ノート

固定具用熱可塑性樹脂シェル材料の基礎的検討

藪谷俊峰・澤田武司

藤田保健衛生大学病院放射線部

論文受付
1996年12月5日論文受理
1997年7月11日

Code No.754

1. 目的

放射線治療において、照射部位の動きと位置の再現性は重要な問題である。その解決策として、熱可塑性樹脂を用いたシェル固定具の使用が有用である¹⁻⁹⁾。この放射線治療固定具用熱可塑性シェル材料(以下、シェル材)は、1994年4月から健康保険適応になり(脳を除く頭頸部のみ)、幾種類か市販されている。しかし、臨床使用するにあたり、それぞれの特性を把握することは大変重要であると考え、各シェル材の基礎的な物理特性を測定した。さらに、同一条件で各シェル材のマスクを作成し、作成者側の加工・作成の容易

さ、患者側の装着感、シェル固定具の固定精度についての検討を行った。

2. 方法

シェル材はメッシュ状のORFIT (ORFIT Industries社製)2mm厚、メッシュ状で表面にポリウレタンコーティングしたPOSICAST (株式会社岡本製作所製) 2mm厚、メッシュ状でフレーム付きのUni-frame (Med-tec Inc.製) 2.4mm厚、メッシュ状のRADICAST (エンジニアリング・システム株式会社製) 2mm厚、板状のShellfitter (株式会社クラレ製) 3mm厚、板状の

Study of Thermo-plastic Shell Materials for Fixation Devices

TOSHIMINE YABUTANI and TAKESHI SAWADA

Department of Radiology, Fujita Health University Hospital

Received Dec.5,1996; Revision accepted Jul.11,1997; Code No.754

Summary

Fixation of the irradiated part at radiotherapy is an important problem. One solution is the use of a fixation device with a thermo-plastic shell. We studied various thermo-plastic shell materials in order to compare their kinking characteristics. The shell materials examined were Orfit (thickness: 2mm), Posicast (thickness: 2mm), Uni-frame (thickness: 2.4mm), Radicast (thickness: 2mm), Shellfitter (thickness: 3mm), Thermoshell-S (thickness: 3mm) and Thermoshell-P (thickness: 3mm). We measured relative dose ratio at the surface and at the calibration point, and the shrinkage ratio of the shell materials after they had hardened. We compared the accuracy of fixation and impressions from test subjects when the various fixation devices were used. Results showed that the surface dose was increased about threefold, and the calibration point dose was decreased 0.6% when the fixation devices were used. The shell materials shrunk about 1% within a few hours after they had become hard. However, there was no difference between materials after that. The mesh-type shells were preferred by the test subjects. Set-up reproduction was dependent on technological precision in shaping and putting on the fixation device. In addition, shell materials should be chosen for the following factors: 1) ease of use, 2) comfort for patients, 3) cost of preparation.

Key words: Radiotherapy, Fixation device, Thermo-plastic, Shell materials

THERMOSHELL-S(アルケア株式会社製) 3mm厚, 板状で穴あきのTHERMOSHELL-P(アルケア株式会社製) 3mm厚の7種類である. それぞれの製造元から公表されている物理特性をTable 1 に示す.

検討項目は以下のとおりであり, 線量測定には4MV X線を用いた.

2-1 表面線量の増加

シェル固定具使用時の患者皮膚への影響を以下の方法で検討した. 平行平板型電離箱線量計の上にシェル材を置いた場合と, 何もない場合の測定値の比を表面線量の増加率とした. 照射野は $10\times 10\text{cm}^2$ にて, シェル材を積み重ねた場合および, 各伸張率 $|1.0\times 1.0, 1.2\times 1.2, 1.5\times 1.5, 2.0\times 2.0, 2.5\times 2.5, 3.0\times 3.0$ (Uni-frameのみ)(以下同様)|に引き延ばしたシェル材の表面線量増加率を測定した. また, 同様に水等価ファントム 1cm厚を線量計上に置いた時の測定値をピーク線量として, ピーク線量比を求めた.

