

電子線治療における骨の線量分布に対する影響に関する検討

中桐義忠 稲村圭司¹⁾ 田原誠司¹⁾ 宇野弘文¹⁾ 東 義晴
渋谷光一 後藤佐知子 丸山敏則 森岡泰樹¹⁾ 栄 勝美²⁾
中川富夫²⁾ 武本充広²⁾ 杉田勝彦 平木祥夫²⁾

要 約

電子線治療は、体表面またはその近傍に発生する悪性腫瘍の治療にしばしば用いられる治療法である。電子線はエネルギーに対応した飛程を持っており、飛程を越えると急激に線量は減少する。この性質は腫瘍に一定の線量を照射し、腫瘍後方に存在する決定臓器を保護することができるので、病巣を選択的に治療するのに好都合である。

しかし、照射野内に人体軟部組織より密度の違う物質が存在する場合、散乱、吸収の影響が大きく、電子線線量分布は乱れたものとなる。今回、人体内にある骨を想定して Volume の違う骨 Phantom を使用して影響を調べたところ、骨幅によって骨後方および断端に線量の乱れが生じることがわかった。すなわち、骨の中央ではある程度後方に距離が離れると、線量は大きく減少する現象が見られた。また、横方向の線量分布は骨断端近くで一旦線量の減少が見られ、断端を離れると急激に増加する。

したがって、実際の臨床において、Target Volume 近くに骨が存在する場合は総線量の決定に際して注意が必要である。

キーワード：電子線治療，線量分布，不均質物質

緒 言

医療用加速器から発生される電子線はその物理的性質から、エネルギーによって一定の飛程を持っている。このため物質内に入射されると、ある深さで急激に線量が減少し、それ以上の深さには到達しない。臨床ではこの性質を利用して、比較的浅在性の病巣に対し、放射線治療として高エネルギー電子線照射が選択される。しかし、体内に骨または空洞のような軟部組織と密度の違う組織が存在する場合、散乱及び吸収がX線、ガンマ線などの光子と大きく異なり¹⁾、周囲の臓器・組織の吸収線量はその影響を大きく受ける。したがって、Target Volume 近傍にこれら不均質物質が存在する症例の場合では、電子線治療に際してその影

響を考慮する必要がある。

近年、コンピュータ技術の臨床への導入に相まって、放射線治療領域においても種々の放射線治療計画用コンピュータ装置が普及し、線量分布図の作成が容易となり、最適な空間線量配分での治療法を選択できるようになっている。しかし、微妙な骨または空洞の影響を忠実に計算し、描出するソフトはまだ開発されていないので、線量分布図から放射線治療計画を行う場合には注意を要する。

そこでまず今回は、種々の Volume の骨 Phantom を用い、電子線エネルギーを変化させて、骨近傍の線量分布を調べ、骨の Volume による電子線線量分布への影響を検討したところ、Volume

岡山大学医療技術短期大学部

1) 岡山大学医学部附属病院中央放射線部

2) 岡山大学医学部放射線医学教室

の変化に対応した独特の乱れを生ずる結果を得たので報告する。

使用機器及び材料

照射装置：東芝メバトロン77 DX67

測定装置：DYNASCAN SYSTEM (CMS社製)

IONEX DOSEMASTER 2590 (NUCLEAR ENTERPRISES)

CHAMBER：0.1ml ION CHAMBER

0.05ml 電子線 CHAMBER

PHANTOM：タフボン BE-T ($\rho=1.73$)

WATER Mix-DP

濃度測定器：MICRODENSITOMETER

(Konica PDS-15)

FILM：X-OMAT TL (kodak)

自動現像機：MODEL 460 RA (kodak)

方 法

一連の実験は Fig. 1 に示す配置で行った。深さ方向の骨の電子線線量分布への影響を調べるため、図左のように Water Phantom を用い、DYNASCAN で走査した。電子線エネルギーは 9, 15, 21 MeV の 3 種類を用い、照射野 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 、焦点表面間距離 101cm で、厚さ 5 mm の骨 Phantom を骨後面が水深 15mm の位置になるようにセットし、Dynascan で深部電離量百分率を測定した。骨後面境界部およびその近傍の測定は DYNAS-

