

Title	ライナック10MV X線を用いた全身照射法の線量分布について
Author(s)	井上, 俊彦; 堀, 信一; 井上, 武宏
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1979, 39(3), p. 277-282
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14770
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

ライナック10MV X線を用いた全身照射法の 線量分布について

大阪府立成人病センター放射線治療科

井上 俊彦 堀 信一 井上 武宏

(昭和53年7月28日受付)

(昭和53年9月4日最終原稿受付)

Dose Distribution in Total Body Irradiation Using 10MV X-ray

Toshihiko Inoue, Shinichi Hori and Takehiro Inoue

Department of Radiotherapy, The Center for Adult Diseases, Osaka

Research Code No.: 203

Key Words: TLD, Total body irradiation, Leukemia

Basic study concerning the three-dimensional dose distribution in total body irradiation using 10 MV X-ray from a 15 MeV Toshiba LMR-15 linear accelerator is described. Field size was $105 \times 105 \text{ cm}^2$ at 3.5 m from the target. By means of the long STD (3.5 m) and rotation of the collimator, geometrical field length of 148.5 cm was available along the diagonal. However, the useful beam length was about 120 cm due to the flatness of the beam along the diagonal of the field. Using the TLD (BeO) in a Rando phantom, three-dimensional dosimetry was done with two lateral opposing fields. Average dose in the head and neck region was 13 to 15% higher than that in the abdominal region where a standard given dose was calculated at the midplane. Accordingly, the added bolus was necessary for irradiation of the head, neck, and lower extremities in clinical practice. The problem concerning the compensation of the lung tissue is under debate.

骨髄移植を主とする積極的な治療によつて、難治性白血病の成績の向上が近年報告されている¹⁾。骨髄移植は組織適合性抗原の一致した者の間のみ成功するという制約がある。しかもその前治療として大量の抗癌剤と常識的な致死線量を越えた全身照射による免疫抑制と白血病細胞の根絶が必要である。移植後に出現する移植片対宿主反応の予防と治療も必要である²⁾。従つて無菌室治療などの補助療法が完備されていなければならない。過去半年間に私たちの施設において2例の難治性白血病患者に骨髄移植が行われ、その際

全身照射が施行された。この全身照射に関する予備実験を行つたところ、照射部位に関する線量のバラツキが予想以上に大きいことが判つた。そこで全身の三次元線量分布として把える時に、この線量のバラツキを少くとも10%以内にするを目標とした。従つて、極端に厚みの異なる部位（頭・頸部）については、補償フィルターを用いることを検討した。全身を1照射野に包含するという特殊な条件設定での測定であるので、種々の問題が派生してきた。本文においては私たちの行つた工夫と測定結果を報告し、諸賢の御批判を仰

く次第である。

照射条件と測定器具

放射線治療室の制約のために、ターゲットと患者体軸中心間を3.5m とし、仰臥位側方2門照射を計画した。ターゲットから側方コンクリート壁までの距離は4m である。1側からまず投与し、予定投与線量の半分に達した時点で治療台を反転させ、反対側から残り半分の線量を投与した (Fig. 1)。装置は東芝ライナック LMR-15で、10MV X線を用いた。照射野は STD 1m で30×

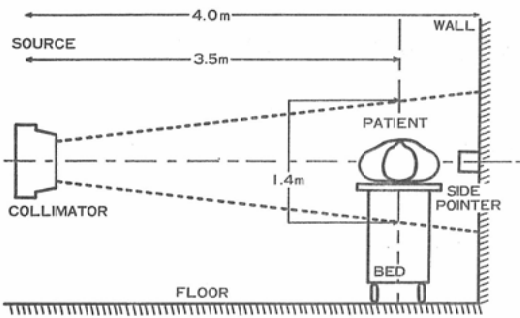


Fig. 1. Position of patient and linear accelerator

30cm² であり、STD 3.5m では105×105cm² となる。この照射野では患者の全身を一度に照射することが出来ないので、コリメーターを45°回転して照射野の対角線を患者の長軸に合せた。