2-2 校正深吸収線量の減少

シェル固定具使用時の患者体内への影響を以下の方法で検討した. 固体水等価ファントムの校正深(5cm)での線量の減少を0.6cc指頭型電離箱を用い, 照射野は $10\times 10\text{cm}^2$ にて, シェル材を積み重ねた場合, および引き延ばしたシェル材をファントム上に乗せて, 校正深吸収線量減少率を測定した.

2-3 伸縮測定

経時変化による各シェル材の縮小率を硬化後20日間を 1.2×1.2 倍の伸張率で測定した. 次に, 各伸張率における縮小率を測定した. シェル材はUni-frameを用いた. また, 硬化後180分間の縮小率を各伸張率にて測定した. シェル材はRADICASTを用いた.

2-4 固定精度

ボランティア3名により固定精度を検討した. その時, 固定用プレートはORFIT RF-101を使用し, 各シェル材をORFIT頭部用RS-21と同じ形に加工した. し

かし, Uni-frameはフレーム付きでプリカットされているため専用固定プレートを使用した. 固定精度測定は被験者がボランティアのため, ポータル画像による照射野ズレ測定を行えなかった. そのため, 意図的に力まない一定の力で鼻先部を左右方向と頭尾方向に動かし, その可動距離を測定した. その時, 無開窓の場合と顎関節部左右に $10\times 10\text{cm}^2$ 開窓した場合を測定した.

2-5 被験者の評価

作成時はシェル材の付着, 熱感, ムレを, 完成後は圧迫感と肌触りを検討した. 皮膚温度はシェルを約 75°C の温水に入れ, 軟化後に温水から出してすぐに測定した. 装着感は作成1週間後に検討した.

他に, シェル固定具作成作業時と, 切断穴開け加工時のシェル材ごとの特徴を検討した.

直線加速装置はNEC NELAC-1004, 線量計はCAPINTEC-192A, 電離箱は0.14cc平行平板型(CAPINTEC Inc.製)と0.6cc指頭型(株式会社応用技研製C-110), 縮小率測定はデジタルノギスDigimatic-500(株式会社ミットヨ製), 水等価ファントムはRW-3(PTW-FREIBURG)を使用した.

3. 結果

3-1 表面線量

シェル材を引き延ばした場合をFig.1に示す. メッシュ状のシェル材(ORFIT, POSICAST, Uni-frame, RADICAST)は同じ傾向を示した. 臨床使用時の伸張率は約 1.2×1.2 倍である. その時, 板状シェル|Shellfitter, THERMOSHELL-S, THERMOSHELL-P|で約3倍, メッシュ状では約2倍の表面線量の増加になった. Fig.2はシェル材を積み重ねた場合の表面線量増加率である. 板状およびメッシュ状はそれぞれ同じ傾向を示した. 板状シェル3枚厚で約3.5倍, メッシュ状では約3.2倍になった.

ピーク線量比はFig.3に示すとおり, 伸張率 1.2×1.2 倍で板状シェルで約80%, メッシュ状では約60%であった. シェル材を積み重ねた場合は板状シェル3枚厚でほぼピーク線量に達し, メッシュ状では約95%であ

Table 1 Physical characteristics of shell materials. (Based on manufacturers' data)

	Density (g/cm ³)	Solidity (JIS shoreD)	Intensity of drawing (kg/cm ²)	Extended ratio (%)	Soften temp. (°C)	Soften time (sec.)	Harden time (min.)
ORFIT	1.100	55	360	800	60±1	30±10	5~10
POSCAST	—	—	—	—	60~70	30	3
Uni-frame	—	—	—	—	71~73	—	—
RADICAST	—	—	450	700	—	—	—
Shellfitter	0.960	50	290	400	70~80	—	5
THERMOSHELL-S	1.138	—	690	780	60~70	120~180	5~6
THERMOSHELL-P	1.138	—	690	780	60~70	120~180	5~6

Fig. 1 Relative dose ratio at surface and shell material extension.

Fig. 2 Relative dose ratio at surface and kinking of the shell materials.

Fig. 3 Relative dose ratio of peak dose and shell material extension.

