

頭蓋内定位放射線治療におけるCT座標を用いた 3次元的固定精度検証システムの考案ならびに検討

西村 敬一郎、高橋 健夫、新保 宗史、本戸 幹人、本田 憲業

埼玉医科大学総合医療センター 放射線科

Three dimensional assessment of repositioning accuracy of fractionated intracranial stereotactic radiotherapy

Keiichiro Nishimura, Takeo Takahashi, Munefumi Shimbo, Mikito Hondo, Norinari Honda

Department of Radiology, Saitama Medical Center, Saitama Medical University

要旨

目的：われわれの施設では非観血的着脱式マスク固定具を用いて頭部定位放射線治療 (SRT) を行っている。変位をきたすと予想されるマスク固定具内での頭蓋部の位置固定精度を検証するため、CTシミュレータの座標を用いた実用的な3次元的固定精度検証方法を考案し、さらにそれを用いて実際の治療症例において固定精度を検証することが目的である。

対象と方法：25症例においてマスク固定具作成時、治療時それぞれにおける頭蓋内の3点、固定フレーム上の3点計9点のCT座標を用い、作成時-治療時の9通りの変位相対的座標変化を得ることにより固定具の固定精度 (座標の移動距離) を算出した。マスク固定具位置精度検証ならびにCT装着ロカライザー基準点の精度検証の両者を併せて施行した。

結果：分割定位放射線治療を頭蓋内病変に行う際の、固定精度ならびに非着脱式固定具を再装着する際の再現性を簡便に精度良く確認するため、CT座標を用いた3次元的位置精度検証システムを考案した。それを用いた検証にて25症例における9測定距離での相対的CT座標の変位が2.0mm以下のものは79.1%であった。2.5mmを超えたものは4.0%でみられた。治療計画時-評価時におけるフレーム上の点の変位移動は1.0mm以下が91.6%であった。

結論：CTシミュレータ座標を用い非観血的固定具の固定精度を算出できる実用的QAシステムを考案し、良好な結果を得た。

Abstract

Purpose : It is very important to achieve set-up accuracy of stereotactic radiotherapy. A non-invasive fixation mask device is used for stereotactic radiotherapy (SRT) in our hospital. Especially, fractionated stereotactic irradiation is useful due to less damage on normal tissues, for which the positioning accuracy of the removable non-invasive fixation device is important. We used our original 3-D examination of set-up, and examined the repositioning accuracy of a removable non-invasive fixation device on the coordinates of CT for treatment planning.

Materials and Methods : The subjects were 25 patients who had undergone head SRT. The

別刷請求先：〒350-8550 川越市鴨田辻道町1981

埼玉医科大学総合医療センター 放射線科 西村 敬一郎

TEL : 049-228-3511 FAX : 049-226-5284

removable non-invasive fixation mask device used was for the BrainLAB system. The repositioning accuracy of the fixation device was examined using differences in the distance on the X, Y, and Z coordinates in each three points between the treatment planning and repositioning times determined by comparing the relative coordinates. Evaluation was performed using the relative coordinates of the standard and test points.

Results : In the 25 patients, an accuracy of the difference in the distance between the treatment planning and repositioning procedures within 2 mm was obtained in 79.1% of the patients using the fixation device.

Conclusions : Our original 3-D examination of a set-up accuracy for non-invasive stereotactic irradiation was considered useful for routine treatment with high accuracy.

Key words | 定位放射線治療、固定精度、着脱式固定具、頭蓋内腫瘍、stereotactic radiotherapy, repositioning accuracy, non-invasive fixation, QA/ QC, intracranial tumor

