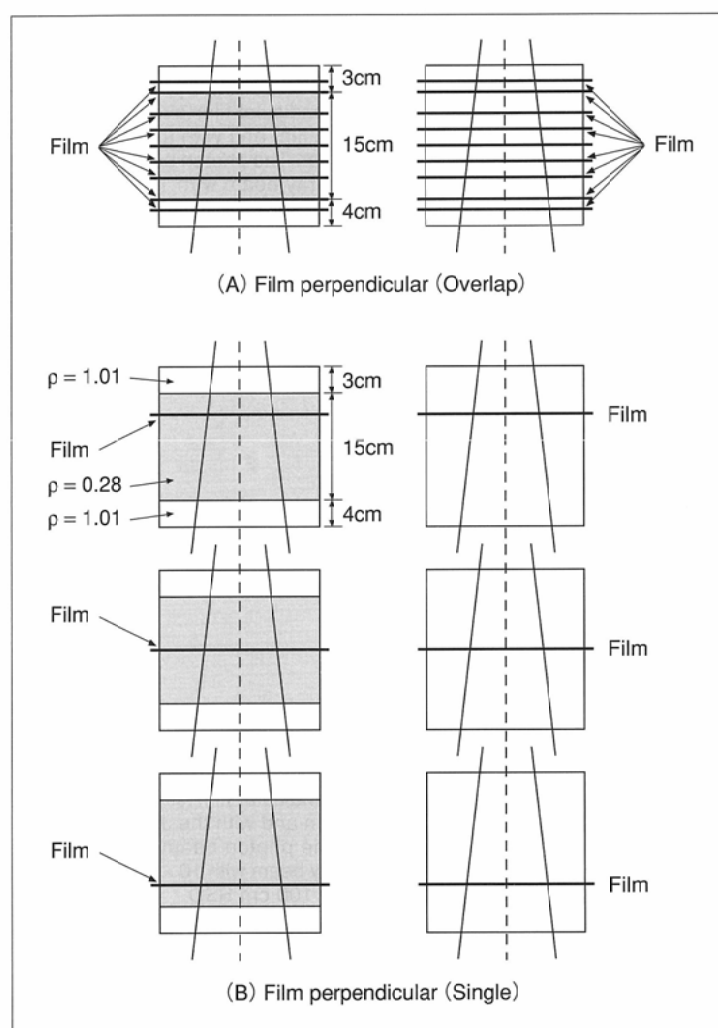


Fig. 2 The inhomogeneity phantom and water-equivalent phantom for perpendicular film, and the geometry of perpendicular beam irradiation. A: Film perpendicular (overlap) B: Film perpendicular (single)

ため周波数発振器を接続して測定し、線量—黒化度曲線作成用テーブルを用いて、濃度および深部濃度曲線を線量および深部量百分率(以下、PDD)に変換した。

Fig. 1に平行フィルムの幾何学的配置を示すが、平行フィルム用不均質ファントムは厚さがMixDP 3cm, コルク($\rho = 0.28\text{g/cm}^3$) 15cm, MixDP 4cm, 縦×横が $30 \times 30\text{cm}^2$, 厚さ15cmを2枚試作し、水等価ファントムは、MixDP $30 \times 30\text{cm}^2$ で厚さ15cmを2枚用意し、その間にフィルムを挿入

して、線束はフィルムに対して平行に照射した。

Fig. 2(A)に、垂直フィルム(重ね合わせ)、Fig. 2(B)に、垂直フィルム(一枚ずつ)の幾何学的配置を示すが、垂直フィルム用不均質ファントムは、厚さがMixDP 3cm, コルク($\rho = 0.28\text{g/cm}^3$) 15cm(2cm厚のコルクを7枚, 1cm厚のコルクを1枚), MixDP 4cm, $30 \times 30\text{cm}^2$ を試作し、垂直フィルム(重ね合わせ)は、フィルムを11枚(コルク内, 7枚)挿入し重ね合わせて一度に、線束をフィルムに対して垂直に照射した。水等価ファントムは、MixDP $30 \times 30\text{cm}^2$ で厚さ30cmの間に9枚挿入し重ね合わせて一度に、線束をフィルムに対して垂直に照射した。重ね合わせに対する補正は、フィルムの重ね合わせによるフィルム厚を加えた厚さを測定点として補正を行った。垂直フィルム(一枚ずつ)は、垂直フィルム用不均質ファントムにフィルムを一枚ずつ挿入し線束は、フィルムに対して垂直に11回照射した。水等価ファントムは、MixDP $30 \times 30\text{cm}^2$ で厚さ30cmの間にフィルムを一枚ずつ挿入して線束を、フィルムに対して垂直に9回照射した。それらを現像した後、濃度および深部濃度曲線の測定を行い、線量—黒化度曲線より、PDDに変換した。フィルムの測定は繰返し、3回を行い、その平均値でPDDを求めた。