った(Fig.4).

3-2 校正深吸収線量

伸張率1.2×1.2倍では板状シェルで約0.6%, メッシュ状では約0.4%減少した(Fig.5). シェル材を積み重ねると3枚厚で板状シェルは約3%, メッシュ状は約2%減少した(Fig.6).

3-3 伸縮測定

硬化後20日間の各シェル材の縮小率をFig.7に示す. Shellfitterの変動が大きいのは, 反りが発生し, 測定時に押さえたためである. 次に, 伸張率を変化させてシェル材の縮小率を測定した結果をFig.8に示す. 伸張率を大きくすると, ばらつきが僅かに大きくなる. しかし, 1日以内に約1%縮小し, その後は縮小傾向は認められない. 次に, 硬化後180分間の縮小を測定した結果をFig.9に示す. いずれの伸張率でも, 硬化後10分間に急速に縮小したが, その後の変化はわずかであった.

3-4 固定精度

結果をFig.10に示す. 左右方向をX, 上下方向をYとして, グラフ前方は無開窓, 後方は顎関節部左右に10×10cm²開窓した結果である. 今回の測定では無開窓のRADICASTが最も固定精度が高く, POSICASTの固定精度は低い. しかし, どのシェル材も開窓すると固定精度の低下が著しい.

3-5 被験者の評価

作成時の問題点はシェル材の付着, 熱感, ムレである. 一方, 完成後の治療時では圧迫感と肌触りが問題となった(Table 2). ムレはメッシュ状では発生しなかった. 板状の

シェルは皮膚温度が高く、特にTHERMOSHELL-Pは49.0°Cと高温であった。耐えられない温度ではないが、苦痛であった。しかし、軟化後温水から出し、数分おいてシェル材の温度を下げるにより解決した。

装着感はShellfitterに反りが発生し、眼窩、鼻根部を圧迫し、苦痛であった。温水とヒートガンORFIT RF-106を用いた熱風による修正を加えたが、あまり改善されなかった。肌触りはPOSICASTにザラツキ感が発生した。

3-6 シェル固定具作成作業

粘着性の高いシェル材 (Table 2) は頭髮、眉毛、睫、衣服に付着するため、脱衣させバンテージを用いる等の注意を要する。さらに、粘着性が高いとシェル材同士が接着しやすく、そのため失敗しやすい。メッシュ状のシェルは硬化時間が短く、作成時間は約2分と短く、患者にとって苦痛が少ない。しかし、作業時間の余裕は少なく、治療部位に乗せてからの硬化時間は約30秒であった。

3-7 切断穴開け加工

板状シェル材は硬度が高く、厚みが3mm厚であり、切断や穴開けの加工が困難であった。THERMOSHELLはカタログ上、温水にて加熱し、少し軟化させて切断する方法が推奨されている。実際にこの方法にて切断は容易になったが、軟化させることによる伸び、変形は避けられなかった。一方、メッシュ状は硬度が低く、厚みが2~2.4mmと比較的薄いため加工が容易であった。

Fig. 4 Relative dose ratio of peak dose and kinking of the shell materials.

Fig. 5 Relative dose ratio at calibration point and shell material extension.

Fig. 6 Relative dose ratio at calibration point and kinking of the shell materials.

Fig. 7 Shrinkage ratio of each shell material at 20 days after hardening. The shell materials had expanded 1.2×1.2 at this measurement.

Fig. 8 Shrinkage ratio of each enlarged shell material 20 days after hardening. Uni-frame was used for this measurement.

Fig. 9 Shrinkage ratio of each enlarged shell material 180 minutes after hardening. RADICAST was used for this measurement.

