外照射のための体位再現性を目的とした固定器の試作

国立がんセンター放射線診療部 (部長 梅垣洋一郎)

高橋伸作・松川収作・有馬暁子

宮岡裕子・木下富士美・嘉部広司

(論文受付 昭和44年10月6日)

DESIGN OF THE PATIENT IMMOBILIZER FOR RADIOTHERAPY

—Devices to secure the reproducible localization—

By SHINSAKU TAKAHASHI

SHUSAKU MATSUKAWA

KYOKO ARIMA

HIROKO MIYAOKA

FUJIMI KINOSHITA

HIROSHI KABE

Dep. of Radiology, National Cancer Center Hospital (Chief. Yoichiro Umegaki)

(Article received : Oct. 6, 1969)

Summary

Recent progress and popularization of radiotherapy of cancer are truly remarkable. Especially the development of high energy accelerator, such as a linear accelerator, enabled us to do more precise and efficient treatment. The out-put is quite high and the penumbra is minimum. Moreover, the computerization of the treatment-planning is now put to practical use.

In spite of above-mentioned improvements of the radiotherapy, the another important techniques —positioning and fixation— seems to remain still in primitive stage. To secure the better positioning, the better fixation and the better reproducibility. We have developed several kinds of fixing devices as follows.

- I. Immobilizer for Head.
- I. Immobilizer for Head and Neck.
- I. Immobilizer for Tongue.
- I. Immobilizer for pelvis.
- I. Immobilizer for paediatric use.

I. 緒 言

放射線治療は近年、装置、特に加速機の出現によって

大きく進歩した。また電子計算機の使用は既に線量分布計算に於いて実用段階に入りつつあり、個々の患者の体内線量分布を早く正確に計算を行なう事が可能な状態と

なった。これ等を十分に生かすためには、

- (1) 診断
- (2) 治療計画
- (3) 照射に対する再現性

等の精度が全て良くなければならない。このうち(1)は医師の立場で論ぜられており、(2)は位置決め装置、回転横断撮影装置、電子計算機応用等により解決されつつある。(3)は放射線治療の大半が外照射による分割照射法を行なっている現状では、実際の治療成績向上にもっとも大切な事の一つである。(3)は放射線治療の大半が外照射による分割照射法を行なっている現状では、実際の治療成績向上にもっとも大切な事の一つである。装置自体の再現性はかなり満足に近いが、患者体位の再現性に対しては余り進歩がみられない状態である。これでは装置自体の精度が良くなっても治療に生かされない事になる。(尚この事については次項で機械精度と治療精度として述べる)

治療部位にもっとも適した体位で照射出来かつ体位の再現性を目的とした患者固定器を開発する事を今回の研究課題とした。身体の如何なる部位を固定すれば固定と同時に治療体位の再現性が得られるかを見出し、その条件を固定器可動部分に取り付けてある目盛で個々の患者に毎回同一になる様に指示する事によって解決した。

具備条件としては

- (1) 固定が確実にこなされる事
- (2) 体位の再現性が得られる事
- (3) 吸収、二次線の発生が少ない事
- (4) 適応性が広い事
- (5) 安全である事

等に留意した為殆んど身体に接する部分は合成樹脂を用いた。試作したものは

1. 頭部固定器
1. 舌固定器
1. 頭頸部固定器 (二種類)
1. 骨盤固定器
1. 小児固定器

の六種類と補助具一種類の計七種類について試作した。

II. 機械精度と治療精度

この項については今回の主題ではないが、体位の再現性を出せる固定器で治療精度を上げる事が目的であるから密接な関連があるので要部について述べる。また機械精度、治療精度、共に精度を上げる事は病巣に確実に照射する事と同時にこれより余分な部位は一分たりとも傷

害を与えないというもう一つの大きな意味を持っている。

機械精度については、RI 遠隔照射装置と加速機と比較した場合色々な比較の仕方があるが、今は照射野の半影について比較すると加速機の方が焦点が小さく精度の良い治療が可能であるが、反面治療部位の照準に際しては相当精度を必要とする。小照射野の対象となる症例については半影の及ぼす影響が大きい。

