原 著

頭頸部用固定具の開発 —小照射野、多門照射を考慮した固定具—

佐々木潤一・井澤一雄・川辺清人・瀬口優子・米田晃敏・上田講紀・川東憲治

大阪府立成人病センター放射線治療科

論文受付

1997年7月14日

論文受理

1998年7月27日

Code No.754

1. 緒 言

近年、治療装置の制御系の発達に伴い、治療成績の向上を念頭とした治療方法の多様化が進んだ。つまり、planning target volume (PTV) の容積線量に対して、PTV以外の線量をいかにして少なくするかの検討がなされている。そのため、三次元で考える治療計画用コンピュータ、シミュレータ用CT装置が導入され、MR装置を用いた治療計画の試みなど精度の高い治療計画が行われている。照射方法として、対向二門照射から多門照射、さらに回転照射による治療が行われ、照射

野もできるだけ小さく設定されている。数年前より、頭部に対する定位的放射線治療 (stereotactic irradiation) として、リニアック X 線を用いた多軌道多方向照射法が報告されている^{2~4)}。これに伴って、頭頸部専用の再現性を考慮した固定具が重要な装具となった。

今回、使用方法において(1)汎用型である、(2)固定方法が選択できる、(3)シミュレータ、CT装置に使用できる、(4)照射方法に対する制約が少ない、(5)脳定位照射法に使用できる、新型の頭頸部用固定具を開発した。

Immobilization Device for Head and Neck Region in Radiotherapy

JUNICHI SASAKI · KAZUO IZAWA · KIYOTO KAWANABE · YUUKO SEGUCHI
AKITOSHI YONEDA · KOUKI UEDA and KENJI KAWAHIGASHI

Osaka Medical Center for Cancer and Cardiovascular Diseases

Received July 14, 1997; Revision accepted July 27, 1998; Code No. 754

Summary

We developed two new kinds of immobilization devices for the head and neck region, one for a treatment couch and the other for a simulator couch. These new devices are made of carbon resin and are composed of a head rest, shell (cast) mounting portion, and accessory mounting portion. The "simulator couch" type is convenient for treatment planning, CT, and MR examinations, and can be used as a treatment couch. The "treatment couch" type is used in the treatment room. A special exclusive interface is used as an attachment for the treatment couch. Three immobilization methods, i.e., bite, shell (cast), and a device for stereotactic radiotherapy are available. We examined the bending of the immobilization device with the arm-type interface. When 5 kg is loaded, the average amount of bending is 1.1 mm. This immobilization device is useful for small treatment fields in the head and neck region, multiple portal treatment, and fractionated stereotactic radiotherapy.

Key words: Immobilization device, Head and neck region, Shell (cast), Bite supporter,
Stereotactic radiotherapy (radiosurgery)

別刷資料請求先: 〒537-0025 大阪市東成区中道 1-3-3
大阪府立成人病センター 放射線治療科 佐々木潤一 宛

2. 目的

開発した頭頸部専用固定具の性能を試験し，実際の治療での有用性を検討する．頭頸部用固定具を使用した小照射野，多門照射法での治療を考え，さらには定位的放射線治療に使用する可能性を検討する．

3. 頭頸部専用固定具

頭頸部用固定具は，次の三つの固定方法を選択できるものとした．

- (1) 患者の噛んだバイトブロックを支持固定することで頭頸部の動きを止める方法．
- (2) 熱可塑性の樹脂を使用したシェル(キャスト)を作成し，このシェルを固定具に装着することで患者の動きを止める方法．
- (3) 定位的放射線治療用の固定器具に専用の支持器を用意し，固定具に装着して使用する方法．

固定具はシミュレータ，治療計画用CTおよび治療装置の寝台で共用できるタイプと，治療寝台専用使用するタイプの二種類を製作した(Fig.1, 2)．

3-1 構成

3-1-1 シミュレータ，治療寝台共用タイプ(以下，シミュレータ寝台用固定具)

固定具は治療計画でのシミュレータ，CTおよびMR装置による撮影に支障のないように，金属を使用せずにベースはカーボン樹脂，その他は衝撃に強いポリカーボネイト樹脂を使用した．アクセサリ類も同様とした．固定具のベース上には枕部，シェル装着部，アクセサリ装着部がある(Fig.1)．

Fig. 1 Immobilization device used for the simulator.
A: Headrest.
B: Accessory mounting portion.
C: Shell (cast) mounting portion.