はじめに

定位放射線照射 (stereotactic irradiation) とは体内の小病変に対して選択的に照射する放射線治療技術であり、1回照射の定位放射線手術 (SRS; stereotactic radiosurgery) と分割照射で行う定位放射線治療 (SRT; stereotactic radiotherapy) に分類される。病変部に対して細いX線ビームを多方向から集中させることにより、正常組織への照射を避け、腫瘍に局限して高線量を照射することが可能である¹⁾。固定のしやすい頭蓋内病変が良い適応となり、近年、直線加速器を用いた定位放射線照射がわが国でも頻繁に行われているが、コバルト (Co-60) 線源を用いたガンマナイフに比べ分割照射が可能であり、照射野内の線量均一性が良好であるとされている²⁾。さらに非観血的固定具を用いた少分割定位放射線治療は低侵襲の治療法であり、外来通院による治療が可能である。通常放射線治療においては治療効果比の観点から分割照射で治療を行うが、定位放射線照射においても良性腫瘍に対しては1回照射よりも分割照射の方が生物学的効果は良いと考えられている³⁾。特に聴神経腫瘍に対する定位放射線照射後の聴力低下や顔面神経麻痺のリスク軽減には分割法を用いた定位放射線治療の方が望ましいと考えられる⁴⁾。脳転移に対しても少数回の分割定位放射線治療は効果的かつ安全に施行できるとされている^{5) 6) 7)}。

分割照射を行うためには固定具を着脱式にする必要が生じるが、患者への負担を考えれば非侵襲的固定具が望ましいと思われる。その際に日々の定位放射線治療の際の固定精度とその再現性が保たれている

かが極めて重要となる。

しかし着脱式固定具を用いた分割定位放射線治療における照射時の精度検証は、施設ごとの工夫に依存しており確立した品質保証 (QA; Quality

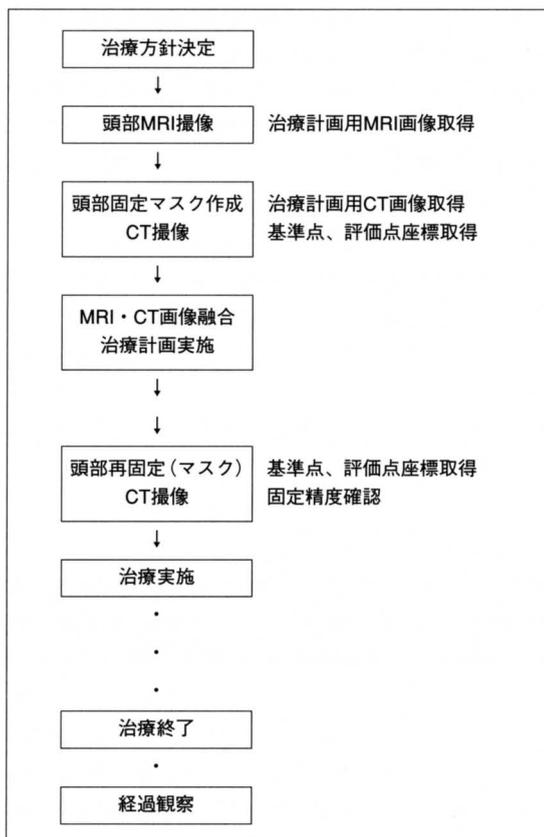


図1. 脳定位放射線治療の手順

治療方針決定後治療計画用画像を取得し、治療計画を行った後、治療照射が開始される。照射前に固定精度を確認することで、照射位置の変位が基準値以下であることが担保される。

Assurance)の手順はないのが現状である。今回われわれは非観血的着脱式マスク固定具の固定精度についてCT (Computed Tomography) 座標を用いた3次元的位置精度の検証システムを考案したので報告する。