治療精度については大きく三つに分かれる。第一は照射中に患者が動き他部位に照射され精度低下の原因となる場合、第二に体位の再現性が得られず、毎回の照射域が合成されず精度低下の原因となる場合(図1, 2)。他に頸部等伸縮の激しい部位では体位再現性が得られなかった場合、皮膚マークと病巣での実際の照射野とが合致しない場合が起こる。図3 Aは喉頭癌患者の治療状態で、皮膚マークと各器管の位置関係を位置決め装置でX線撮影したもの、図3 Bは同一患者であるが患

図 1

図 2 □は側面よりの照射野

図 3 体位変化による皮フマークと器管のずれ

者自身の通常の姿勢で同じ皮膚マークを同様に照準したものであるが、各器管は相対的に移動しているが、下顎に近い程激しく舌骨に於いては3Aと3Bでは10mm以上のずれがあった。従ってこの症例の病巣のある声帯も上下に1cm以上ずれたと考えられる。1cmのずれは小さいようでもこの例のような小照射野の治療では無視できない大きい誤差である。これら図1,2,3に示す如く毎回の照射野がずれていると精度の高い治療機械を使っても有効域は照射野より狭くなり、辺縁に無効傷害領域を増す。これらを模擬的に示したものが図4と写真である。

図 4 機械精度、治療精度模擬図

写真 1

図4A,Bと写真1上段はCo⁶⁰図4C,Dと写真下段はリニアクである。B及びD、写真右側は、4×4cmの照射野で照射野XYにそれぞれ約5mmずつ毎回移動して3回照射した時の本影に相当する照射野は約3×3cmとなってしまう。傷害領域については半影の合成が行なわれるから、もっと複雑となりこの点については、体位の再現性が得られた場合と、得られない場合について、Co⁶⁰とリニアクについて比較して論ずる必要があるが稿を別にする。今、便宜上XYについて説明したが、実際の治療ではXYの他にZを含んだ多方向を考慮する必要がある。

ACは機械精度を、BDは治療精度を示したものである。また、BDのうち三回照射されている部分の他の部分は治療上の半影と称してよいと考える。

III. 固定方法、体位の再現性の求め方 試作固定器

次に試作した固定器の固定方法、及び体位再現性の求め方について述べる。対象治療部位の何所に再現性の基準を置くかを決定しその基準となる位置を固定器の一部または全部で指示する事によって体位再現性を求めると同時に固定を行なう方法を採用した。

この基準部分の要点としては

- (1) 左右対称的にある部位
- (2) 他部位とはっきり区別可能な部位
- (3) 固定器でその部分の位置を指示後、同時に固定も可能な部位

(4) 上記要件を満たしかつ通常の照射野となるべく離れている部位

以下部位別にこれらの点について述べ同時に試作固定器について図により説明する。

III-1 頭部固定器

頭部、頭頸部は可動方向が他部位より多く、固定も体位再現性も多方向に留意する必要があり困りな部位である。

矯正を必要とするのは図5に示した如く

- (1) 頭部正中 図5 A
- (2) 頭部水平 図5 B
- (3) 顔面の仰角 図5 C

の三点を考慮に入れば良いと考える。

固定器にて位置を指示する基準部分は「両外耳孔」ま

図 5

(A)

(B)

(C)

(D)

写真 2

たは「両眼眦」とした。この基準部分を揃える事により「正中」「水平」の矯正、固定は解決する。顔面の仰角に対する再現性を求める方法はかなり困野である。写真2 A, Bは同一人の頸部を極端に伸縮した場合の写真である。

	2A (伸)	2B (縮)
ベッドより外耳孔迄の高さ	11.5cm	7cm (4.5cm 差)
ベッドより眼眦までの高さ	17.0cm	15cm (2cm 差)

