臨床技術

頭頸部の放射線治療におけるシェル使用法の検討

入川富夫・田中捨雄・磯見正美・米田 猛・山根晴一

鳥取赤十字病院放射線技術課

論文受付
1998年12月12日論文受理
1999年6月14日Code Nos. 431
754
852

1. はじめに

シェルは、頭頸部の放射線治療において有用な固定具であるが、表面線量の増大をもたらす。このことについて多くの報告¹⁻⁵⁾があるが、いかにして表面線量を軽減するかについての報告^{6, 7)}は少ない。また、斜入射におけるシェル使用時の表面線量についての詳しい報告は見当たらない。

今回われわれは、シェルによる表面線量の増加に関する基礎データを得るとともに、頭頸部領域の一般的な照射方法に対するシェル使用法を検討したので報告する。

2. 使用機器

照射装置 : 日本電気株式会社製

Improvement of the Shell in Radiotherapy for Head and Neck Cancers

TOMIO IRIKAWA · SUTEO TANAKA · MASAMI ISOMI · TAKESHI YONEDA and HARUICHI YAMANE

Department of Radiology, Tottori Red Cross Hospital

Received Dec. 12, 1998; Revision accepted June 14, 1999; Code Nos. 431, 754, 852

Summary

The use of a shell has made it unnecessary to mark the skin in radiation therapy for head and neck cancers. However, a serious problem is that secondary electrons from the shell frequently cause radiation dermatitis. The increase in surface dose is a major problem in using a shell, and several trials have been carried out to overcome this problem. In this study, the result of measurement with 6 MV x-rays demonstrated that the use of a shell caused the surface dose to increase 2.9 times in a 5×5 cm² field and 2.3 times in a 10×10 cm² field. With a pair of lateral opposed fields for neck cancers, the angle of incidence was approximately 45 degrees. In a comparison of the perpendicular incidence of an open field and 45-degree incidence of a shell field, it was found that the surface dose increased 3.6 times in the 5×5 cm² field and 2.9 times in the 10×10 cm² field. Considering patients' quality of life, we decided to remove the shell from the radiation field and also not to mark the skin, and devised a new method of precutting the shell and developed supplemental equipment. The result of measurement of the shell with our supplemental devices suggested that it would be useful in decreasing surface dose in patients with head and neck cancers.

Key words: Shell, Surface dose, Oblique incidence, Supplemental device, Head and neck cancers

別刷資料請求先: 〒680-8517 鳥取市尚徳町117
鳥取赤十字病院 放射線技術課 リニアック室 入川富夫 宛

	NELAC-1012A型 公称6 MV X線 (TPR比 5.57MV)
線量計	: 英国NE・テクノロジー社製 IONEX DOSEMASTER 2590
電離箱	: PTW-FREIBURG社製 2534型 0.055cc 平行平板形電離 箱(以下、電離箱); 壁材はグラ ファイト膜付ポリエチレン 壁厚は $2.3\text{mg}/\text{cm}^3$ (0.03mm)
OLFIT固定システム	: シェル公称2mm厚
ファントム	: Mix-Dp (35cm×35cm) アクリル板(密度: $1.19\text{g}/\text{cm}^3$)

3. 実験方法

3-1 表面線量の変化

6 MV X線でのシェルの有無による、表面線量の変化を把握するため、下記の三群による比較を行った。

(1) 垂直入射でシェル(原形状態)なし(以下、open

field)と、シェルあり(以下、shell field)での変化。

(2) 斜入射におけるopen fieldでの変化。

ガントリ角度を60度まで5度ないし10度ずつ変化させる。

(3) 斜入射におけるshell fieldでの変化。

ガントリ角度変化は(2)と同様。

表面線量は、ビーム中心軸上の、ピーク深における電離電流に対する表面の電離電流の比で表し、これを表面/ピーク線量比とした⁸⁾。電離箱を厚さ5cmのMix-Dpに埋め込み、厚さ15cm(5cm厚3枚)のMix-Dpの上にのせて、全体の厚さを20cmとした。この電離箱の上にアクリル板を積み重ね、シェルの有無でのbuild-up領域の電離量を測定した。測定は、電極を正負切り替えて行い⁹⁾、その平均値を採用した。この測定での実効中心は電離箱前面とし、装置の回転中心と一致させた(SAD 100cm)。照射野は電離箱前面で $5\times 5\text{cm}^2$ と $10\times 10\text{cm}^2$ とした。