Kodak XV2は、ready packされているので、そのままパックフィルムとして用い(以下、ハダカフィルムと断らない限り、パックフィルムとする)、ハダカフィルムは、パックフィルムを剥がし、サンドイッチペーパーを取り除いて使用した。

JARP形線量計での実測値は、垂直フィルム用不均質ファントムに電離箱挿入用ファントムを試作し、垂直ビーム照射を行い、水等価ファントムも同様に垂直ビーム照射を行ってPDDを求めた。

結果および考察

垂直フィルム(重ね合わせ)と平行フィルムおよびJARP形線量計で実測したPDDをFig. 3に示したが、不均質ファントムの肺内5点での垂直フィルム(重ね合わせ)と平行フィルムの3回測定での平均値のPDDの差(%)は-1.3%, 誤差は1.7%で、水等価ファントムの同じ深さの5点でのそれは、それぞれ-2.5%, 3.7%であり、平行フィルムに対して垂直フィルム(重ね合わせ)は、不均質ファントム、水等価ファントムともに、under estimateとなった。また、水等価ファントムに比べ不均質ファントムの方が垂直フィルム(重ね合わせ)と平行フィルムの差は小さくなった。

垂直フィルム(一枚ずつ)と平行フィルムおよびJARP形線量計で実測したPDDをFig. 4に示したが、不均質ファントムの肺内5点での垂直フィルム(一枚ずつ)と平行フィルムの3回測定での平均値でのPDDの差(%)は-0.9%, 誤差は1.6%で、水等価ファントムの同じ深さの5点でのそれは、それぞれ-1.8%, 2.6%であり、平行フィルムに対して垂直フィルム(一枚ずつ)でも、不均質ファントム、水等価ファント

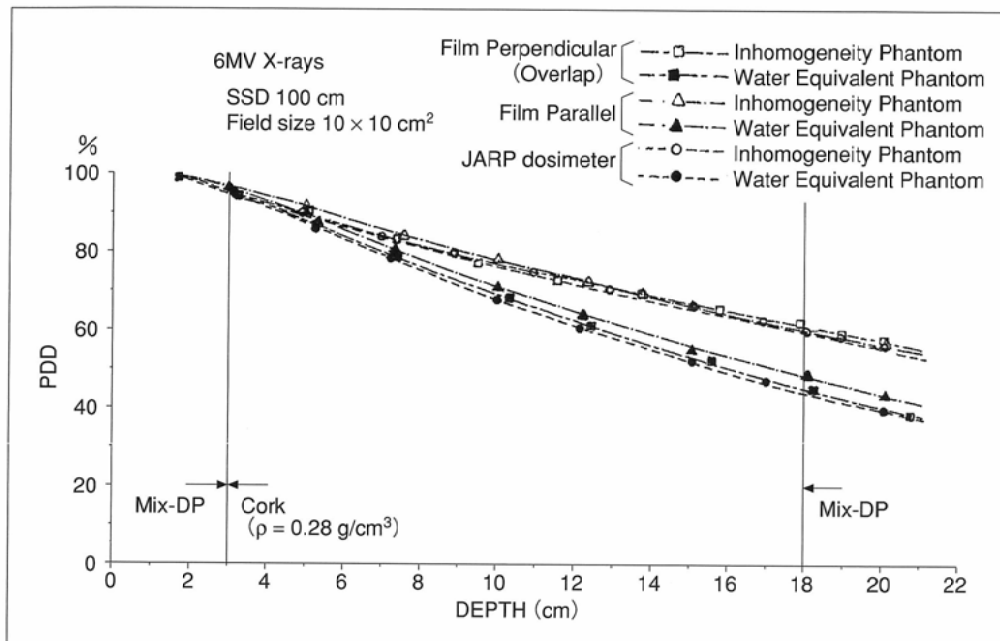


Fig. 3 Comparison of PDD values measured with phantoms for perpendicular film (overlap) and parallel film and with the JARP dosimeter. The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