以上の様に頸部を伸縮する事により「外耳孔」または「眼眦」のベッドからの高さが変わるので毎回治療に際しこの高さを同一にする事によって顔面の仰角に対する再現性が得られる。以上示した様に「両外耳孔」「両眼眦」の位置を決定する事によって「正中」「水平」「顔面の仰角」に対する再現性が得られるため頭頸部の固定には意義ある部位である。しかし個人差があるため頭部と頸部の相対的位置関係でこの基準部分のどちらか一方、例えば「眼眦」の高さの変化のない場合もある。写真2 C, Dは「眼眦」の高さに変化を認めない例でこの様な例に基準部分を「眼眦」ととっても「正中」「水平」の再現性は求められても「顔面」の仰角に対する再現性は求められず、無意味であり、外耳孔に基準をとる必要がある。

	2C (伸)	2D (縮)
ベッドより外耳孔迄の高さ	11.5cm	9cm (2.5cm 差)
ベッドより眼眦迄の高さ	16.5cm	16.5cm (不変)

以上はベッドより基準部分の位置を決定する事により体位再現性を得る方法であるが前にのべた様に「顔面の仰角」の再現性を求める事は大変困野な事であるが図2, 3 A Bの如くまた重要な事であるので不備を補足するため他の方法について述べる写真3のA B及び図6 Aが試作の補助具で写真CDは使用例である。頭部を乗せた平板と上半身を乗せた平板との間を屈曲自在となる様にした台に仰臥位をとらせその上半身をのせた台の屈曲自在部付近の両側に回転中心を極端に偏心させた円板を取り付け、この円板の回転角度を個々の患者により規制すれば顔面仰角に対する再現性を求める事も固定も可能であるが、頭部「水平」「正中」に対しては他の固定器と組み合わせるか別個に作製の必要がある。また、治療方式によっては全身で体位の矯正を必要とする場合がある。この場合には図6 Bのような組み合わせた偏心輪をもう一つ付けて組み合わせる必要が生ずることもある。偏心輪の1の位置を適当に動かす事によって、頭部と上半身、

(A)

(B)

(C)

(D)

写真 3

図 6 A

図 6 B

下半身の相対的位置関係は色々に組み合わせ得る。また、2を離して左右別個に操作の必要があれば、2を離して行なう。

図 7 は頭部固定器概観図である。

1. ベッド相当
 2. 取り付け金具
 3. 2aを介して移動可能な基盤
(患者位置調整用)
 4. 支柱
 5. 外耳孔固定子 5a, b の開閉基部
(ベッドから 5a, 5b の高さを 4 の支柱目盛で再現し体位の再現性を得る。また、同時に固定する。)
 6. 5a, 5b の開閉用レバー
 7. 6 のストッパー
 8. 前額吸着キャップ (顔面仰角固定用)
 9. 移動盤 (付属品装着用)
 10. 舌固定器 他付属品
- 4 の支柱目盛によって高さを再現された両外耳孔固定子 5a, 5b に

両外耳孔が丁度入って来る位置が前回照射された体位である。

図 7

Ⅲ-2 舌固定器

舌は頭頸部の外照射に際し「舌の防御」「舌自体の照射」いずれの場合でも固定を留意する必要がある。矯正する部位と固定に必要な基準部位は同じで、「上顎」「舌」「下顎」である。

図 8 は概観図である。

1. 下顎固定子
2. 舌固定子

外照射のための体位再現性を目的とした固定器の試作 (高橋・松川・有馬・宮岡・木下・嘉部) (37)

図 8

3. 上顎固定子
4. 舌固定子ストッパー
5. 舌固定子角度調整, 同ストッパー

これらは全て人体に接するので合成樹脂とし特に舌固定子は「舌自体を照射する場合のビルドアップ等を考えて比重略一の合成樹脂を用い, 形は如何なる照射の固定, 防御に可能な形を検討した。

Ⅲ-3 頭頸部固定器-1

頸部または頭頸部の固定の条件のうちⅢ-1に示した如

- (1) 頭部正中 図 5 A
- (2) 頭部水平 図 5 B
- (3) 顔面仰角 図 5 C

については既に述べたが頸部及び頭頸部に照射する場合は必ず肩の位置を規制する必要がある。

- (4) 基準部分から肩までの長さ 図 5 D

この(4)は非常に重要な因子である。

図 9 は概観図である。

1. 基盤 (先端に肩固定子 1a, 1b を備えスライドして

図 9

患者位置迄調整する)