対象と方法

分割定位放射線治療を頭蓋内病変に行う際の、固定精度ならびに非着脱式固定具を再装着する際の再現性を簡便に精度良く確認するため、われわれはCT座標を用いた3次元的固定精度検証システムを考案した。さらにその検証システムを用いて、当院における頭蓋内病変に対して定位放射線治療を施行した症例中、25例で再装着 (repositioning) の際の着脱式マスク固定具の位置精度の検証を行った。対象症例は25例中、転移性脳腫瘍16例 (肺癌11例、悪性黒色腫1例、腎癌1例、食道癌1例、直腸癌1例、膵臓癌1例)、脳腫瘍治療後再発4例、髄膜腫再発2例、聴神経腫瘍術後再発2例、および脳動静脈奇形1例である。年齢は16歳～81歳 (平均54.9歳 中央値61歳 男性16名、女性9名)であった。定位放射線治療はVarian社製Clinac 21EXを用い、これにBrainLab社製マイクロマルチリーフコリメーター (m3) を装着して行われる。m3定位放射線照射システムは3mm幅で照射野を自在に制御できる機種であり様々な形状の病変に対応できる定位放射線照射システムである。治療計画室内に設置されたCT装置はHiSpeed DX/I (GE社) を用いている。定位放射線治療実施の手順を図1に、治療計画時の手順詳細を図2に示す。最初

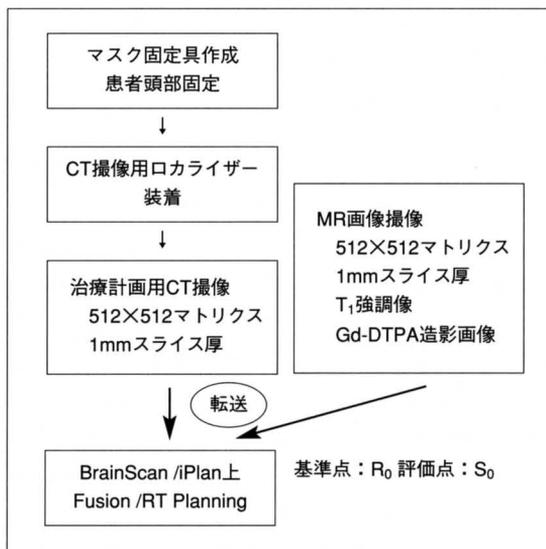


図2. 定位治療計画時の手順詳細

マスク固定具を用いて患者頭部を固定し、CT撮像用ロカイザーを装着して治療計画用CT撮像を行う。これが位置座標の基準になる。別にMR画像を取得しておき、画像融合を行って治療計画を行う。

にKlarity Medical社製の非観血的着脱式マスク固定具 (以下、マスク固定具) にて患者頭部を固定する。治療計画用CTはCT装着ロカイザーを装着した後512×512マトリクス、1mmスライス厚にて撮像を行う。CT装着ロカイザーのCT座標を用いてその照射座標が算出される (図3)。MR画像は512×512マトリクス、1mmスライスとCT撮像と同条件とし、T1強調像Gd-DTPA造影画像を撮像する。撮像された画像データをオンラインで定位放射線照射治療計画

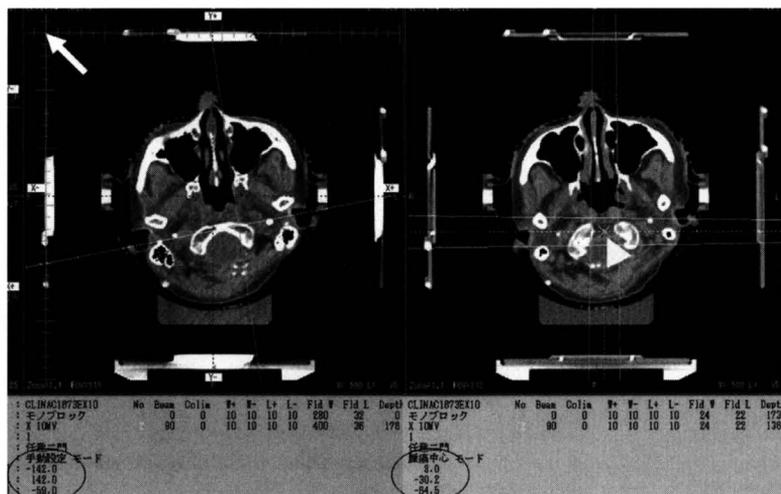


図3. CT画像上で基準点、評価点の座標を求める

得られたCT画像上で、ロカイザー上の基準点、頭蓋内の評価点を指定し、CT座標上での位置座標を得る。左がロカイザー上の基準点 (矢印) 右が頭蓋内評価点 (矢印頭) ○囲みが得られたCT座標。