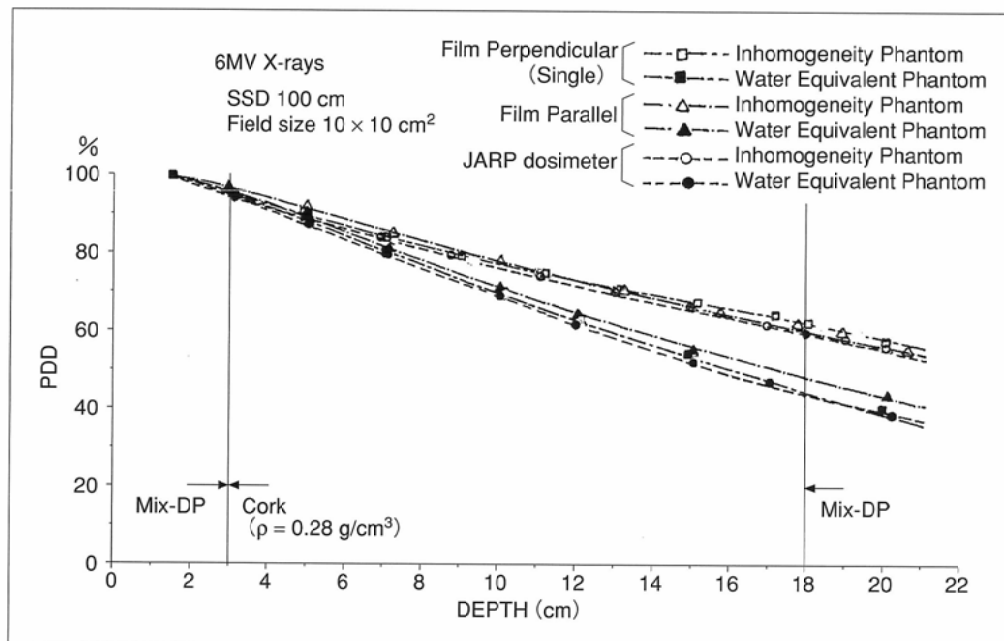


Fig. 4 Comparison of PDD values measured with phantoms for perpendicular film (single) and parallel film and with the JARP dosimeter. The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

ムともに、under estimateとなった。また、水等価ファントムに比べ不均質ファントムの方が垂直フィルム(一枚ずつ)と平行フィルムの差は小さくなった。

垂直ビームでのフィルム厚補正のため、フィルムを一枚ずつ深さ別に測定した場合とフィルムを重ね合わせて一度に測定した場合、およびJARP形線量計で実測したPDDをFig. 5に示したが、不均質ファントムの肺内5点での、垂直フィルム(一枚ずつ)と垂直フィルム(重ね合わせ)の測定3回の平均値でのPDDの差(%)は0.4%、誤差は0.7%で、水等価ファントムの同じ深さの5点でのそれは、それぞれ0.7%、1.0%であり、垂直フィルム(重ね合わせ)に対して垂直フィルム(一枚ずつ)のPDDは、不均質ファントム、水等価ファントムともに、わずかにover estimateとなった。垂直フィルム(一枚ずつ)と垂直フィルム(重ね合わせ)の、その差は水等

価ファントムに比べ不均質ファントムの方がわずかに小さい。

垂直フィルム(重ね合わせ)におけるバックフィルムとハダカフィルム、およびJARP形線量計で実測したPDDをFig. 6に示したが、不均質ファントムの肺内5点での、バックフィルムとハダカフィルムの測定3回の平均値のPDDの差(%)は1.7%、誤差は2.2%であり、ハダカフィルムに対してバックフィルムの方がover estimateとなった。

垂直フィルム(一枚ずつ)におけるバックフィルムとハダカフィルム、およびJARP形線量計で実測したPDDをFig. 7に示したが、不均質ファントムの肺内5点での、バックフィルムとハダカフィルムの測定3回の平均値のPDDの差(%)は2.4%、誤差は3.2%であり、垂直フィルム(重ね合わせ)と同様、ハダカフィルムに対してバックフィルムの方がover estimateとなった。さらに、垂直フィルム(一枚ずつ)の