斜入射での電離箱の方向依存性については、ファン

トムとして外径8.7cmの透明なプラスチック容器を使用し検討した。

この容器に水を満たし、Mix-Dpのプレートに固定した電離箱の前面が、実効中心になるようセットした(Fig.1)。照射野 $10\times 10\text{cm}^2$ で90度まで15度間隔で測定した。

なお容器材質の厚みの均一性と、電離箱のセット位置の影響を考え、基準となる容器へのビーム中心軸上の入射点(電離箱への入射角0度)を90度間隔に4点設定し、各々の点を基準にして測定した。これにより、容器全周でのデータを得たことになり、それに伴い電離箱のセットも4回行った。

その結果、各々の点を基準にした各入射角度での測定値の変動係数は0.08%(4回の測定値の標準偏差を平均値で除した値を百分率表示)以下であったため測定値の平均を採用した。結果をFig.2に示す。これより入射角度75度で最大1%の方向依存性が認められたが、実験データは測定値をそのまま採用した。また本論文での表面は、電離箱の壁厚0.03mm深部である。なお電極間隔(2mm)の表面線量測定値への影響については考慮しなかった。

Fig. 1 Geometrical arrangement in a study of directional dependence of a shallow ionization chamber.

Fig. 2 Directional dependence of a shallow ionization chamber.

3-2 シェル使用時の表面線量の低減対策

3-2-1 照射領域内のシェルの開窓

シェルによる表面線量の影響をなくするためには、照射領域にシェルが存在しないのが理想である。照射領域のシェルの開窓は形取り後行うのが一般的であるが、事前にカットしたシェルを用い、型取りを行った場合と比較した。

3-2-2 補助具の作製

照射領域にあるシェルを開窓した場合、補強材等を新たに加えなければ、固定精度の低下を招く。また患者のQOLを考慮し、皮膚にマーキングすることは避けたい。そのための補助具の作製を検討した。

3-3 再現性評価

シェルの型取り、補助具の使用具合、再現性の評価を行った。再現性は水晶体、甲状腺の被曝を考慮し1週間後、3週間後の2回のリニアックグラムにて評価した。

4. 結果

4-1 表面線量の変化

測定結果をTableに示す。これより垂直入射での表面線量を1としたとき、斜入射における表面線量を相対的に表したものをFig.3に、また垂直入射でのopen fieldの表面線量を1としたとき、斜入射におけるshell fieldの表面線量を相対的に表したものをFig.4に示す。これらより、

- (1) 垂直入射でopen fieldの場合、表面線量は照射野 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ が0.177、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ が0.236であった。shell fieldの場合は、それぞれ0.505、0.550となり、open fieldよりそれぞれ2.85倍、2.32倍増加した(Table)。また最大線量(ピーク深での電離電流)は、shell fieldがopen fieldに比べ0.1%の僅かな減少を示した。ピーク深については、明確な数値で表せずshell fieldがopen fieldに比べ、2mm程度表面側に移行していた。
- (2) open fieldで斜入射の場合、表面線量は入射角度が増すに従い増加した。頸部への側方対向2門照射の場合、多くの症例で45度前後の斜入射になっている。45度斜入射での表面線量は、照射野 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ が0.288、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ が0.345となり(Table)、垂直入射と比べ、それぞれ1.63倍、1.46倍の増加になった(Fig.3)。
- (3) shell fieldで斜入射の場合も、入射角度が増すに従い表面線量は増加した。増加率はopen fieldの場合より低かったが、45度斜入射での表面線量は、照射野 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ が0.635、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ が0.674と絶対量は、かなり増加した(Table)。open fieldの

Table Surface-to-peak dose ratios of 6 MV X-rays according to the angle of incidence.

Angle of incidence (degree)	Field size $5 \times 5 \text{ cm}^2$		Field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$	
	Open field	Shell field	Open field	Shell field
0	0.177	0.505	0.236	0.550
10	0.183	0.510	0.241	0.559
20	0.197	0.530	0.255	0.575
30	0.220	0.559	0.279	0.605
40	0.260	0.608	0.318	0.649
45	0.288	0.635	0.345	0.674
50	0.320	0.671	0.377	0.706
60	0.403	0.745	0.453	0.771

Fig. 3 Surface dose at oblique incidence compared with that at perpendicular incidence. Relative surface dose shows the ratio of the surface dose at the different angles to that at the perpendicular incidence. $1/\cos\theta$ is a curve of reference.

Fig. 4 Surface dose at oblique incidence of a shell field compared with perpendicular incidence of an open field. Relative surface dose shows the ratio of the surface dose at different angles of the shell field to that at perpendicular incidence of the open field.