3-1-2 治療寝台専用タイプ(以下，治療寝台専用固定具)

固定具の基本となるベース，枕部，シェル装着部，アクセサリ装着部はシミュレータ寝台用固定具と同じである．固定具本体は治療寝台の外に装着する方式であるので，十分な強度を確保するため一部に鉄材を用いた．また，専用のインターフェースを用意し，治療寝台との着脱が容易にできる方式とした．インターフェースの装着方法はハンガー方式(寝台の端に引っかけるために用意したフックに装着する)とアーム方式(寝台のサイドレールに装着する)の二つの方式から選択できるようにした(Fig.2)．

Fig. 2 Immobilization device used for the accelerator. This device has two types of interfaces, (a) a "hanging" type and (b) an "arm" type.

- A: Headrest.
B: Accessory mounting portion.
C: Shell mounting portion.
D: "Hanging" interface.
E: "Arm" interface.

a | b

3-2 枕 部

枕部には治療体位に合わせて二種類の発泡スチロール樹脂製枕を用意した。枕部は固定具の中心部にある(Fig.3)。

3-3 シェル装着部

頭頸部治療では患者の治療体位の固定と再現性を確保する一つの方法として、熱可塑性の樹脂から成るシェル材を用いたシェル(キャスト)が、多くの施設で使用されている⁵⁻⁷⁾。多くのシェル材が、それぞれ専用の固定具とともに用いられている。本固定具はシェル装着に専用のレールを使用し、シェル材を挟んで使用するためシェル材を限定せず、あらゆるタイプのシェル材を使用することができる。シェル装着部は固定具の左右にある。シェルの装着は容易で、装着方法はシミュレータ寝台用固定具ではスライド式(Fig.4a)、治療寝台専用固定具ではプッシュ・フィットイン式^注を採用した(Fig.4b, c)。

3-4 アクセサリ装着部

固定具の頭頂部にあるアクセサリ装着部はアクセサリを装着、支持するために用意した。現在、使用できるアクセサリは、バイト用支持器(有限会社タイセイメディカル製)、定位的頭部固定装置RAD FRAME(瑞穂医科工業株式会社製)、ライチネン定位脳手術用アダプタ(ユフ精器株式会社製)、シェル使用時の脳定位治療計画用スケール(有限会社タイセイメディカル製)である。

3-4-1 バイト用支持器

支持器は患者個々に作成したバイトブロックを固定具に装着するものである。固定具頭頂部のアクセサリ装着部を使用する。支持器は垂直方向に、バイト支持部は水平方向に動き、患者が噛んでいるバイトブロッ

クを正しい位置で支持固定する。バイト支持部はバー型と窓型があり、治療方法に合わせて選択できる(Fig.5)。バイトブロックは歯科で使用する歯形の印象材であるシリコン樹脂を用いて、患者個々の歯形を取った形状にすると固定がより確実になる(Fig.6)。

3-4-2 既製の脳定位固定器具への対応

一般的に使用されている脳定位固定器具は侵襲的方法と非侵襲的方法に分けられる。それにはCT、MR撮影、放射線治療に使用できるタイプも開発されている。

本固定具は侵襲的方法の『定位的頭部固定装置RAD FRAME²⁾』(瑞穂医科工業株式会社製)(Fig.7)、非侵襲的方法の『ライチネン定位脳手術用アダプタ⁴⁾』(サンドストローム社製(カナダ))(Fig.8)をアクセサリとして使用するために支持器を製作した。器具装着にはシェル装着部、アクセサリ装着部を用いた。

3-4-3 シェル使用時の脳定位治療計画用スケール

シェルによる固定法で脳定位治療計画をする際、中心座標の同定をするための専用スケールである。スケール板は前頭部側と左右の側頭部側の三カ所に置き、治療計画時と治療実施時に使用する(Fig.9)。装着にはバイト用支持器を活用した。

3-5 インターフェース

治療寝台専用固定具に用意したインターフェースは各治療装置の寝台専用に製作した。ETR型治療寝台(VARIAN社製)、MLT型治療寝台(東芝メディカル株式会社製)、MTC型治療寝台(三菱電機株式会社製)、PHILIPS社の治療寝台(株式会社日立メディコ製)。

4. 固定具の性能試験

4-1 固定具の剛性試験

治療寝台専用固定具は治療寝台の外に延長して取り付けるので、強度を確認するために、剛性試験をした。

【使用した測定器】

加重量測定器：テンションゲージ
(20kgf)
プッシュルゲージ
(20kgf)
測長器：リニアエンコーダ
(分解能 0.1mm)
ダイヤルゲージ
(分解能 0.1mm)

Fig. 3 Styrofoam headrest.
(a) "Glottis" type.
(b) "Pharynx" type.