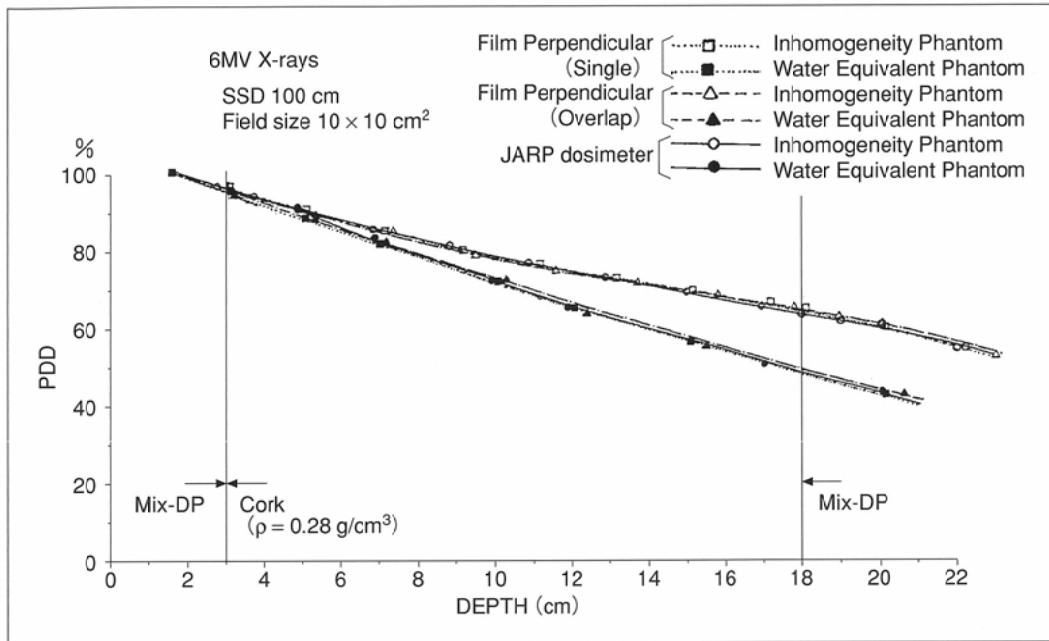


Fig. 5 Comparison of PDD values measured with perpendicular film (single) for correlation of film thickness and with the JARP dosimeter. The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

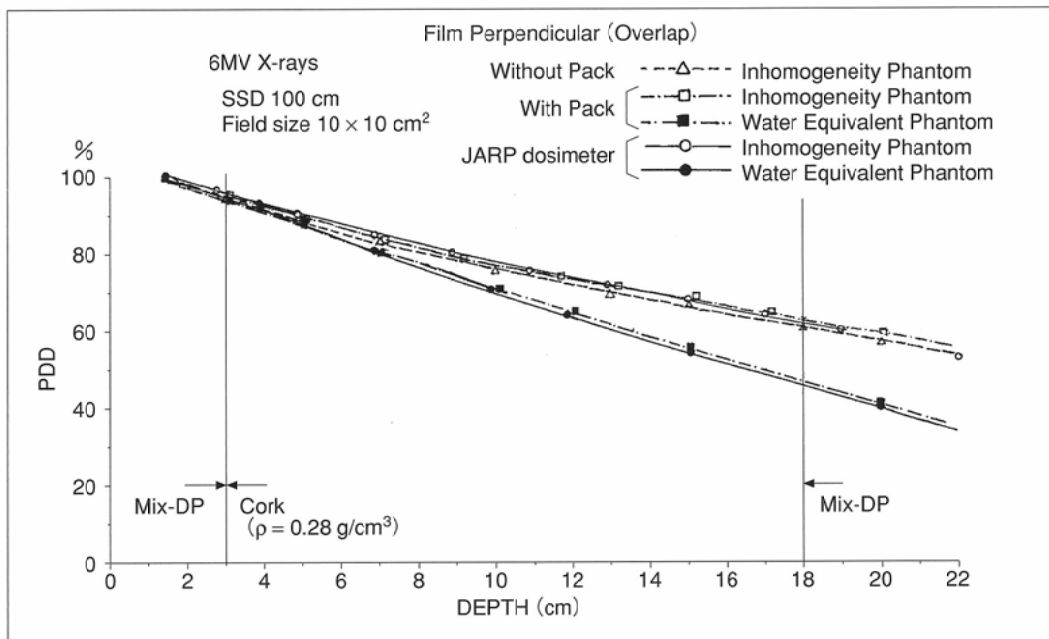


Fig. 6 Comparison of PDD values measured with perpendicular film (overlap) with pack and without pack. The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