2. 支柱

3. 眼瞼固定子 3a, 3b 移動盤 (ベッドから 3a, 3b の高さを 2 の支柱目盛で再現し体位再現性を得る。同時に固定する)

4. 眼瞼固定子 3a, 3b 巾調整ネジ (4a, 4b は逆ネジ)

5. 前額固定子 (顔面仰角固定用)

両肩が肩固定子 1a, 1b で固定され支柱 2 の目盛によって高さの再現された両眼固定子 3a, 3b に両眼瞼が丁度入ってくる位置が前回照射した位置である。支柱 2 に付属品取り付けも可能

Ⅲ-4 頭頸部固定器-2

以上Ⅲ-1~3迄頭部, 頭頸部固定器について述べたが, 意識障害者や幼児の場合前二者では強度その他問題が起こる事がある。

図 10 は概観図

図 10

1. 基盤

2. 側板 (頭部両側より固定。基盤状の目盛で両眼瞼または両外耳子を矯正して再現性を得る)

3. 下顎固定子 (顔面仰角と同時に両側板 2 を固定するものであり 2a の切り込みに挿入する)

4. 側板固定ネジ (強度を増す場合で 2b の切込みに挿入する)

Ⅲ-5 骨盤固定器

基準とする部分は図 1 A に示した如くベッドから両前腸骨棘迄の高さを揃え同時に「正中」「左右」方向も矯正する方法をとった。

図 11 は概観図

図 11

1. 基 盤
2. 支 柱
3. 骨盤固定子 3a, 3b の幅, 高さ, 調整センター
4. 骨盤固定子 3a, 3b 幅調整ネジ
5. 骨盤固定子 3a, 3b で骨盤の「高さ」「正中」「左右」方向共体位再現性を得て同時に固定を行なう。3a, 3b は中空ビニールパイプ製

III-6 小児固定器

小児の場合は照射部位のみならず必ず全身を固定する必要がある, もっとも重要で有効な部位は下肢を固定する事で, 両膝蓋骨直上を上からと両側から一個の固定子で同時に押さえると下半身は殆んど固定完了したと同様な程有効な部分である。後, 体軸矯正及び固定の意味で体の側面から平板状の合成樹脂で固定し, その樹脂に厚さ 0.13mm の樹脂のシートをその樹脂の片側に接合させ, 逆側の側板にこれを狭みつけ調整後固定出来る様にした。これで肩から下肢迄は確実に固定出来るが, 小児頭部に関しては確実な方法がない。図10の方法を本器と組み合わせる方法が一応考えられる。

図12が概観図である。

1. 基 盤
2. 膝固定子 2a, 2b 支柱

図 12

3. 膝固定子 2a, 2b 「高さ」「角度」「幅」調整ネジ (2a, 2bは逆ネジ)

4. 両側板
5. 前後面固定シート (0.13mm 厚)
6. シート 5 の調整ネジ

下半身から上半身の順で固定を素早く出来る。

IV. 結 果

次に試作した実物, 使用状態, 照準写真等からその精度等について説明する。

IV-1 頭部固定器

写真4は舌固定器を付帯した頭部固定器, 写真5は使用状態, 写真6, 7は上顎の 45° クサビ二門照射の際のリニアクによる照準写真である。この例の様に一部位に二門以上の照射を行なう場合には特に治療精度を注意しな

写 真 4

写 真 5

写 真 6

写 真 7

いと図2Bの様に合成されない所が出てくる。またこの例の様に上顎癌の照射を行なう場合は病巣の進展度にもよるが多くは硬口蓋迄照射野に含める事が多い。この場合舌が火傷を起こし易いがこれは次項に述べる舌固定器を付帯使用によって照射野外に完全に圧排できる。体位再現性精度についてもサイドポインター(ライト)型紙等により確認して良好である。