4. 考 察

今回、われわれは7種類の放射線治療固定具用シェル材の比較検討を行った。シェル材の物理特性は製造元から資料が公表されていないものもあり、不明な点が多かった。しかし、公表されている製品についての材質はいずれも炭素、酸素、水素による高分子ポリエステル的一种であった。軟化温度はカタログ上ではShellfitterが $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 、他は $60 \sim 70^\circ\text{C}$ である。しかし、実際にはTHERMOSHELL-SおよびTHERMOSHELL-Pは 75°C 以上を必要とした。作成時に被験者の一人は皮膚温度上昇とムレのため、皮膚に発赤と掻痒感が発生した。作成時よりもより、その後も患者の状態観察を怠ってはならない。

経時変化による縮小率は硬化後数時間で約1%、その後の変化はわずかであり、シェル材料間に大きな差はなかった。しかし、装着感ではShellfitterは反りが発生し、眼窩、鼻根部を圧迫し、苦痛があった。縮み、反りによる圧迫を考慮して、眼窩、鼻根部を押さえ過ぎないように作成すべきである。ORFITも圧迫があったが圧痛は軽く、シェル材の硬度のためと考える。肌触りはPOSCASTにザラツキ感があり、被験者の一人は耐え難い苦痛と表現した。しかし、他の二人のザラツキ感は僅かであった。この原因は表面にコーティングされたポリウレタン繊維である。POSCASTは作成時に好評であったので残念である。このような場合は、患者に適したシェル材に変更する等の考慮が必要である。ShellfitterとTHERMOSHELL-Sはまったく穴のない板状で、

装着すると顔面は密封されたようになる。空気穴を鼻の部分に開けただけでは不十分であり、目隠し状態による不安感を解消するためには、固定精度に影響がない限り、目の部分に穴を開けるべきである。

シェル固定具使用による問題の一つに皮膚線量の増加があり、そのため、放射線皮膚炎の発症時期が早くなる⁸⁾。臨床使用時のシェル材の伸張率は $1.0 \times 1.0 \sim 1.5 \times 1.5$ 倍であり、その時の皮膚線量は $1.6 \sim 3.2$ 倍に増加する結果になった。表面線量増加の特徴は、シェル材の形状と厚みに依存する。今回、われわれは4MV X線のみで検討したが、小口ら⁸⁾は皮膚線量の評価をCo-60 γ 線、4, 6, 10MV X線で、シェル材3種類にてピーク線量との比を用いて行っている。その結果、10MV X線では30~47.7%, Co-60 γ 線では58~70%の増加であったと述べている。いずれの場合においても、放射線皮膚炎を防止するためには照射野部分を開窓することが望ましい^{5,8)}。

一方、シェル固定具使用による校正深線量の減少はシェル材一枚の時、5cm深で0.7~1.0%の減少であった。シェル材の重なりがない限り、1.0%以上の線量減少は起こらない。

固定精度はシェル材の強度、患者とシェルの密着度、シェル採型の精度、シェル材と固定具の相性等に影響されると考える。われわれの方法は、一度に7種類のシェル材を、同一人物による固定具作成と同一被験者により比較した。そのため、純粋なシェル材の固定具強度による固定精度が測定できた。しかし、経済的理由により3名分しかシェル材を用意できなかったため、データの数値としての信頼性は低い。シェル材の傾向はよく表されていると考える。その結果、どのシェル材も開窓部分を大きくすると固定具強度が低下するため、固定精度が著しく低下することが判明した。しかし、そのような場合はクロスライン部を残す等の工夫をすればよい¹⁾。また、開窓部分の照射野は紙テープで覆うことによりマーキングが可能になる⁸⁾。シェル材別ではPOSICASTの固定精度が低い結果になったが、シェル材ごとの専用固定具を使用すれば違う結果になる可能性は高い。山田らはPOSICASTと専用固定具を使用し、臨床での固定精度

Fig. 10 Accuracy of fixation with the various shell materials. We measured the distance from the top of the volunteer's nose.

X : Horizontal direction

Y : Vertical direction

Front : Windowless

Back : Open window 10x10cm²

Table 2 Test subjects impressions of the various fixation devices.