測定器具として、ランドファントム、Mix Dp ファントム (30×30×30cm³)、水ファントム (30×30×40cm³)、ラドコン555 II 型・プローブ 100HA、ナショナル TLD リーダー-505型・素子 170L (BeO) を用いた。以下、コンクリート壁からの後方散乱、深部量百分率、組織/ピーク線量比、平坦度、三次元線量分布均等度について検討を加えた。

測定方法と結果

散乱付加について：プローブ100HA に3cm 厚のビルドアップキャップを被せた。照射野が1m で30×30cm² の際のビーム中心軸上の空中線量を測定した。測定点はターゲットから1m, 2m, 3m, 3.2m, 3.4m, 3.6m, 3.8m の各点である。1m の空中線量を基にして各位置の線量を距離の逆自乗則で算出した値と各測定値を比較し、その増加分

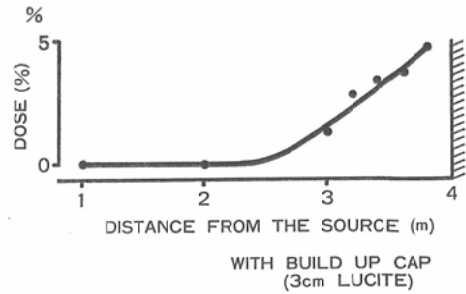


Fig. 2. Contribution of back-scattered radiation from the concrete wall

を治療室内、特にコンクリート壁からの後方散乱付加とした。ケーブルリークを考慮して、照射野内のケーブルの長さを一定にした。壁側の体表面が主として位置する3.6m と3.7m のコンクリート壁からの後方散乱付加はそれぞれ3.2% と3.6% であつた (Fig. 2)。

組織/ピーク線量比と深部量百分率について：組織/ピーク線量比は Mix Dp 中、深部量百分率は水中で、SCD 及び SSD 1m と3.5m の測定を行った。照射野は 1m で30×30cm² であり、3.5 m では105×105cm² である。

3.5m の際には、使用したファントムよりも照射野が広いのであるけれども、実際の治療においても照射野は人体より大きいので、照射野よりも大きなファントムをあえて使用しなかつた。組織/ピーク線量比は SCD の変化による差を認めなかつた。しかし深部量百分率には差がみられた。即ちピーク深が SSD 1m で2.0cm であつたのに比べ、SSD 3.5m のものは2.5cm であつた。ビルドアップ領域及びそれ以降の深さにおいても、当然のことではあるけれども、SSD 3.5m の

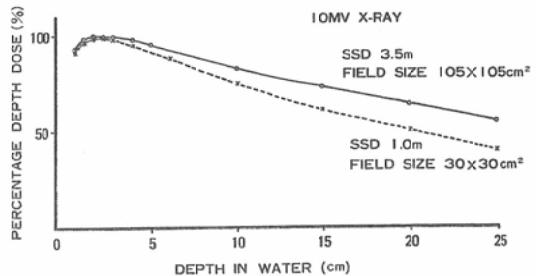


Fig. 3. Percentage depth dose

深部量百分率が SSD 1m のものに比べて大であった (Fig. 3).

線束内線量平坦度： コリメーターを45°回転し照射野の対角線を水平にした際の SCD 3.5m における対角線上の線束内線量平坦度を測定した。 Mix Dp の5cm 深さにチェンバーを置き、中心線束上の線量を100%として左右各10cm 毎の積算線量を測定した。 平坦度の日あるいは時間による変動を考慮して、治療予定日の前1週間の毎日の測定値とその変動幅を求めた。 最も悪い平坦度の際に、ガン側に6%、ターゲット側に8%の高い領域が認められた (Fig. 4)。