垂直入射と比べ、それぞれ3.59倍、2.85倍の増加であった。60度斜入射ではそれぞれ、4.20倍、3.26倍の増加であった(Fig.4)。

斜入射での最大線量の変化については、入射角度が増すに従い緩やかに減少し、open fieldの入射角60度の場合、垂直入射と比べ照射野 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ で1.4%、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ で0.9%減少した。測定に使用した電離箱の方向依存性を加味すると、それぞれ2.2%と1.7%の減少であった。shell fieldの入射角60度の場合も、それぞれ2.1%と1.4%の減少で、小照射野の方が減少率が高かった。斜入射でのビーム中心軸上のピーク深については、両者とも入射角度による変化は認めず、shell fieldがopen fieldに比べ、2mm程度表面側に移行していた。

4-2 シェル使用時の表面線量の低減対策

4-2-1 照射領域のシェルの開窓

シェルを照射野より5mm程度拡げて開窓した場合、喉頭癌での小照射野においても、シェル強度の低下から、形状の変化が生じ再現性の悪い症例があった。照射野の大きな上顎洞癌、咽頭癌の場合、照射野の大きさにあわせカットすることは、固定精度も再現性も望めない結果であった。また、事前に照射領域を開窓した、Fig.5のようなプリカットシェルで型取りした場合、照射領域に架かったシェルのカットしても、形状変化が生じることはなかった。しかし固定精度を高めるためには、既製のシェル固定用プレートでは不十分であった。

4-2-2 補助具の作製

Fig.6のような補助具を作製した。材料は、9.5mm厚

の亚克力を使用し、既製のシェル固定用プレートを、はめ込み方式で設置できるようにした。この補助具の大きな特徴は、両サイドに厚さ2mmの亚克力板をスライド脱着できる枠を取り付けたことである。この亚克力板に照射野をマーキングすることで、皮膚へのマーキングはビーム中心点と任意の2~3点のポイントマーキングで済ませることができた。シェルにはレーザーカライザのラインをマーキングした。セットアップが完了したら、亚克力板を抜いて治療を行う。また頭頂部および両腋下方にシェル固定用のピンを取り付け補強時に対応できるようにした。

4-3 再現性評価

Fig.7に上咽頭癌の症例を示す。咽頭は頸部リンパ節を含めた照射で、シェルのカット部分が大きく、図のように頭部を帽子のようにホルードし、オトガイ部にシェルがくい込むよう型取りした。その後、使用済みのシェルの前頭部と頭頂部のピンに取り付け、顎を引く(力加減は患者の協力が不可欠)ことによりシェルとのフィット感を高めた。また肩の状態が一定に保てるようベッドの両サイドに、スライドできる握り棒を取り付けた。補助具の設置位置を決め、ベッドサイドの目盛りに握り棒を合わせ、握ってもらうことにより肩の再現性が向上した。5症例の再現性は任意の5点を選択し、ズレの平均は3.8mm($3.79 \pm 1.41 \text{ mm}$)であった。

Fig.8に上顎洞癌の症例を示す。下顎と舌への照射をできるだけ避けるよう、開口して型取りをした。開口度合い、下顎の固定を保つためシェルは頭頸部用を使用した。4症例の再現性は、任意の3点を選択し、ズレの平均は3.2mm($3.16 \pm 1.38 \text{ mm}$)であった。

Fig. 5 Pre-cut models of shells.
(a) For patients with maxillary cancer.
(b) For patients with laryngeal cancer (T_1 and early T_2 cases of vocal cord cancer).
(c) For patients with pharyngeal cancer (including those with involvement of neck lymph nodes).

Fig. 6 Supplemental devices for radiation therapy for head and neck cancers.
(a) Acrylic supplemental device that we invented.
(b) State for installation of a ready-made plate for fixation of the shell.