CAN の機構上不可能なので、0.05ml 電子線専用 Chamber を用いて行った(図中央)。測定した深部電離量百分率曲線を骨 Phantom のない場合のそれと比較し、深さ方向の線量に対する骨の影響を検討した。また、横方向の線量分布は Mix-DP Phantom に Film をはさみ、骨 Phantom を Mix-DP Phantom に埋め込んだ配置で照射し(図右)、Micro-densitometer で濃度を測定して Film 濃度曲線を作成し、フィルムの線量特性曲線から線量に変換した。同様の測定を骨厚 10mm, 骨幅 10, 30, 50, 100mm と変化させた場合について行った。

結 果

1. 深さ方向に対する骨の影響について

Fig. 2 - a, Fig. 2 - b に Dynascan を用いて測定した 21, 15MeV 電子線のビーム中心軸上の深部電離量百分率を示し、同様に電子線 Chamber で測定したものを Fig. 3 - a, Fig. 3 - b に示した。図中の実線は骨のない時の深部電離量百分率を示す。この曲線と比較すると、骨が存在する場合、エネルギー 21MeV, 骨幅 10mm で骨透過直後の境界部における線量低下は骨厚 5 mm で 0%, 10 mm で 2.2% であった。測定点が深さ方向に骨より離れるにしたがい、線量低下が大きくなり、骨厚 5 mm で最大 7.2%, 10mm で 13.3% であった。エネルギー 15MeV, 骨幅 10mm においては、骨透