注) プッシュ・フィットイン式：この固定具用に考案したオリジナルな装着方法で、シェルに取り付けたレールを押し込むと同時に装着固定ができる方法である。

Fig. 4 Shell (cast) mounting methods.

- (a) Sliding method (used for the "simulator couch").
 (b) "Push and fit in" method (used for the "treatment couch").
 (c) Mechanism of the "push and fit in" method.
 (1) The attachment is depressed by the "rail".
 (2) The attachment automatically fixes the "rail".

Fig. 5 Bite supporting device.

- (a) Bite supporting device ("bar" type).
 (b) Bite supporting device ("window" type).
 A: Elevator portion.
 B: Bite supporter ("bar" type).
 C: Bite supporter ("window" type).

Fig. 6 Bite block (silicone).

Fig. 7 Stereotactic radiotherapy system (RAD FRAME) with scaler attached to the immobilization device for the "simulation couch".
A: Attachment.

Fig. 8 Adapter for LAITINEN stereotactic radiotherapy system attached to the immobilization device for the "treatment couch".
A: Attachment.

Fig. 9 Grid scaler for stereotactic irradiation on shell (cast) immobilization method.

試験方法は治療寝台に装着した固定具の枕部の中央部分に中心を取り、テンションゲージ、またはプッシュゲージによって1kg単位で1~10kgまで加重したとき、固定具先端部での反り度をリニアエンコーダ、またはダイヤルゲージを用いて測定した(Fig.10)。試験は三カ所で行った。試験場と試験に使用した寝台は三菱電機株式会社尼崎工場(三菱電機株式会社MTC型治療寝台)、東芝メディカル株式会社那須工場(東芝メ

ディカル株式会社MLT型治療寝台)、大阪成人病センター放射線治療科リニアック室(VARIAN社ETR型治療寝台)である。測定作業は工場専任の技術者が行った。

4-2 照射可能範囲

新旧の固定具による治療時のX線ビームへの干渉(X線減弱)を調べた。アイソセンタは枕部の前後左右の中心点で上方向10cmの点に設定し、多方向からのX

線透過線量を測定した。この二つの測定結果から、照射野を設定できない範囲の比較を行った。

使用機器は、直線加速装置 Clinac 2300C/D のETR型治療寝台(VARIAN社製)、電位計 NE DOSE-DOSE RATE METER (NE TECHNOLOGY LIMITED社製)、指頭型電離箱線量計 JARP型 0.6cc(株式会社応用技研製)である。

測定方法は照射野を $3 \times 2 \text{ cm}^2$ として、アイソセンタに測定試料を置き、さらに80cm離れた位置に線量計を配置した。線量計から床までの距離は50cmより近づかないようにした。

5. 固定具の性能試験結果

5-1 固定具の剛性試験

試験を行った三カ所をA, B, Cとし、測定結果をFig.11に表す。Aで使用したインターフェースはハンガー式、B, Cではアーム式のインターフェースを使用した。頭部の重さを想定した5kg加重の場合では、アーム式の平均たわみ量は1.1mmであった。しかしながら、ハンガー式のたわみ量は2.7mmと大きく、改良を必要とする結果であった。測定したたわみ量は実際の治療時の状況に近づけるため、寝台のたわみ分も含めた値を用いた。

5-2 照射可能範囲

5-2-1 治療寝台専用固定具

後方からのX線ビーム中には、Fig.12aに示すように、固定具の発泡スチロール樹脂製の枕とベースのカーボン樹脂のみが介在するのでX線減弱はほとんどなく、X線透過率98.0%(占有角度 60°)であった。照射方向が後方斜めの場合には、X線ビーム中に鉄材が入る箇所があり、X線減弱は大きく、最小X線透過率58.4%(占有角度 14°)であり、治療の際に照射範囲から除外しなければならない領域となった。残りの角度範囲 286° ではビームを遮るものはない。