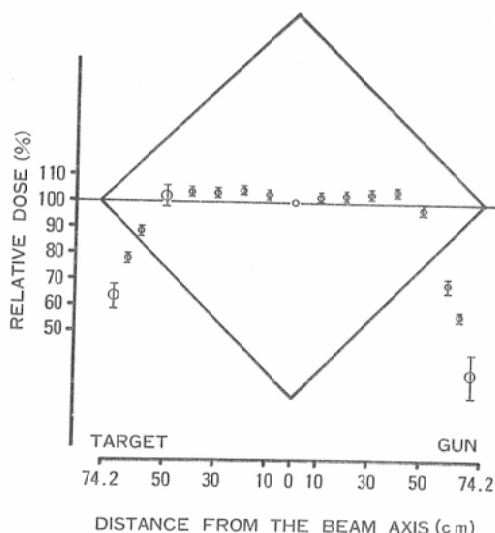


Fig. 4. Beam flatness along the diagonal of the field at 3.5m from the source

三次元線量分布の均等度について： ランドファントムの頭・頸・胸・腹・骨盤部の5面に TLD 素子を埋め込んだ。 即ち使用した TLD 素子数は頭部11本、頸部8本、胸部49本、腹部45本、骨盤部49本の計162本である。 側方対向2門照射で、SCD 3.5m、照射野105×105cm² において腹部に100rad (1Gy) を投与した際の各素子の線量を求め、各面の平均値と標準偏差を求めた。 頭・頸部の厚みは小さいので、4cm 厚の Mix Dp による補償を行った際の測定も併せて行った。 実際に治療を行う際のことを考慮して、ライナックの本来

Table 1. Average dose distribution in 5 sections of a phantom per 1 Gy (100 rad) given at the section of the abdomen

	\bar{X}	$\bar{\sigma}_{n-1}$	\bar{X}	$\bar{\sigma}_{n-1}$
Head	1.13	0.039	0.94	0.033
Neck	1.15	0.040	1.09	0.051
Thorax	1.07	0.040	—	—
Abdomen	1.00	0.048	—	—
Pelvis	1.03	0.046	—	—
			(With Bolus of 4cm Mix-Dp)	

の治療台の上に4cm 厚の Mix Dp を置き、光学系により補償部分の確認を行った。 即ちターゲットから1m の位置に Mix Dp を置いた。 TLD 素子の読み取りは、照射3時間後に開始し、40分以内に全素子の読み取りを完了した。 アニールは450°Cで15分とした。 Mix Dp による補償をしない状態では、腹部正中面に対する基準投与線量に比べて、頭・頸部は13~15%増の平均線量が投与されていることが判つた。 4cm 厚の Mix Dp で補償することによって、頸部を9%増、頭部を6%減の平均投与線量のレベルまで減少させることができた (Table 1)。 肺補償の問題は今回検討しなかつた。 それは実際の治療を行う際に、同部を補償することが困難であつたためである。

考 案

かつて施行された真性赤血球増加症及び白血病に対する全身照射は分割照射であり、1回15rad (0.15Gy) で開始し、25, 35rad (0.25, 0.35Gy) と増量し、総投与線量は4週間に200rad (2Gy) 以下に止めることが記載されている³⁾⁴⁾。 抗癌剤の進歩によつて適応の減少していた全身照射は抗癌剤による制御の困難な難治性白血病において骨髄移植の前処置として再度とりあげられてきた¹⁾²⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。 この際の全身照射は骨髄に対する超致死線量を投与しても骨髄移植により生命維持が可能であるので、全白血病細胞の致死をはかることと、免疫抑制のために、1回照射で1,000rad (10Gy) の体中心線量が必要とされている。 一方、末期癌患者に対する対症療法として、800rad (8Gy) の半身照射も1970年代になつてとりあげ

られてきた⁹⁾。

骨髄移植の前処置としての全身照射は臨床的にはそれ自体が治療法としての評価をうけるものではない。即ち、前処置として全身照射と同様に強力な抗癌剤の投与が行われる²⁾。従つて、全体に極めて強力な治療体系の中に全身照射は位置づけられている。