装置であるBrainScan/iPlanに転送し、融合画像を作成しそれをもとに治療計画を行う。実際の治療ではこのときに作成したマスク固定具を用いる。

治療計画作業が終了し計画の検証がなされた後、翌日以降に実際の定位放射線治療が開始となる。治療計画時と同様に着脱式マスク固定具・ロカイザーを再装着し、レーザーマーカーで治療計画時と同位置になるようセットアップを行う。CT撮像を行い、各点のCT座標を得、治療計画時の数値と比較することでセットアップの位置精度を検証し、照射を実施する(図4)。その際に 1) マスク固定具再装着の位置精度と 2) 定位用ロカイザーにおける基準点座標の再現性を確認した。1) は患者を治療機器に再現性よく患者をセットアップすることができるかを検証するもの、2) はレーザーマーカーを基準とした、セットアップの再現性、機器の駆動の再現性、CT座標の再現性と、基準点指定の再現性を確認するものである。

結果

(1) 固定精度検証システムの考案

われわれは治療計画CTの持つ位置座標を利用し、定位放射線治療における固定精度の検証を行い実臨床の通常業務内で使用可能なシステムを考案した。治療計画用CT撮像時に、基準点、評価点をCT座標上の数値で取得しておき、治療照射前にCT撮像を行い、固定精度を確認した後、照射を行うものである。固定の位置座標算出(図5)に際しては、定位照射治療

計画CT撮像時に定位用ロカイザーの1点を基準点(Reference Point)座標 $R_0(x, y, z : a_0, b_0, c_0)$ とする。続いてCT画像で認識しやすい頭蓋内の1点を評価点(Sample Point)座標 $S_0(x, y, z : e_0, f_0, g_0)$ とする。評価点は具体的には耳小骨、鶏冠などの微小構造を用いた。固定具作成時基準点と評価点(R_0, S_0)より基準点と評価点の相対座標距離 $M_0(x, y, z : i_0, j_0, k_0)$ を求める(図5-a)。

初回治療直前に再度CTを撮像し、マスク固定具作成時と同じ手順で固定具基準点座標 $R_1(a_1, b_1, c_1)$ と評価点座標 $S_1(e_1, f_1, g_1)$ の相対的座標 $M_1(i_1, j_1, k_1)$ を求め(図5-b)、相対座標間の変位として $\Delta M = M_1 - M_0$ を求める(図5-c)。今回はこの ΔM の大きさについて解析した。さらに定位用ロカイザー上の点を3点、頭蓋内の評価点を3点得ることにより、変位に関する9通りの測定距離を求め3次元的に評価する。