IV-2 舌固定器

写真8が舌固定器及び取付け柄である。

写真9は使用例

頭頸部がんの治療の場合特定の部位を防御することが非常に有効である。その中でも特に多いのが舌の防御である。舌を照射すると味覚がなくなり、食慾が減退して治療の継続がむづかしくなるし、治療終了後の回復もおくれる。舌は動き易くて固定がむづかしく従って遮蔽するためには相当の工夫が必要である。舌の固定が難しいことはまた舌癌の治療を困難にしている。従来舌癌の外照射があまり行なわれなかったのは1つは固定が確実でなかったためもある。従って舌を確実に固定し得る器具を作れば舌癌の治療にも、また舌の防御にも大いに役立つものである。

写真10は硬口蓋及びその周囲淋巴節を照射している際のリニアクによる照準写真、これは鉛にて防御した例で防御域内に舌を固定した例であるが、上顎を照射する際は照射野外に圧排する方法をとる。このため火傷による治療中断は殆んどない。写真11は舌及びその周囲淋巴節の照射例で左は固定器を使用せず右は使用例であるが舌の位置をはっきり確認出来るので精度が良く、また口内をスポンジ等で塞ぐ方法に比して呼吸困難を起こさない事も患者の体動が減り精度を上げる一因である。

写真 8

写真 9

写真 10

写真 11

写真 12

写真 13

写真 14

写真 15

IV-3 頭頸部固定器-1

写真12は頭頸部固定器写真13は使用中のものである。肩の位置を規制している所がこの場合の特徴である。不要な傷害領域を減ずるため頭頸部では写真14、15の様な原体絞りで育付近迄照射野を設定する事が多いが図7の様な頭部のみの固定では、左右の育の位置を揃え固定する事は困難である。そのため(照準)写真14の様に反対側

写真 16

の肩が照射される事もあるが頭頸部固定器を写真13の様な使い方をした場合は写真15の様に肩の位置は同じになり固定も精度よく出来る。またこの様な複雑な照射野でなくとも肩の位置が再現性がなくて、図3Bの様にマークと病巣が合致しない不都合な事が起き得るがこれも防げる。

IV-4 頭頸部固定器-2

写真16が試作器、写真17が使用例、強度は今迄述べたのより数段強いが、二次線は増す。

IV-5 骨盤固定器

写真18が試作器、写真19が使用例、腔内照射後、外照射を追加する場合、腔内照射位置を同一固定器使用でX線撮影し、この部を外照射の際防御する場合に利用する事もある。

IV-6 小児固定器

写真20が試作器、写真21は使用例、固定も機動性も数段早く強固に出来る。特に下半身良好。

V. 考 按

以上試作した七種類の固定器及び補助具は国立がんセンターで全く独自のアイデアにより試作されたものである。従って実際の使用に当っては種々の欠点が見出されたが、次第に改良されつつある。次に今後の解決点について述べ、最後にこの種の経皮固定器の診療上の精度の限界について、この問題も含めて大きく、現在の皮膚マークを主とした外照射の照準の仕方について述べる。

V-1 試作固定器評価

写真 17

写真 18

写真 19

写真 20

写真 21

頭部、頭頸部固定器の三台については頭部の「水平」「正中」については図9の様な「両眼眦」を揃える方法が「両外耳孔」を揃える図7の方法より精度及び操作の機動性は優れている。またこれらを体位の再現性の原点に選んだ事は従来のものになかった点であり、治療の経過によって体位を変更する場合も目盛を移動するだけで済み便利である。顔面の仰角の固定のうち吸着キャップで固定する方法は一つの操作で簡単に出来る点が図9の方式より優れているが、前額の面積がキャップより狭い場合は不可能でありまた「しわ」の多い場合も吸着しにくく、長期に吸着させておくと皮下に軽い溢血を認める事がある。強度でも劣る。図10の方式は強度はもっとも強い。