全身照射は大照射野を必要とするので、通常の治療装置では STD を大きくとる方法が選ばれる。反面、線量率が低下し、⁶⁰Co 遠隔照射装置では5rad/分 (0.05Gy/分) 程度になり、3～4時間の照射時間を要することになる⁵⁾。レールを一定速度で動く⁶⁰Co 遠隔照射装置を工夫し、SSD 100cm で十分な照射野をとり、1—2時間で照射の可能な方法も報告されている¹⁰⁾。Whitwamら¹¹⁾は直線加速器による6MVX 線を用いているけれども、7—10rad/分 (0.07—0.1Gy/分) の線量率のため、患者は照射中に放射線酔症候を呈することが多く、全身麻酔下の照射を検討している。私たちの用いた10MVX 線の線量率は STD 3.5m で24rad/分 (0.24Gy/分) であつたので、全身照射は1時間以内に終了した。従つて全身麻酔下に施行する必要性は認めなかつた。しかし線量率が5rad/分 (0.05Gy/分) から24rad/分 (0.24Gy/分) に変化すると、放射線生物学的には n と D_0 の変化の著しい領域である¹²⁾。Kim ら¹³⁾はこの点を考慮して、5rad/分 (0.05Gy/分) の⁶⁰Co γ 線による1,000rad (10Gy) を標準投与線量とすれば、26rad/分 (0.26Gy/分) の10MVX 線を用いる際には、投与線量を750rad (7.5Gy) に減少すべきであると主張している。

しかし線量の身体各部位におけるバラツキが大きければ、生物学的線量率依存性に基づく線量の補正は意義の少ないものになる。従つて、私たちは使用した東芝ライナック LMR-15 の10MVX 線による三次元線量分布の均等性を重視した。既に Webster¹⁴⁾ によりいろいろな工夫のされた全身照射法においても尚均等性を得ることの難しさが指摘されている。

私たちの使用した東芝ライナック治療室はター

ゲットよりコンクリート壁の距離が4m であるという制約に基づき、側方2門照射の際のコンクリート壁からの背後散乱を検討した。既述のごとく、壁面側に位置する患者の体表面位置の背後散乱付加は3.2—3.6%であつた。Aget ら¹⁵⁾は25 MVX 線による水平照射の際、4.5m の STD をとつても尚患者は治療室のコンクリート壁面から1m 離れ、背後散乱付加は壁から20cm で0.5%未満であり無視できると報告している。私たちの得た上記の値も、最終的には測定誤差範囲内であつたのか、TLD 素子による5面の多数点の実測値には影響を与えなかつた。

STD 3.5m という特殊条件下の治療であるので、組織/ピーク線量比と深部量百分率を検討した。高エネルギーX線の吸収線量の標準測定法¹⁶⁾から逸脱したファントムの大きさを用いたことは既述の通りである。深部量百分率において相違が認められたのであるけれども、距離の補正を行つた計算値との間には、その差が最大1%以下で有意の差とはならなかつた。ピーク深の変化も、実際には測定誤差範囲内に止まるものであつた。

実際の治療との関連において、最も苦慮したのは線束内線量の平坦度の検討であつた。治療室の制約から、コリメーターを45°回転して照射野の対角線上を水平にし患者の長軸に合せた。しかし得られた平坦度からみると、80%までの領域を採用しても、有効照射野長は SCD 3.5m において120cm であつた。従つて実際の治療においては、患者の頸部及び膝関節を折り曲げた仰臥位による側方2門照射を採用せざるをえなかつた。現在更に広い有効照射野がとれるように、イコライザーの手直しを検討している。この線束内線量の平坦度の結果は直線加速器における日あるいは時間による変動を求めたものである。即ち予定された全身照射の日時の前1週間の変動を示している。最も条件の悪い時に、中心線束上の線量との差がガン側で6%、ターゲット側で8%であつた。Aget ら¹⁵⁾によれば、平坦度の良い状態で線束のプロファイル係数は1.06であり、悪ければ1.12となり投与線量のバラツキの原因となることが報告されて