	Feeling of making shell			Feeling of using shell	
	Heat	Viscosity	Steam	Pressure	Touch
ORFIT	○	×	◎	△	◎
POSICAST	◎	◎	◎	○	×
Uni-frame	○	○	◎	○	◎
RADICAST	○	○	◎	○	◎
Shellfitter	△	△	×	×	△
THERMOSHELL-S	×	×	×	◎	△
THERMOSHELL-P	×	×	△	◎	○

◎ : very comfortable ○ : comfortable △ : not comfortable × : uncomfortable

を測定している。その結果は前後方向：平均1.3mm, 最大4.2mm, 頭足方向：平均1.5mm, 最大5.0mmの誤差であった⁵⁾。これは他の文献⁴⁾と比較し、平均値こそ良好であるが最大値は大きい。この理由は山田らも述べているように、POSICASTは他のシェル材に比較し、強度が不足しているために最大値が大きくなったと考える。しかし、固定具の使用方法は井澤ら⁶⁾が述べているように基本的な整位を行ったうえでの装着が必要である。それを怠り、無造作に固定具をつけて整位を行うと、皮膚のたるみ等のため再現性が悪化する⁷⁾。よって、強度の低いシェル材を使用する時には、無造作に固定具をつけて整位を行うと、より再現性が悪化する可能性が高いため注意が必要である。

以上より、整位再現性はシェル材による影響より、固定具製作技術と固定具装着前の基本的整位に大きく依存すると考える。固定具製作技術は経験を積むことにより向上する。しかし、前述のとおり粘着性の高い

シェル材は失敗しやすく、固定精度に影響する恐れがある。未習熟者の場合は固定精度の向上が期待できるため、製作の容易な粘着性の低いシェル材の使用が望ましい。

今回、われわれはシェル材の基礎的な検討を行った。一方、臨床的なシェル固定具使用による頭頸部の整位再現性の研究では、井ノ上らは誤差 3mm 以内が 90% 以上であり、簡易固定法では 80% 前後に低下する⁹⁾と述べている。しかし、シェルが唯一の固定具ではなく、タオル一枚が十分な固定具に成り得ることがある¹⁰⁾。固定具の使用は、患者本位に考え、状態観察

を怠らず、患者ごとに適した固定方法を選択し、苦痛のない優しい固定方法を採用すべきである。

5. 結 語

今回、7 種類の放射線治療固定具用シェル材料の基礎的な検討を行った。その結果、整位再現性は固定具作成技術と装着前の基本的整位に依存すると考える。しかし、シェル材料は取扱いの容易さ、患者の快適性、経済性等、製品ごとに特徴があるため、よく考慮して選択すべきである。

参考文献

- 1) 北 洋一, 森本政幸, 宮村順二, 他: 放射線治療照準皮膚マークに対する技術的配慮. 日放技会誌, 35(12), 1309-1313, (1988).
- 2) 秦 潔: 外部照射における target volume への照射精度. 日放技学誌, 40(6), 913-919, (1984).
- 3) 堀内浩昭, 奈良鉄造, 田中順子, 他: 固定具(簡易シェル)を用いた頭頸部外部照射の再現性の検討. Fuji Medical Forum, 153, 25-28, (1986).
- 4) 久馬幸重: 固定方法の違いによる誤差データ解析. 日放技学誌, 52(6), 765-767, (1996).
- 5) 山田洋一, 伊藤英夫, 遠藤祐二, 他: POSICAST の有用性. 日放技学誌, 51(3), 227, (1995).
- 6) 井澤一雄, 秦 潔, 佐々木潤一, 他: X線外部照射における照射位置の再現性について. 日放技学誌, 41(2), 271-278, (1985).
- 7) Watkins DMB: Radiation therapy mold technology. pp.7-18, Pergamon Press, Canada, (1981).
- 8) 小口 宏, 中沢利隆, 竹村克人: 熱可塑性患者固定具(シェル)による皮膚線量の評価. 日放技学誌, 49(8), 1117, (1993).
- 9) 井ノ上信一, 松本光弘, 長谷川浩典, 他: オンラインリアルタイムポータルイメージング(Theraview)による画像照合の解析. 日放技学誌, 52(9), 1270, (1996).
- 10) 秦 潔: 技師に必要な最小限のQCは? 東海放射線腫瘍研究会資料 23, 7-17, (1995).