Fig.9に喉頭癌(声門部癌 T_1 , T_2 対象)の症例を示す。喉頭癌の場合、照射野としては $5 \times 5 \text{cm}^2$ 程度で、カット部分も少なくすむが、図にみるようなオトガイ部と胸骨柄部に、使用済みのシェルを補強として用いた。これにより胸部部分のシェルのそり返しもなく、ポインターラインもマーキングでき非常に有用であった。5症例の再現性は、任意の3点を選択し、ズレの平均は 1.5mm ($1.54 \pm 0.66 \text{mm}$)であった。

5. 考 察

放射線治療における副作用の一つとして、放射線皮膚炎がある。患者にとって外見的变化に伴う心身のストレスは、耐えがたいものがあると推察される。まして、それが顔のまわりであればなおさらであろう。頭頸部の放射線治療ではシェルの使用により、皮膚マーキングから解放された。しかし、シェルからの二次電子による放射線皮膚炎の増強が問題となった。これに対しシェル使用に関するアンケート調査⁷⁾では、照射領域を切り抜く(開窓する)、皮膚炎が生じたら開窓する、シェルの使用を中止するなどにより対応しており、シェルの有用性は認めるものの、表面線量の増大に苦慮しているのが現状であろう。

今回、当施設の6 MV X線での実験結果からも、シェルを使用することにより、垂直入射で照射野 $5 \times 5 \text{cm}^2$ で2.85倍、 $10 \times 10 \text{cm}^2$ で2.32倍表面線量が増加していた。実際には、シェルは型取りの過程でいくらか伸張があり、このデータより少ないことが予想されるが、頸部は頭部に比べ伸張率は低く、大きな差はないと考える。

斜入射については野田の報告¹⁰⁾が詳しい。この報告のX線エネルギーは10MVで、当施設の6MVと線質に相違があるが、照射野 $10 \times 10 \text{cm}^2$ の斜入射表面線量は、われわれの実験結果と同様、おおむね $1/\cos\theta$ (θ : 入射角度60度まで)に比例し増加していた(Fig.3)。しかしこの報告は照射野 $10 \times 10 \text{cm}^2$ のデータしかなく、われわれの実験結果から、照射野 $5 \times 5 \text{cm}^2$ では $1/\cos\theta$ より大きな値で表面線量は増加していた(Fig.3)。これより斜入射の場合、入射角度による表面線量の増加率は、小照射野の方が高いといえる。

斜入射でのビーム中心軸上のピーク深は、平板ファントムを使用した幾何学的関係から、垂直入射での深さを d_0 とすると入射角度 θ の場合、ビーム中心軸上の深さ d は、 $d = d_0/\cos\theta$ で求めた値である。入射角度の変化に対し、積み重ねたアクリル板の厚さから、計算で求めたビーム中心軸上のピーク深は、ほぼ 15mm であった。この値は垂直入射でのピーク深であることから、ビーム中心軸上のピーク深については変化を認めないと判断した。最大線量の減少に関しては、Linac

Fig. 7 A case of nasopharyngeal cancer.
(a) (b) The shell after molding (the arrow shows reinforcement of the used shell).
(c) In practice (the arrow shows the bar for grasping).

Fig. 8 A case of maxillary cancer.
(a) (b) The shell after molding.
(c) In practice.

Fig. 9 A case of laryngeal cancer (T_1 and early T_2 cases of vocal cord cancer).
(a) (b) The shell after molding (the arrow shows reinforcement of the used shell).
(c) In practice.

X線では野田が10MV X線について、Jackson¹¹⁾が4 MV X線について報告している。これらの結果も同様に減少しており、明確な理由は不明である。

shell fieldでの斜入射表面線量は、open fieldの垂直入射と比較すれば、Fig.4に示したようにかなりの増加になる。垂直入射のデータだけで評価し、照射領域を開窓しなくても影響が少ないという報告²⁾もあるが、これには大きな疑問を感じる。

また岩崎⁴⁾らは、射出側でのシェルの影響を測定しており、4 MV X線で4.8%、10MV X線で5.6%の線量増加がみられたと報告している。これらの結果から、頭頸部におけるシェルの使用は、斜入射との相乗効果により、小照射野であっても、予想以上の表面線量増大を招くことが判明した。よって、われわれは照射領域にシェルが存在しないことと、患者のQOLを考慮し、皮膚にマーキングしないことを前提に検討した。その結果、今回のようなシェルの部位別ブリカッと補助具を考案し作製した。再現性評価での臨床数は少ないが、満足できる結果と考える。また皮膚へのポイントマーキングで、患者のQOLを損なうこともなかった。しかし、咽頭癌でのシェルの開窓面積は大きく、顔面部のそり返しが多少認められるため、現在は両下顎部とその下方に幅5mm程度の補助ブリッジを架けている。これによりオトガイ部のフィット感により改善され、セットアップ時間も短縮したが、照射領域にシェルが存在する結果となり、今後の検討課題である。