定位用ロカイザーにおける基準点座標の再現性

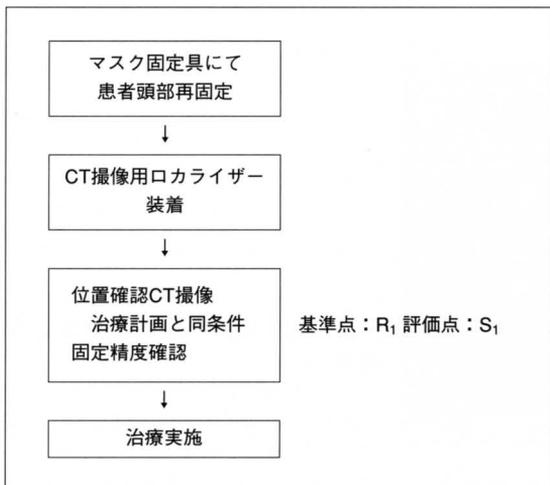


図4. 治療照射の際の手順

治療照射の前にCT撮像を行い、固定精度確認の後、照射を行う。

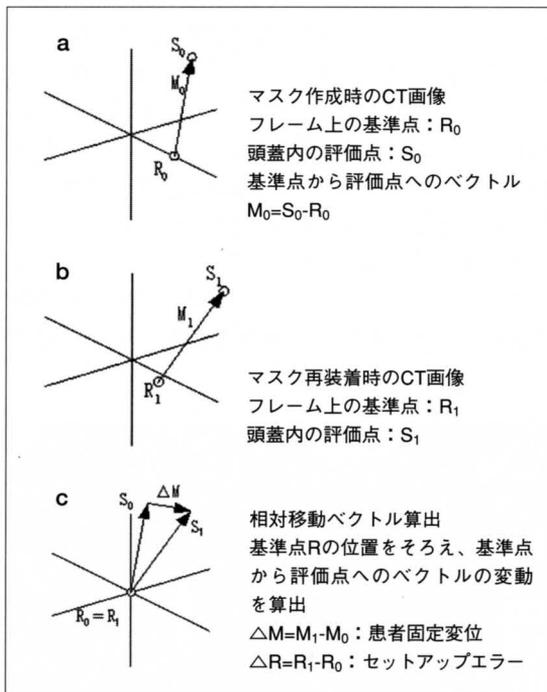


図5. 基準点、評価点の決定と位置の変位ベクトル

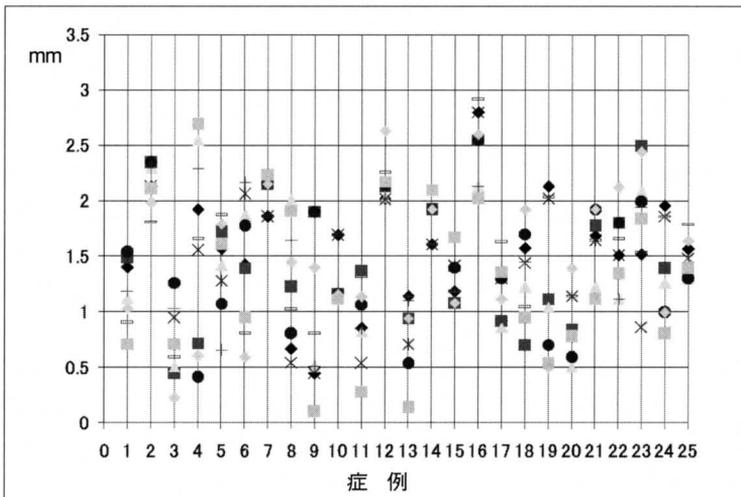
a : 治療計画用CT上での位置座標
 b : 再装着、治療照射前の位置座標
 c : 治療計画時から治療照射前の患者固定位置の変位
 ロカイザー上の基準点と頭蓋内評価点はCT座標上の位置座標であり、基準点から評価点へのベクトルの変化が再固定での変位を表している。

表1-a. 患者固定精度の度数分布

25症例 3×3点にて評価 (25×3×3=225点)	
0.5mm以下	10
0.5～1.0	47
1.0～1.5	64
1.5～2.0	57
2.0～2.5	38
2.5以上	9

患者固定精度の度数分布を示す。2.0mm以下の変位が79%、平均値が1.44mm、標準偏差は0.60mmとなる。

表1-b. 症例別の固定精度散布



症例別の固定精度を示す。2.5mm以上の変位が確認されたのは4症例/25症例であることがわかる。

の評価は、レーザーマーカーを用いて治療計画時と同様の位置に患者をセットアップしているため、CTX線ロカラーザー上の基準点の座標変位は目視的にセットアップする際の変位を表している。