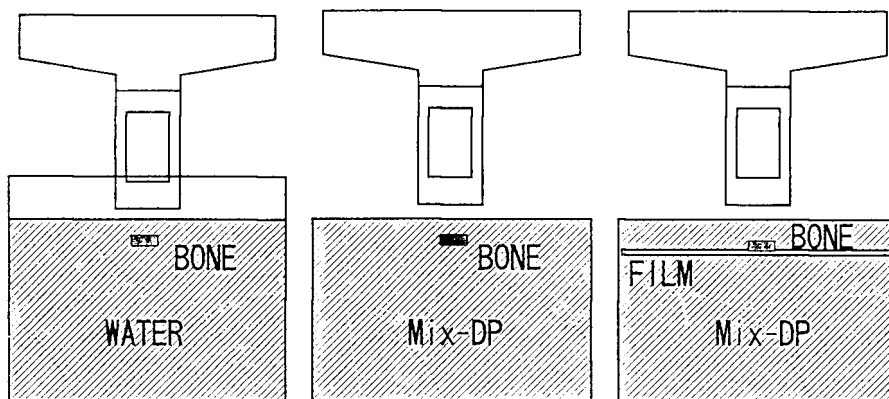


Fig. 1 Diagram of Experiment for Measurement of Dose Distributions

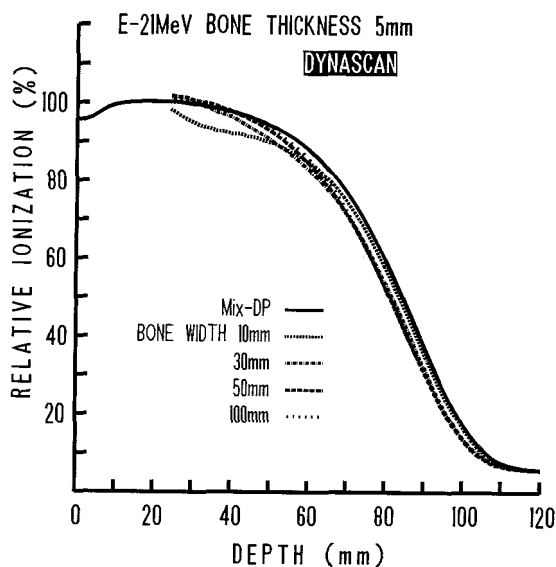


Fig. 2-a Relative Ionization Curves Measured by DYNASCAN at 21MeV Electron Beam

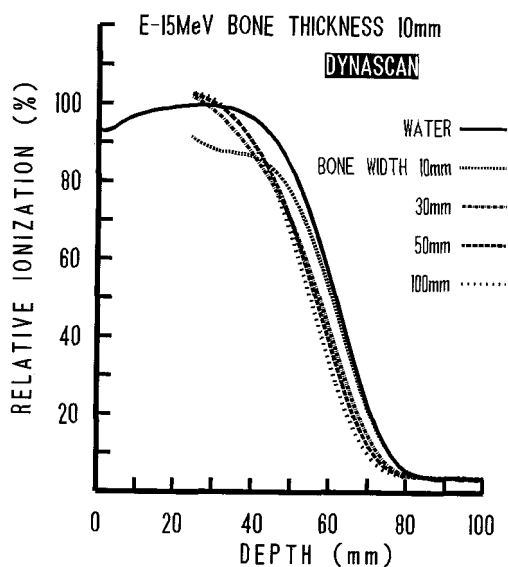


Fig. 2-b Relative Ionization Curves Measured by DYNASCAN at 15MeV Electron Beam

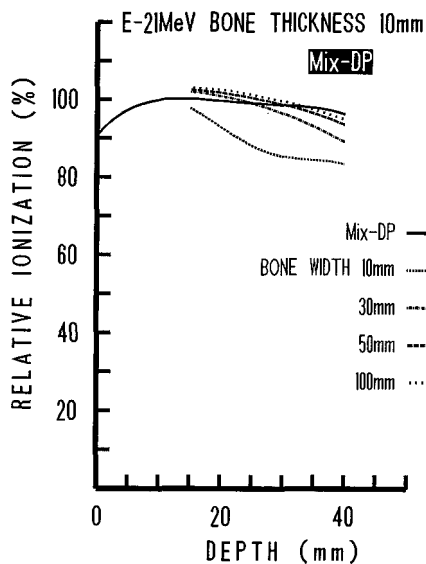


Fig. 3-a Relative Ionization Curves Measured by Ion Chamber at 21MeV Electron Beam

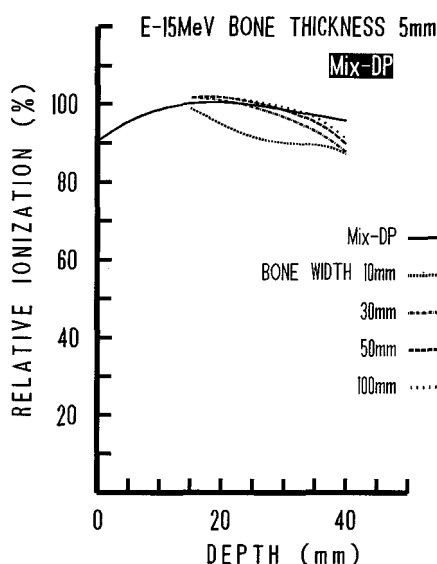


Fig. 3-b Relative Ionization Curves Measured by Ion Chamber at 15MeV Electron Beam

過直後で0.6%と5.2%,最大の線量低下は8.6%と16.7%であった。骨幅30~100mm,厚さ5mmでエネルギー21,15MeVにおいては,骨透過直後で1~2%,厚さ10mmで2~5%前後の線量増加となり,その後,骨より離されるにしたがい線

量は低下して曲線は同様の形を示した。Fig. 4にエネルギー9MeVについての実験結果を示す。9MeVにおいても,21MeV,15MeVと同様に骨幅10mmのみ特異的な線量低下がみられた。

2. 横方向に対する骨の影響

Fig. 5 に15MeV, 骨厚10mm, 骨幅10mm, 30mm, 50mm, 100mm における骨後方の線量プロファイルを示す。一番上の曲線は骨透過直後の位置のもので, 曲線が下にいくほど深部の線量分布を表している。骨幅の中央領域は骨による一次線の吸収と散乱線附加が相殺するところで, 骨幅の広い方が骨からの散乱線が多く, 高い値を示した。骨断端領域は骨の内側では線量は低値を示し, 断端外側では線量が高値となり, 曲線は上に尖った形となった。この傾向は骨透過直後が最もはっきり表れ, 深部になるほど, 散乱線のため曲線はなだらかになった。

考 察

電子線照射時の骨の影響については過去に何例かの報告があるが^{2,3,4)}, それらは板状の骨 Phantom を用いた実験で, 単に一次線の吸収あるいは散乱附加による骨後方の線量の増減を検討したも