いる。

Thomas ら⁵⁾は7例の⁶⁰Co全身照射におけるLiF実測データより、前額部1,147rad (11.47 Gy)、臍部1,018rad (10.18Gy)、大腿内側903rad (9.03Gy)、足912rad (9.12Gy)と各部のバラツキを記載している。単純計算においても⁶⁰Co全身照射により正中面を基準にとると、体表面で5%から24%増のバラツキが指摘されている¹⁷⁾。私たちのランドファントムにおけるTLDの実測値によれば、厚みの小さい頭・頸部では腹部正中面の線量を基準にすると、13%と15%増の線量が投与されている。従つてこの厚みの小さい部分をMix Dpで補償することにより、基準線量に比べて-6%及び+9%のレベルまで下げることが出来た。同じMix Dp厚を用いて補償したにもかかわらず、減弱率に相違がみられた事に関しては、中心軸ビームでの測定において4cm厚のMix Dpで13%の減弱を予測したデータを得ているので、むしろ頭部は比較的よく補償されたと考えられる。頸部に関しては、光学系を用いた補償部位の確認方法、同部の体表面の幾何的な変化の複雑さ、及び線束内線量の平坦度の問題が残されている。当然実際の厚みの変化に応じて細かく補償をするかあるいは患者の体表面に接する位置で補償をすればよいのであるけれども、実際の治療においてそこまで補償することは不可能であると判断したので行っていない。TLD素子170L (Beo)の取扱いについては都丸¹⁸⁾の詳細な検討があり、初期フェイディングを考慮して、照射後5時間以後に読み取りを行い、アニールは470°Cで1時間がよいと述べられている。しかし私たちはYamashita ら¹⁹⁾のデータに基づき、照射後3時間に読み取りを開始し、450°Cで15分のアニールを行った。

一方胸部の補償にも問題が残されている。私たちのランドファントムのTLDによる測定においても、胸部には腹部正中面の線量を基準にすると7%増の線量が投与されている。これは一応目的とする10%以内に入っている。しかしPrato ら²⁰⁾は800rad (8Gy)の上半身照射において、約120例

中3例に放射線肺炎を認め、肺の後障害に対する注意を喚起している。Aget ら¹⁵⁾は肺補償を施行した詳細な測定実験を行つているけれども、臨床の場に応用するには問題が残つていると考える。実際の治療において、私たちは厚みの小さい頭・頸部と下腿部の補償を行つたに止めた。

多量の抗癌剤を投与した状況下における全身照射においては、対象が難治性疾患であるとはいへ、その至適線量の決定には将来に多くの検討課題が残されている。今回私たちは全身照射の際の三次元線量分布の均等性について検討を行つた。全身照射の確立には、先に触れたように化学療法併用による正常組織の耐容性の変化も解明しなければならぬことである。

まとめ

全身照射の線量分布に関する基礎的検討を行つた。東芝ライナック10MVX線を用いた側方対向2門照射、SCD 3.5m、照射野は105×105cm²であつた。線束内線量の平坦度を照射野の対角線上で求めたところ、最も悪い条件でガン側に6%、ターゲット側に8%の高い部分を認めた。有効照射野長は対角線上を用いても120cmであつた。TLD素子によるランドファントムの三次元線量分布の均等度を求めたところ、腹部正中面を基準にすると、頭・頸部はそれぞれ13%と15%増の平均線量が与えられた。これらの厚みの小さい部分に対しては補償フィルターを用いる必要のあることを認めた。実際の治療状況を考慮して、肺の補償についての検討は加えなかつたけれども、問題の残される領域である。

終りに、本研究の実施にあたり、御指導と御協力を戴いた大阪府立成人病センター内科正岡徹、柴田弘俊両博士に感謝の意を表します。測定を担当して下さいた放射線治療科の小沢良平、秦潔、川辺清人、佐々木潤一各技師に感謝致します。

本論文の要旨は第37回日本医学放射線学会総会において発表した。

文 献

- 1) Thomas, E.D., Storb, R., Clift, R.A., Fefer, A., Johnson, F.L., Neiman, P.E., Lerner, K.G., Glucksberg, H. and Buckner, C.D.:

- Bone-marrow transplantation. (First of two parts). *N. Engl. J. Med.*, 292: 832—843, 1975
- 2) Thomas, E.D., Storb, R., Clift, R.A., Fefer, A., Johnson, F.L., Neiman, P.E., Lerner, K.G., Glucksberg, H. and Buckner, C.D.: Bone-marrow transplantation. (Second of two parts). *N. Engl. J. Med.*, 292: 895—902, 1975
 - 3) Paterson, R.: "The Treatment of Malignant Disease by Radiotherapy," 2nd Ed. p. 441, 1963. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.
 - 4) Murphy, W.T.: "Radiation Therapy," pp. 986—987, 1962. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
 - 5) Thomas, E.D., Buckner, C.D., Rudolph, R.H., Fefer, A., Storb, R., Neiman, P.E., Bryant, J.I., Chard, R.L., Clift, R.A., Epstein, R.B., Fialkow, P.J., Funk, D.D., Giblett, E.R., Lerner, K.G., Reynolds, F.A. and Slichter, S.: Allogenic marrow grafting for hematologic malignancy using HL-A matched donor-recipient sibling pairs. *Blood*, 38: 267—287, 1971
 - 6) Cline, M.J., Gale, R.P., Stiehm, E.R., Opelz, G., Young, L.S., Feig, S.A. and Fahey, J.L.: Bone marrow transplantation in man. *Ann. Intern. Med.*, 83: 691—708, 1975
 - 7) 森島泰雄, 川島康平, 上田竜三, 平林憲之, 堀田知光, 山田一正: 白血病における同種骨髄移植の試み. *最新医学*, 32: 1347—1356, 1977
 - 8) Fitzpatrick, P.J. and Rider, W.D.: Half body radiotherapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1: 197—207, 1976
 - 9) Fitzpatrick, P.J. and Rider, W.D.: Half-body radiotherapy of advanced cancer. *J. Can. Assoc. Radiol.*, 27: 75—79, 1976
 - 10) Cunningham, J.R. and Wright, D.J.: A simple facility for whole-body irradiation. *Radiology*, 78: 941—949, 1962
 - 11) Whitwam, J.G., Morgan, M., Owen, J.R., Goolden, A.W.G., Spiers, A.S.D., Goldman, J.M., and Gordon-Smith, E.C.: General anaesthesia for high-dose total-body irradiation. *Lancet*, 128—129, Jan. 1978
 - 12) Hall, E.J.: Radiation dose-rate: a factor of importance in radiobiology and radiotherapy. *Br. J. Radiol.*, 45: 81—97, 1972
 - 13) Kim, T.H., Kersey, J., Sewchand, W., Nesbit, M.E., Krivit, W. and Levitt, S.H.: Total-body irradiation with a high-dose-rate linear accelerator for bone-marrow transplantation in aplastic anemia and neoplastic disease. *Radiology*, 122: 523—525, 1977
 - 14) Webster, E.W.: Physical considerations in the design of facilities for the uniform whole-body irradiation of man. *Radiology*, 75: 19—33, 1960
 - 15) Aget, H., VanDyk, J. and Leung, P.M.K.: Utilization of a high energy photon beam for whole body irradiation. *Radiology*, 123: 747—751, 1977
 - 16) 日本医学放射線学会 物理部会: 放射線治療における ^{60}Co ガンマ線および高エネルギーX線の吸収線量の標準測定法. *日本医放会誌*, 31: 723—772, 1971
 - 17) Johns, H.E. and Cunningham, J.R.: "The Physics of Radiology," 3rd Ed. pp. 419—420, 1977. Charles C Thomas, Springfield.
 - 18) 都丸禎三: CaSO_4 と BeO 熱ルミネセンス線量計素子の特性と線量測定への応用. *日本医放会誌*, 36: 808—827, 1976
 - 19) Yamashita, T., Yasuno, Y. and Ikedo, M.: Beryllium oxide doped with lithium or sodium for thermoluminescence dosimetry. *Health Phys.*, 27: 201—206, 1974
 - 20) Prato, F.S., Kurdyak, R., Saibil, E.A., Carruthers, J.S., Rider, W.D. and Aspin, N.: The incidence of radiation pneumonitis as a result of single fraction upper half body irradiation. *Cancer*, 39: 71—78, 1977