実臨床においてマスク固定具再セットアップの固定精度検証にかかる時間は撮像に5分程度、座標検証に5分程度、併せて10分程度を要した。

(2) 位置精度検証

1) マスク固定具位置精度検証

マスク固定具の固定精度検証結果を表1-a, 1-bに示す。2.0mm以下の変位は79.1% (178/225)。2.5mm以上の変位は4.0% (9/225)、平均変位1.44 mm、標準偏差 0.60 mmであった。概ね2.0mm以内の固定精度ならびに再現性を有している。z座標(頭尾方向)についてはCTスライスが1mmごとであるためそれ以下の評価が不可であることを考慮すると良好な結果であると考えられる。2.0mm以上の変位が認められた症例は11症例であった。内訳として3点×3点の計9通りの変位測定距離の解析において、9通りの測定距離すべての評価において変位を生じたのは2例、7通りの測定距離で変位が見られたのが1例、6通りの測定距離が1例、3通りの測定距離4例、1通りの測定距離が3例であった。

2) CT装着ロカラーザー基準点の精度検証

CT座標上の定位用ロカラーザー基準点の再現性、す

なわち再セットアップ時の基準点(3点)の変位をx, y, z軸の個々に算出した(表2)。変位1.0mm以下91.6%(206/225)、変位2.0mm以上が全評価点のうちわずか1.8%(4/225)と非常に良好な結果を得た。これは治療計画用CT撮影条件を治療照射実施前に再現することで、照射前に治療計画と同等の固定が実施されていることが確認され、またこの手法で評価するCT座標の精度がよいことを示している。CT座標上の定位用ロカラーザー基準点が2.0mm以上変位した例は、2症例でありいずれも腹背座標方向にみられた。セットアップを行った者の熟練度や、CT上基準点をPC上抽出(通常のGTV 同定と同手順)す

表2. 機器のセットアップ精度の度数分布

	X軸	Y軸	Z軸
0.0mm ~0.5mm 未満	26	24	41
0.5mm ~1.0mm 未満	27	25	27
1.0mm ~1.5mm 未満	15	14	7
1.5mm ~2.0mm 未満	7	8	0
2.0mm ~	0	4	0

基準点の再セットアップ精度の度数分布を示す。1.0mm以下の変位が92%となり、再セットアップの9割が1.0mm以下の精度で実施されている。

る際に生じた誤差により発生したものと考えられる。

考察

放射線治療機器ならびに治療計画装置の急速な進歩に伴い、定位放射線照射をはじめとする高精度放射線治療がわが国においても普及してきている。ガンマナイフによる治療で始まった頭蓋内病変に対する定位放射線照射は直線加速器でも多くの治療が施行されている⁹⁾。後者は特に着脱式固定具を用いた治療が可能で、正常組織へのダメージをより少なくするために分割照射が行われている¹⁰⁾。しかし分割定位照射を正確に行うためには直線加速器本体の精度はもちろんのこと、固定具使用の際の位置精度が極めて重要となる。侵襲的固定具である脳定位リングは固定精度の検証が比較的容易であり、ガンマナイフの機械的位置精度は0.25mmとの報告が見られる¹¹⁾。一方、分割照射用の着脱式マスク固定具の精度検証は一般に困難と考えられている。通常の正側のX線フィルムやポータルフィルムでの検証では正面・側面の変位は評価できるが、3次元での評価、特に回転(rotation)の評価は困難である。よってDRR (Digitally Reconstructed Radiograph) 画像とポータルフィルムの比較だけでは通常照射の場合と異なり、2.0mm以内の固定精度を要求されるSRTにおいてはこれらの方法では位置精度検証は不十分である。残念ながら着脱式固定具を用いた定位放射線治療における明確な精度検証システムは確立していないのが現状である。

そこでわれわれは治療計画用のCT撮像における位置座標を用いた再装着時の位置精度検証を考案し実施した。われわれは頭蓋内の座標評価点として小骨片や含気構造が多くCTで正確に描出が可能な頭蓋窩の1点を用いて治療前と検証時の相対的座標を比較し、精度検証を行っている。本来であれば照射ターゲットの腫瘍内に存在するアイソセンターを用いて評価を行うのが理想であるが、SRTの対象となる腫瘍病変は小さく、固定精度検証時に撮像するCT画像から正確な腫瘍輪郭の描出ならびにアイソセンターの正確な再現を行うことは比較的困難である。北村ら¹²⁾も耳小骨および鶏冠を基準点として固定精度の検証を行うことに対する妥当性を報告している。彼らの報告にあるようにこれらの基準点は頭蓋内での移動がほぼないと言ってよく、コントラストの点で優れており基準点として用いやすい。われわれの