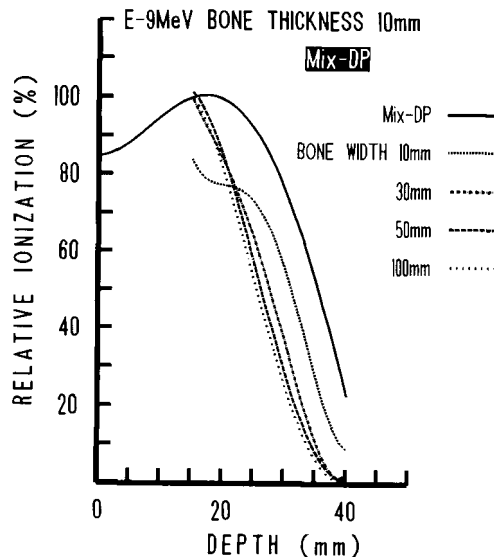


Fig. 4 Relative Ionization Curves Measured by Ion Chamber at 9MeV Electron Beam

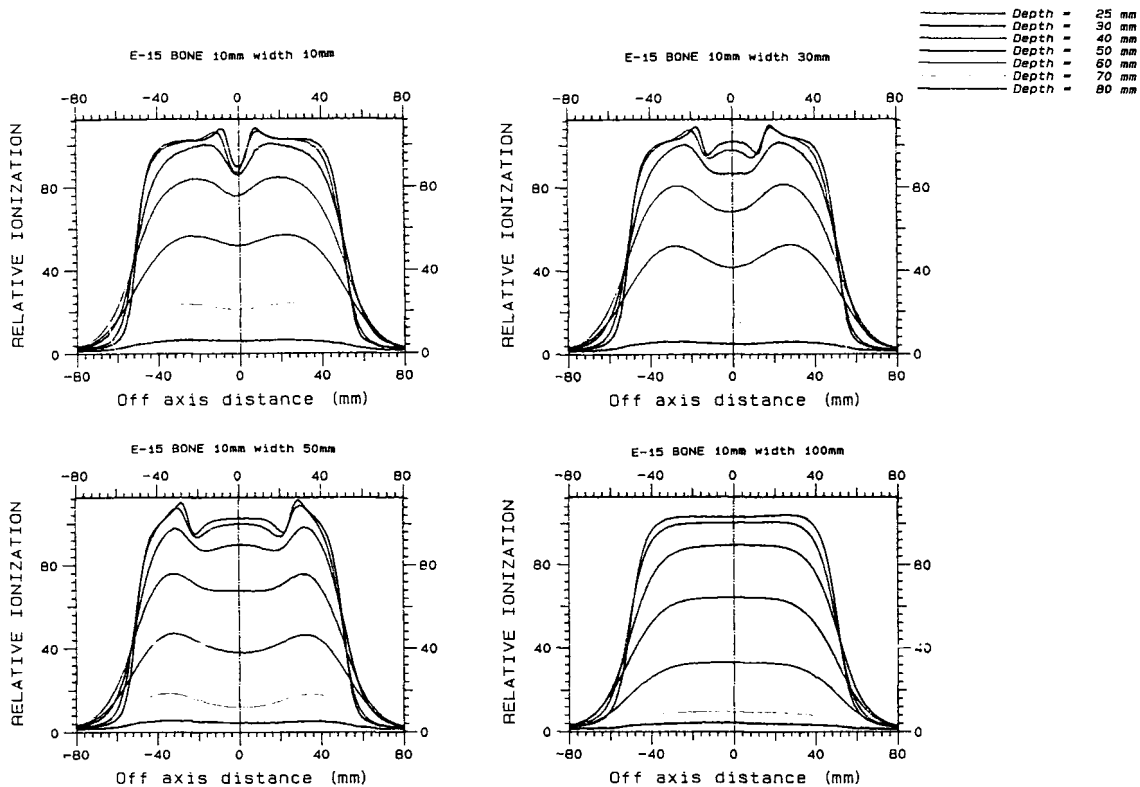


Fig. 5 Beam Profiles Measured by X-ray Film at 15MeV Electron Beam

のである。実際の人体内にある骨は大小様々であり、その Volume によって骨の後方または断端では影響が異なることが予想され、実験した結果、線量分布は結果に示すように複雑なものとなった。