ハダカフィルムのPDDのバラツキが最も大きかった。

不均質ファントムでのJARP形線量計で実測したPDDと、平行フィルム、垂直フィルム(重ね合わせ)、垂直フィルム(一枚ずつ)の測定3回の平均値のPDDの差(%)をTable 1に、JARP形線量計で実測したPDDと、それらの誤差をTable 2に示した。

JARP形線量計で実測したPDDと、平行フィルムのそれとのPDDの3回測定の差(%)は、不均質ファントムでは肺内5点の平均で-2.0%、誤差は2.1%で、水等価ファントムの同じ深さの5点の平均で-3.0%、誤差は4.6%であり、水等価ファントムに比べ、不均質ファントムの方が差および誤差は小さかった。またJARP形線量計で実測したPDDに対して平行フィルムのそれは、不均質ファントム、水等価ファントムともにover estimateとなった。

JARP形線量計で実測したPDDと、垂直フィルム(重ね合わせ)のそれとのPDDの3回測定の平均値の差(%)は、不均質ファントムでは肺内5点の平均で-0.3%、誤差は0.4%で、水等価ファントムの同じ深さの5点の平均で-0.7%、誤差は1.6%であり、水等価ファントムに比べ、不均質ファントムの方が差および誤差は若干、小さかった。また不均質ファントムでは、JARP形線量計で実測したPDDに対して垂直フィルム(重ね合わせ)とのそれは、ほぼ一致した。

JARP形線量計で実測したPDDと、垂直フィルム(一枚ずつ)のそれとのPDDの3回測定の平均値の差(%)は、不均質ファントムでは肺内5点の平均で-0.7%、誤差は1.1%で、水等価ファントムの同じ深さの5点の平均で-1.7%、誤差は2.0%であり、水等価ファントムに比べ、不均質ファントムの方が差および誤差は若干、小さかった。またJARP形線

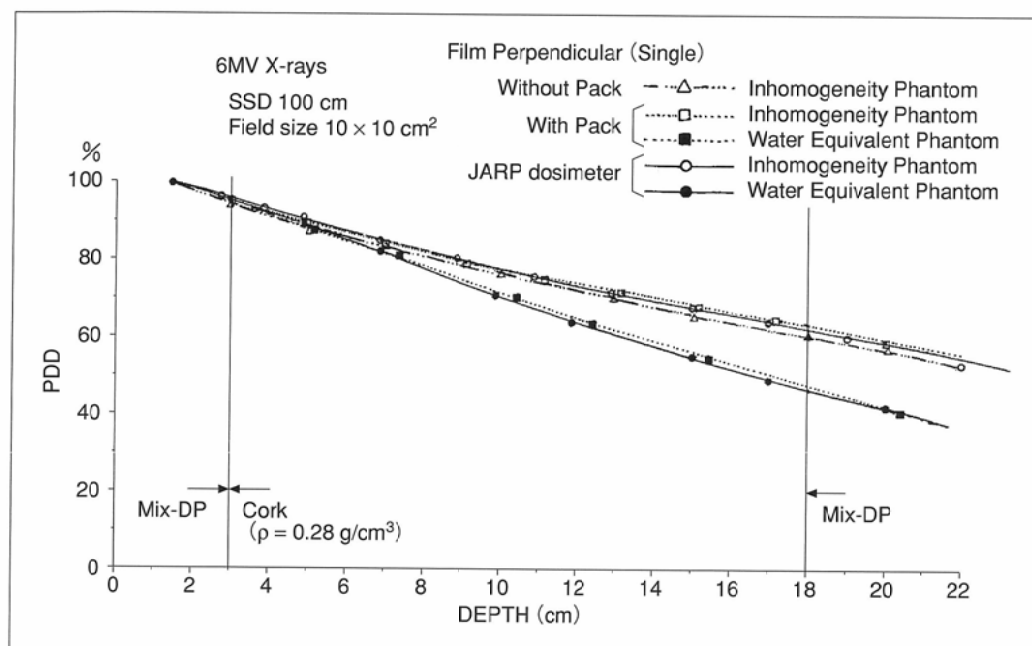


Fig. 7 Comparison of PDD values measured with perpendicular film (single) with pack and without pack. The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