検証システムが優れているのは単に着脱式マスクの固定精度を確認するだけでなく、治療用寝台に患者を正確にセットアップできているかについても検証できる点にある。本方法においては頭蓋底を評価点とした場合も操作者による再現性は良好であったことから利便性が高い方法であるといえる。実際の位置変位を考える上でマスク固定具内における頭蓋の回転(rotation)の問題が無視できない。以前われわれは頭蓋内の1点、定位用口カラライザーの1点をCT座標に置き換えて用いることにより非観血的固定具の固定精度を報告したが、1点での評価ではrotationの正確な検証が困難である。この点も考慮してさらに精度の高い位置精度の検証を行うために頭蓋内の評価点を最低3点は設定する必要があると考え3点測定を実施した。

今回、この3次元の検証システムを用いて測定した結果は良好な固定の再現性が保たれていると考えられた。着脱式非観血的固定具の固定精度検証はガンマナイフや stereotactic radiosurgery (SRS) と比べ困難であると一般に考えられているが、SalterらはTALON着脱式頭部固定具のrepositioningの精度を検証し、平均で1.38mmの変位であり、95%信頼区間は2.34mmであったとしている¹³⁾。この結果はわれわれの固定具に比べやや侵襲的な方法での精度の比でも、BrainLabを用いたSRTの精度が劣っていないことを示している。これらのことから患者の固定に関する位置再現性の精度について、通常は特に問題なく定位放射線治療が施行できたが、特に変位が多く生じた事例について考察する。9測定距離評価においてすべてで2.0mm以上の変位を生じた2例は、ECOG-Performance Status (PS) は2ならびに3と全身状態が不良であり、1例はけいれん重責発作抜管直後の症例、もう1例は前頭葉治療後再発症例であった。2例とも患者応答状態は不良であり体動が多くみられた。6-7測定距離で2.0mm以上変位がみられた2例について、うち1例は長髪女性であった。もう1例は前頭部脳腫瘍治療後再発で応答がやや不良であった。体動が大きい症例や応答不良・低理解力の症例さらには極端な長髪の症例においてはマスク再装着の精度を下げると考えられる。

AshamallaらはGildenberg-Laitinen Adapterを用いて検証したところ位置変位は1.5 mm ± 0.8 mmであったと報告している¹⁴⁾。MiranpuriらはLaitinen Stereoadapterを用いて再固定の検証を行った結果、

xy軸方向では2.0mm以内の変位に収まっているが、z軸方向で2.0mmを超えるエラーが見られていると報告している¹⁵⁾。よって臨床的には固定時の変位を含めて計画標の体積ならびに照射野の辺縁を決定する必要がある¹⁶⁾。われわれの今回の検討でもz軸上の変位がxy軸に比べ目立つ傾向にあった。その理由としては撮像するCTのスライス幅が1mmであるため、1.0mm以下の評価が困難であることに起因するがこの点も考慮する必要がある。GeorgらはBrainLABのマスクシステムを用いて頭尾方向、前後方向、側方のそれぞれの固定精度は1.0mm以内であったと報告している¹⁷⁾。ただしわれわれの結果と同様に頭尾方向は前後、左右方向に比べ照射野マージンが大きくなると報告している¹⁷⁾。またBaumertらは57患者で分割定位放射線照射用の頭部固定具のrepositioning精度検証をおこなっているがマスク単独に比べ、バイトブロック等を併用することで精度が上がるとしている¹⁸⁾。ただそれでも2.0mmを超える精度であることから、BrainLABの定位放射線照射システムに用いる非観血的着脱式固定マスクは分割定位放射線治療 (fractionated SRT) を行う上で、比較的良好的な位置精度が保たれていると考えられた。