今回、おもにシェル使用による表面線量の増加に関

するデータを取り上げ、当施設での頭頸部の一般的な治療でのシェル使用法を紹介した。今後シェルを使用して治療を行う場合、再現性を重視するのはもちろんのこと、表面線量も考慮した使用法を検討すべきと考える。

5. まとめ

- (1) 照射領域にシェルが存在し斜入射の場合、相乗的な表面線量の増加がある。45度斜入射の場合、open fieldの垂直入射と比べ、照射野5×5cm²で3.59倍、10×10cm²で2.85倍の増加になる。
- (2) 斜入射の場合、入射角度による表面線量増加率は照射野の大きさに依存し、小照射野の方が増加率は高い。
- (3) 頭頸部での安易なシェルの使用は、放射線皮膚炎の増強により、結果的に患者のQOL低下を招く。
- (4) 放射線治療におけるシェルの使用は、再現性はもとより表面線量も考慮した使用法を検討すべきである。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究にご指導、ご閲覧をいただいた鳥取赤十字病院放射線科・井俣孝司先生、および補助具作製に御協力いただいた鳥取赤十字病院管財課・西尾淳一氏に深く感謝いたします。本論文の要旨は第36回中国・四国部会、第52回総会学術大会で発表した。

参考文献

- 1) 坂口 薫, 安藤富士夫, 瀬尾 誠, 他: 新しい固定シェル (ORFIT) について. 日放技学誌, 44(8), 1226, (1988).
- 2) 北川五十雄, 砂岡正良, 五味直人: 頭頸部領域における照射野の再現性に関する定量評価. 日放技学誌, 47(8), 1289, (1991).
- 3) 武政 洋, 清川文秋, 加戸秀輝, 他: 高エネルギーX線治療における皮膚線量の測定. 日放技学会中国・四国部会誌, 5, 89, (1995).
- 4) 岩崎孝信, 笹川泰弘, 正木 修, 他: 患者固定具(シェル)の表面線量への影響, 日放技学会中国・四国部会誌, 6, 96, (1996).
- 5) 藪谷俊峰, 澤田武司, 鈴木昇一: シェル材料の比較検討. 日放技学誌, 52(10), 1456, (1996).
- 6) 信州大学医学部放射線科編: 放射線治療用固定具シェル作製手順(マニュアル). (1991).
- 7) 伊津野格: シェル(放射線治療用固定具)について. 月刊新医療, 8, 122-124, (1992).
- 8) 尾内能夫, 入船寅二, 都丸禎三, 他: TelecobaltおよびLinac X線装置による表面線量と表面近傍の線量計算式. 日本医放会誌, 32(9), 735-743, (1972).
- 9) 日医放学会物理部会編: 放射線治療における⁶⁰Co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. 通商産業研究社, 東京, (1989).
- 10) 野田博治: 斜入射放射線の表面附近の線量分布. 日本医放会誌, 38(10), 976-984, (1978).
- 11) Jackson W: Surface effects of high-energy x-rays at oblique incidence. Br J Radiol, 44, 109-115, (1971).

図表の説明

- Fig. 1 平行平板形電離箱の方向依存性を調べた幾何学的配置.
- Fig. 2 平行平板形電離箱の方向依存性.
- Fig. 3 垂直入射表面線量に対する斜入射表面線量. 垂直入射での表面線量を 1 としたとき, 斜入射における表面線量を相対的に表した. $1/\cos\theta$ は参照カーブ.
- Fig. 4 open fieldの垂直入射表面線量に対するshell fieldの斜入射表面線量. 垂直入射でのopen fieldの表面線量を 1 としたとき, 斜入射における shell fieldの表面線量を相対的に表した.
- Fig. 5 シェルのカットモデル.
(a)上顎洞用.
(b)喉頭用(T_1 , 早期 T_2 の声門部癌).
(c)咽頭用(頸部リンパ節転移を認める他の腫瘍も含む).
- Fig. 6 頭頸部放射線治療用補助具.
(a)今回われわれが考案した, アクリル製補助具.
(b)既製のシェル固定用プレートを設置した状態.
- Fig. 7 上咽頭癌の症例.
(a)(b)型取り後のシェル(矢印はシェルの補強を示す).
(c)整位状態(矢印は握り棒を示す).
- Fig. 8 上顎洞癌の症例.
(a)(b)型取り後のシェル.
(c)整位状態.
- Fig. 9 喉頭癌の症例(T_1 , 早期 T_2 の声門部癌).
(a)(b)型取り後のシェル(矢印はシェルの補強を示す).
(c)整位状態.
- Table 6 MV X線での入射角度による表面線量.