5-2-2 CADO型頭頸部用固定具

後方からのX線ビーム中には、角度によってビームが通過する固定具の材質の異なる部分や、治療寝台の樹脂が介在するため、X線透過率が段階的に変化する[最大X線透過率94.1%(占有角度 60°)、最大X線透過率92.3%(占有角度 28°)](Fig.12b)。治療寝台の鉄部も大きく、照射範囲から除外しなければならない角度も治療寝台専用固定具に比して広く、最小X線透過率49.4%(占有角度 32°)である。ビーム中に介在するものがない角度範囲は 240° であった。

Fig. 10 Configuration for loading examination of immobilization device.

Fig. 11 Variations in bending of the immobilization device.

照射野を設定できない領域の比較検討では、使用する治療寝台の型、固定具の設置場所を変えることで、X線透過線量、占有角度の値も変わってくることより、上記一例のみ参考とした。

6. 考 察

(1) 過去において、固定具は患者の動きを止める目的で使用する装具であった。私たちは1982年CADO(The Center for Adult Diseases, Osaka)型頭頸部用固定具を開発した¹⁾。この固定具は、患者がくわえたバイトブロックを支持固定する方法と、患者に作成したシェルを装着固定する方法を兼ね備えた新しい構想の固定具であった。患者ごとに作成したシェル(キャスト)を用いることで、患者体位の固定と再現性を得ることができた。

この固定具の導入により、照射技術の面でターゲットボリュームに応じた最適な照射野が考

Fig. 12 Gantry angle limitations of immobilization devices.
(a) New "treatment-couch" immobilization device.
(b) "CADO" head and neck immobilization device on treatment couch.

えられ、ターゲットエリアの詳細な治療計画が推進された。相乗的に高精度の固定具が必要となってきた。現在、多くの施設で使用されている固定具は治療寝台に置いて使用するの、固定具本体と治療寝台の材質の影響でX線透過率が変化するため後方からの照射方法が制約されることがある。また、使用する材質によっては、CT、MR装置での使用ができないものもある。今回開発した固定具は、以上の事項をすべて考慮し、多様な使用に十分応えられるものである。

- (2) 近年、リニアックX線を用いた定位的放射線治療が施行されている。ナロービームを用い、ガントリと治療寝台を回転させ、ビームの入射を多方向に設定するノンコプラナ照射法である。それは、一回の治療(stereotactic radiosurgery: SRS)と、多分割照射(stereotactic radiotherapy: SRT)に分けられる。

治療実施の際は、治療計画で決められた中心座標と治療室での中心座標に狂いがないように、治療装置、シミュレータ装置と同様に、患者固定器具にも高い機械的精度が要求されている。現在、治療寝台に装備する患者固定器具はいろいろ製作、使用されているが、治療計画時のシミュレータ装置、CT、MR装置で使用する専用のものは用意されていないのが実状であり、治療計画に問題を残している。

治療は、多軌道多方向照射が多く、治療器具も治療寝台の外に設置することが多い。そのため、専用固定器具は高い機械的精度が要求されていることから、その支持部は大きく、堅牢に作られて

いる。

開発した固定具は定位的放射線治療計画に必要な画像(シミュレータ、CT、MR)への障害が出ないように樹脂材を使用し、各装置で使えるようにした。照射方法(照射野、照射方向、回転照射)に制約を少なくするため治療寝台の外に装着し、なおかつ、高い機械的精度が得られるように設計した。

7. 結 語

開発した頭頸部用固定具を撮影用の装置に使用できるシミュレータ、治療寝台共用タイプ(シミュレータ寝台用固定具)と治療寝台専用タイプ(治療寝台専用固定具)の二つにしたことで、それぞれの特徴を生かし、治療計画の精度をそのまま治療室に移すことができるようになった。

治療寝台専用固定具は寝台の外に装着するので頭頸部の後方斜め方向からのX線ビームにも照射範囲の制約が少なくできた。本固定具は汎用型として、頭頸部のあらゆる治療法に対応できる。加えて、定位的放射線治療の脳定位用専用固定具をシミュレータ寝台用と治療寝台用に装備、使用できることは大きな特徴である。