量計で実測したPDDに対して垂直フィルム(一枚ずつ)のそれは、不均質ファントム、水等価ファントムともに若干、over estimateとなった。

不均質ファントム、水等価ファントムともに、平行フィルムより垂直フィルムの方がJARP形線量計で実測したPDDに近い値となった。

平行フィルムと垂直フィルムでPDDが異なるのは、平行フィルムはX線フィルム(ハロゲン化銀($\text{AgBr} \cdot \text{I}$))中のPDDとなることと密着の相違によるものと考えられる。

垂直フィルム(重ね合わせ)と垂直フィルム(一枚ずつ)を比較すると、前者がJARP形線量計で実測したPDDとの差および誤差は小さかった。また、後者の方がJARP形線量計のそれに比べover estimateとなった。したがって、医用電子加速装置の出力の再現性が誤差要因となり、また測定時間のかかる垂直フィルム(一枚ずつ)より、精度もよく、簡便で、短時間に測定できる垂直フィルム(重ね合わせ)の方が有用である。

JARP形線量計で実測したPDDと、ハダカフィルムで垂直

フィルム(重ね合わせ)のそれとのPDDの3回測定の前平均値の差(%)は、不均質ファントムでは肺内5点の平均で1.3%、誤差は1.8%であり、バックフィルムのそれとの差および誤差よりも大きくなった。また不均質ファントムでは、JARP形線量計で実測したPDDに対してハダカフィルムの垂直フィルム(重ね合わせ)のそれは、under estimateとなった。

JARP形線量計で実測したPDDと、ハダカフィルムで垂直フィルム(一枚ずつ)のそれとのPDDの3回測定の前平均値の差(%)は、不均質ファントムでは肺内5点の平均で1.7%、誤差は2.3%であり、バックフィルムのそれとの差および誤差よりも大きくなった。また不均質ファントムでは、JARP形線量計で実測したPDDに対してハダカフィルムの垂直フィルム(一枚ずつ)のそれも、under estimateとなった。

総合的にみて、JARP形線量計で実測したPDDと写真フィルム法を比較すると、不均質ファントムの肺内では、バックフィルムの垂直フィルム(重ね合わせ)、垂直フィルム(一枚ずつ)、ハダカフィルムの垂直フィルム(重ね合わせ)、垂直フィルム(一枚ずつ)、バックフィルムの平行フィルムの

Table 1 Difference (%) between PDD values measured with the JARP dosimeter and those with parallel film, perpendicular film (overlap), and perpendicular film (single). The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

Difference (%) * Inhomogeneity Phantom					
Depth	Film Parallel with pack	Film Perpendicular (Overlap) with pack	Film Perpendicular (Single) with pack	Film Perpendicular (Overlap) without pack	Film Perpendicular (Single) without pack
5.5cm	3.3%	0.2%	0%	1.3%	1.8%
8.0cm	2.9%	0.3%	0.4%	1.5%	2.0%
10.5cm	2.1%	0.2%	0.9%	1.6%	1.9%
13.0cm	0.9%	0.3%	0.9%	1.7%	1.3%
15.5cm	0.5%	0.6%	1.5%	0.6%	1.5%
Av.	2.0%	0.3%	0.7%	1.3%	1.7%

*Difference (%) = $\text{PDD}_{\text{Film}} - \text{PDD}_{\text{JARP dosimeter}}$

Table 2 Error (%) between PDD values measured with the JARP dosimeter and with parallel film, perpendicular film (overlap), and perpendicular film (single). The photon beam was a 6 MV X-ray beam with $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field size at 100 cm SSD.

Error (%) * Inhomogeneity Phantom					
Depth	Film Parallel with pack	Film Perpendicular (Overlap) with pack	Film Perpendicular (Single) with pack	Film Perpendicular (Overlap) without pack	Film Perpendicular (Single) without pack
5.5cm	3.8%	0.2%	0%	1.5%	2.1%
8.0cm	2.5%	0.4%	1.0%	1.9%	2.5%
10.5cm	2.8%	0.3%	1.2%	2.1%	2.5%
13.0cm	1.9%	0.7%	2.0%	2.4%	1.9%
15.5cm	0.8%	0.9%	2.3%	0.9%	2.3%
Av.	2.1%	0.4%	1.1%	1.8%	2.3%

$$* \text{Error}(\%) = (\text{PDD}_{\text{Film}} - \text{PDD}_{\text{JARP dosimeter}}) / \text{PDD}_{\text{JARP dosimeter}}$$