三台共顔面仰角を屈伸共に固定している事が特徴である。頭頸部の照射の際は図9の様な肩押えを用いる事は精度の点からも健康組織の過照射防止からも必要である。舌固定器は材料をもう少し強度と柔軟性に富んだ材料を選ぶ必要がある。骨盤固定器は強度と装着の機動性をももう少し検討の要がある。小児固定器は頭部においてもっと進んだものを開発する必要性を痛感する。

我々の試作の図10方式を用いても小児の頭部の軟弱さのため強固に固定は出来なかったが、側板の頭部接触面の改造で現在よりは効果が期待出来ると考える。

V-2 今後の解決点

この項は試作品のみならず今後の共通な事柄でもある。緒言中に具備条件を5項目述べたが(1)と(3)は相反する条件である。これを解決するためには原子番号が出来るだけ低く堅く工作の簡単な材料を選択する必要がある。可能な限り装着の機動性を上げる。経皮固定の場合、固定子の一番最初に接触する所が皮膚であるためこの固定子で固定された皮膚と基準部分の「ずれ」をなくす事、この「皮膚のずれ」は生体を対象としている場合必ず生ずる。この現象がある以上この種の経皮固定器の治療上の精度の限界はこれより上げる事は不可能と考える。この事については次項でも述べる。

V-3 照準方法について

V-2でも述べた様に外照射の際の経皮固定の治療上の精度には限界があると考えられるが、他に現在の照準の仕方にも問題がある。位置決め装置等を利用して照射野設定は正確に行なわれるが、その後の標識に皮膚マークを利用している場合が殆んどと考えられるが、現在の様に皮膚マークのみに頼って照準を行なっている以上、治療機本体の精度が上っても、体位再現性が得られてもおのずから治療精度に限界がある。例として写真22、23に

写真 22

写真 23

ほぼ同年令の経産婦の腹部と腹部マークを上げた。22について不都合を述べればその日の患者の状態(下痢、便秘、食前、食後)等によってかなり皮膚マークに変化が現われる。23の場合は22と同様な事がいわれると同時に仰臥の仕方によってもマークの様相が変り、マークも皮膚の「たわみ」によって直線として書く事が不可能でさえる。このような例はどの部位においても少なからずあり、

図13 機械的照準法

このために起こる精度低下は見逃がす事が出来ない。そこで一案として「機械的照準」をこの「皮膚マーク照準法」と共用すればかなり精度を上げる事が出来ると考え、我々は一部実行している。この「機械的照準」という言葉は適当かどうかは今論じないが考え方は図13の様に三つの歯車のかみ合っている部分を毎回同じ所に持って来るという事で具体的には

照射装置—治療寝台

治療寝台—患者病巣

写真 22

この三者の位置関係が歯車の様に再現性があれば治療精度は申し分ないわけである。「照射装置—治療寝台」の関係は現在どの方向に移動しても目盛がついてあり再現性はよいが「治療寝台—患者病巣」の位置関係は現在機械的に求める方法がないが、患者に直接接触している固定器の目盛で寝台との位置関係を補正する事は可能である。

写真24は治療装置 (NEC 6MeV リニアック) に頭部固定器を装備した時の機械的照準法の手順の一例を示したものである。図13中の1イは従来から行なわれているが、1ロの照射野傾斜角 (XY) はカルテに記入しておき固定器の併用でかなり精度も能率も上がっている。他の項目も専門家によって今以上に精度の良い固定器が制作された場合、実施の予定であるが、現在我々の施設では頭頸部の患者数は50名内外この固定器を使っているが、余り機械的手順のみを多くする事は考えものでケース毎に適当に照準方法を組み合わせる事が適当と考える。

VI. む す び

以上で試作固定器、補助具の計七種類について説明を終る。結果、従来より精度と能率をかなり上げ得たが、未だ改良の余地が多くある。最後に色々御指導、御校閲頂いた当院梅垣洋一郎放射線診療部長に感謝致しますと共に、御助言頂いた放射線科、耳鼻科、口腔科の医局の方々、放射線科の技師の方々に深く御礼申し上げます。東京浜医科工業KK浜氏に協力頂いた事を感謝します。本旨は1969年4月米子で行なわれた第24回日本放射線技術学会で発表した。