固定具の剛性試験ではアーム式インターフェースを用いた場合、5kg加重でのたわみ量は1.1mmと少なく、実用に耐えられると判断する。

以上より、頭頸部に対する照射方法で小照射野、多門照射法での治療に効果的に使用することができ、さらに、定位的放射線治療に本固定具が有用であると判断する。

謝 辞

本固定具は頭頸部に対する照射方法で小照射野，多門照射法での治療から，定位分割照射法による治療に効果的に使用できるものとするため，製作には多くの時間と労力を要した。

ここに本固定具の製作に協力していただいたバリア

ンジャパン株式会社 上総中童氏，東芝メディカル株式会社 久保克彦氏，三菱電機株式会社 後藤政春氏，株式会社日立メディコ 加納川洋氏，瑞穂医科工業株式会社 木藤政平氏，ユフ精器株式会社 富家正彦氏，藤中産業株式会社 小島直樹氏，有限会社タイセイメディカル 大西 登氏に感謝の意を表します(順不同)。

参考文献

- 1) 佐々木潤一，秦 潔，井澤一雄，他：放射線治療における頭頸部の固定法と再現性の検討．日放技学誌，40(3)，370-376，(1984)。
- 2) 白土博樹，井須豊彦，清水幸彦，他：リニアック脳定位照射法のProspective Dose-Escalation Study．脳外，21(12)，1089-1095，(1993)。
- 3) Shirato H, Isu T, Abe S, et al.: Daily intermittent multiportal therapy followed by stereotactic boost (DIMIT-SB) for the treatment of small intracranial lesions. J.Jpn.Soc.Ther. Radiol.Oncol., 4(3), 149-162, (1992)。
- 4) Delannes M, Daly NJ, Bonnet J, et al.: Fractionated radiotherapy of small inoperable lesions of the brain using a non-invasive stereotactic frame. Int.J.Radiat.Oncol.Biol.Phys., 21, 749-755, (1991)。
- 5) 辻井博彦，溝江純悦，有本卓郎，他：頭頸部固定具(シェル)による治療計画法．日本医放会誌，44(11)，1391-1395，(1984)。
- 6) 井上俊彦：放射線治療，図説臨床[癌]シリーズ No.11 頭頸部癌，pp.30-39，メジカルビュー社，東京，(1987)。
- 7) 伊津野格，小口正彦，鹿間直人，他：日本におけるシェルの使用状況．日放腫会誌，5，51-58，(1993)。

図表の説明

- Fig. 1 シミュレータ寝台用固定具。
A：枕部，B：アクセサリ装着部，C：シェル装着部。
- Fig. 2 治療寝台専用固定具のインターフェース。
(a)ハンガー方式の固定具。
(b)アーム方式の固定具。
A：枕部，B：アクセサリ装着部，C：シェル装着部，D：ハンガー式インターフェース，E：アーム式インターフェース。
- Fig. 3 発泡スチロール樹脂製枕。
(a)喉頭用タイプ。
(b)咽頭用タイプ。
- Fig. 4 シェル装着方式。
(a)スライド式(シミュレータ寝台用固定具)。
(b)プッシュ・フィットイン式(治療寝台専用固定具)。
(c)プッシュ・フィットイン式の仕掛け説明図。
(1)シェルのレールで固定具のアタッチメントを押し下げる。
(2)アタッチメントが自動的にレールを固定する。
- Fig. 5 バイト支持器。
(a)バー型のバイト支持器。
(b)窓型のバイト支持器。
A：エレベータ部，B：バイト支持部(バー型)，C：バイト支持部(窓型)。
- Fig. 6 バイトブロック(シリコン樹脂製)。
- Fig. 7 シミュレータ寝台用固定具に装着したスケール板を装備した定位的頭部固定装置 RAD FRAME。
A：固定具装着用の支持器。
- Fig. 8 治療寝台専用固定具に装着したライチネン定位脳手術用アダプター。
A：固定具装着用の支持器。
- Fig. 9 シェルによる固定法で脳定位治療計画をする際の座標位置確認用スケール板。
- Fig. 10 固定具の剛性試験コンフィギュレーション。
- Fig. 11 固定具の剛性試験の結果グラフ。
- Fig. 12 固定具の照射方向依存度測定結果。
(a)治療寝台専用固定具の場合。
(b)治療寝台に従来のCADO型頭頸部用固定具を置いた場合。