順にPDDの差および誤差は小さかった。水等価ファントムでも不均質ファントムと同様の結果となった。

垂直フィルム(重ね合わせ), 垂直フィルム(一枚ずつ), 平行フィルムすべてにおいて, 水等価ファントムに比べ, 不均質ファントムがJARP形線量計で実測したPDDに近い値を示した。

尾内ら³⁾は, 水等価ファントムでは, 高エネルギーX線でも散乱体内では, コンプトン効果によりエネルギーの低い散乱線が混在しているから, フィルムのエネルギー依存性が問題となり, フィルム法で水等価ファントム中のPDDを測定すると電離箱による値より大きくなるのは, 散乱線に対する感度がフィルムの方が大きいためであり, また電離箱と比較すると, 空気中ではほとんど相違がないのに, 水等価ファントム中では散乱線のために, 深いところほど相違が大きくなることを明らかにしている。また, Stanton²⁾は, 水等価ファントム中での平行フィルムの誤差を減少させる方法として, フィルムの両側の水等価ファントム厚を照射野の幅より薄くして, PDDに寄与する散乱線を減少させる方法を報告している。

水等価ファントムに比べて, 不均質ファントムの肺内で, JARP形線量計で実測したPDDに近い値を示したのは, 水等価ファントムに比べて, 不均質ファントムの肺内で

は, 散乱線が大きく減少するのが原因であると思われる。

肺内線量分布測定に写真フィルムを用いた場合の測定精度は, 予測された結果よりもよく, レディパックフィルムを用いて垂直フィルム(重ね合わせ)の濃度の測定を3回行い, そのPDDの平均値と, JARP形線量計で実測したPDDとの誤差は, 肺内5点で1%以内であった。

結 論

パックフィルムの垂直フィルム(重ね合わせ), 垂直フィルム(一枚ずつ), ハダカフィルムの垂直フィルム(重ね合わせ), 垂直フィルム(一枚ずつ), 平行フィルムの順に, JARP形線量計で実測したPDDに近い値となり, 肺内線量分布測定に写真フィルムを用いた場合の測定精度は, 予測された結果よりもよく, レディパックフィルムを用いて垂直フィルム(重ね合わせ)のPDDの平均値と, JARP形線量計で実測したPDDの誤差は, 肺内5点で1%以内であった。また, 垂直フィルム(重ね合わせ), 垂直フィルム(一枚ずつ), 平行フィルムすべてにおいて, 水等価ファントムに比べ不均質ファントムの差の方が, JARP形線量計で実測したPDDに近い値を示した。それらは, 不均質ファントムの肺内での散乱線が減少することによるものであろう。

文 献

- 1) Mauderli W, Gould DM, and Lane JW: Film Dosimetry of cobalt-60 radiation. *Amer J Roentgenol* 83: 520-524, 1960
- 2) Stanton L: Determination of Isodose curve for super voltage and cobalt-60 tele therapy machines with x-ray film. *Radiology* 78: 445-460, 1962
- 3) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 他: 写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討. *日本医放会誌* 31: 226-239, 1972
- 4) 森 嘉信: フィルム法による線量分布の測定と照射術式の差による線量分布. *日放技学誌* 27: 226-239, 1971
- 5) 日本医学放射線学会物理部会: 放射線治療における高エネルギーX線および電子線の吸収線量の標準測定法. 通商産業研究社, 1986
- 6) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 他: 種々の測定法による電子線の深部線量測定. *日本医放会誌* 29: 1474-1483, 1970
- 7) Greening JR: The Photographic action of x rays. *Proc Phys Soc* B64, 977-992, 1951
- 8) Johns HE, and Cunningham JR: The physics of radiology. Charles C Thomas, 1953
- 9) Attix FH, and Tochilin E: Radiation dosimetry Vol. III, Academic Press, 1969
- 10) Loevinger R, Karzmark CJ, and Weissbluth M: Radiation therapy with high-energy electrons, Part I. Physical considerations, 10 to 60 MeV. *Radiology* 77: 906-927, 1961
- 11) Dutreix J, and Dutreix A: Film dosimetry of highenergy electrons, *Ann New York Acad Sci* 161: 33-43, 1969
- 12) Hettinger G, and Svensson H: Photographic film for determination of isodose curves from betatron radiation. *Acta Radiol* 6: 74-80, 1967