電子線は X 線や γ 線などの電磁波に比べ、物質の密度（電子密度）による影響が大きい。これは電子線が粒子線であり、物質内で散乱、電離、励などの物質との相互作用によるエネルギーの損失が多いためである。したがって、臨床における悪性腫瘍などの電子線治療に際して、人体軟部組織の中に Target Volume がある場合は水 Phantom で測定した基礎データ通りの線量分布を示すが、Target Volume に隣接して照射野内に密度の違う組織が存在する場合はその影響を受け線量分布が乱れる。照射野全体を覆うような大きな板状の骨が存在する場合は骨の一次線吸収と骨からの散乱附加の単純な相殺関係となるが、照射野の一部を覆うような小さな骨の場合はその断端では吸収と散乱線附加の関係が複雑となる。すなわち、臨床 Target Volume 全体を覆うような幅広い骨が前面に存在する場合、骨透過直後では骨からの散乱線により、電子平衡がくずれ線量が増加する。骨からの散乱線が届かない後方では、骨による一次線の吸収のため線量は少なくなり飛程は減少する。幅の狭い骨が Target Volume 前面に存在するような場合は骨中央の後方では側方向からの散乱線附加が少ないため、著しい線量低下がある。また、横側方向では骨断端内側で一旦線量不

足を来し、骨断端外側では線量が急激に増加する。これは、骨内側では骨による一次電子線の吸収がある上に、外側に骨がないので散乱附加量が少ないためと考えられる。断端外側では、骨による一次線の吸収がない上に、骨からの散乱線が加わるため線量が増加し曲線が凸になるものと考えられる。

なお、本実験は骨皮質の密度に相当する密度 1.73 の骨ファントムを用いて行ったが、同様の実験を密度 1.40, 1.20 のものを作成し、密度による影響についても明らかにして行きたい。実際の人体の骨は骨皮質が髄質を包んだ構造になっており、密度いくらの骨ファントムの実験結果が臨床的に合致するのも検討して行きたいと考える。

参 考 文 献

- 1) 三村誠一, 三上泰隆, 稲村圭司, 田原誠司, 永谷伊佐雄, 江草具視, 中桐義忠, 杉田勝彦: 10MV-X 線線量分布における Dental metal の影響. 日放技学誌 47 (5): (728-733), 1991.
- 2) Khan FM, Moore Vc, and Levitt SH: Field shaping in electron beam therapy. The British Journal of Radiology 49: (883-886), 1976.
- 2) 尾内能夫: PC ユーザー・グループのあゆみ. PC ユーザー・グループ事務局, 東京. 1993.
- 3) 森 剛彦: 医用電子加速装置の現状と将来. 日放技茨城支部放射線治療研究会, 茨城. 1-14, 1989.
- 4) Okamura Y, Mori T and Kitagawa T: Modification of Dose Distribution in High-Energy Electron Beam Treatment. Radiology 10: 683-686, 1971.

Influence of the Bone for Electron-beam Therapy

Yoshitada NAKAGIRI, Keiji INAMURA¹⁾, Seiji TAHARA¹⁾, Hirofumi UNO¹⁾,
Yoshiharu AZUMA, Koichi SIBUYA, Sachiko GOTO, Toshinori MARUYAMA,
Yasuki MORIOKA¹⁾, Katsuyosi SAKAE²⁾, Mitsuhiro TAKEMOTO²⁾,
Katsuhiko SUGITA and Yoshio HIRAKI²⁾

Abstract

The Electron-beam therapy is often used for the treatment to malignant tumors on the surface or its neighborhood of the body. An electron-beam has the range depended on its energy, and its dose is rapidly decreased at the points beyond the range. This property is available to irradiating a tumor with leaving the critical organs unexposed.

However, we should take notice that the dose-distributions are disordered if materials of various densities are in the irradiation field. In this paper, we examined how the dose-distribution are disordered by using the phantom made from human bones of various volumes.

As a result, the peculiar disorders of the dose-distribution due to the difference of the bone width were found at the back and edge of a bone. Moreover, the dose at the edge of a bone was decreased, but the dose at the side of a bone was rapidly increased in the distance position from the bone. It is necessary to take account of that the above peculiar phenomenon affect the total dose for the treatment when bones exist near the target volume in the irradiation field.

Key words: electron-beam therapy, dose distribution, inhomogeneity

School of Health Sciences, Okayama University

1) Radiology of Central Division, Okayama University Hospital

2) Department of Radiology, Okayama University Medical School