われわれの検証システムでは3点の立体的評価点を3次元的に評価するだけでなく、前回位置座標との比較を行うことでマスク装着の再現性を同じCT座標から評価することが可能である点が大きな特色である。さらにCT画像を用いた治療計画から実際の治療に関して、セットアップ再現性の位置精度と着脱式マスク固定具装着の再現性の2つに固定精度を分けて考えることで、それぞれの変動の程度を見積

もることができるのがわれわれの検証方法の特色である。後者に関して再セットアップはCT室内(もしくは治療室内)のレーザーマーカを用いて目視的行うため、われわれはその再現性も併せて評価を行っていることになる。

各施設における高精度放射線治療における位置精度の検証は、治療計画において適正な設定マージン (SM; set-up margin) を設けるために必要であり、精度の悪い部分に精度向上の意識を向けることで効率よく精度向上を図ることができるということ、また患者ごとに固定精度を確認することで、精度を向上させる(あるいは悪化させる)条件などが明確になり、固定精度を向上させることができる。特に精度の出ない条件では、実現できる固定精度にあわせてマージンを設定し、治療を行うことができると考えられる。

近年は画像誘導放射線治療装置も臨床で用いられているが、放射線治療装置に併設されたX線装置ならびにCT装置による位置精度検証が行われている¹⁹⁾。ただしこれらの品質保証 (QA) / 品質管理 (QC) に関しては検討中の課題であることから²⁰⁾、一つ一つの精度検証を丁寧かつ正確に行っていくことが重要である。

謝辞

本研究に協力していただいた島田巧技師、中島剛技師、黒田裕幸技師、野田健一技師、小川知克技師、轟圭介技師、保坂勝仁技師、渡邊博之技師、杉村和紀技師に感謝いたします。

参考文献

1. Shaw E, Scott C, Souhami L, et al. Single dose radiosurgical treatment of recurrent previously irradiated primary brain tumors and brain metastases: final report of RTOG protocol 90-05. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 47:291-298, 2000.
2. 田中清明、佐原朋宏、長畑智政、他：LINAC radiosurgeryにおける精度管理ならびに照射法— γ -Knife™への挑戦—。定位的放射線治療 7: 11-23, 2003.
3. Walton L, Hampshire A, Roper A, et al. Development of a relocatable frame technique for gamma knife radiosurgery. Technical note. *J Neurosurg* 93:198-202, 2000.
4. Shirato H, Sakamoto T, Takeichi N, et al. Fractionated stereotactic radiotherapy for vestibular schwannoma (vs) : comparison between cystic-type and solid-type vs. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 48:1395-1401, 2000.
5. Fahrig A, Ganslandt O, Lambrecht U, et al. Hypofractionated stereotactic radiotherapy

- for brain metastases— results from three different dose concepts. *Strahenther Oncol* 183: 625-630, 2007.
6. Lightstone AW, Benedict SH, Bova FJ, et al: Intracranial stereotactic positioning systems: Report of the American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group no. 68. *Med Phys* 32: 2380-2398, 2005.
 7. 齋藤淳一、齊藤吉弘、楮本智子、渋谷圭、市川聡裕、他. 転移性脳腫瘍に対するマイクロマルチコリメータを用いた直線加速器による定位放射線治療後の臨床経過と画像評価についての検討. *日放腫会誌* 20: 7-12, 2008.
 8. Williams JA. Fractionated stereotactic radiotherapy for acoustic neuromas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 54:500-504, 2002.
 9. Aoyama H, Shirato H, Onimaru R, et al. Hypofractionated stereotactic radiotherapy alone without whole-brain irradiation for patients with solitary and oligo brain metastasis using noninvasive fixation of the skull. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56:793-800, 2003.
 10. Tokuyue K, Akine Y, Sumi M, et al. Fractionated stereotactic radiotherapy of small intracranial malignancies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 42:989-994, 1998.
 11. Maitz AH, Wu A, Lunsford LD, et al: Quality assurance for gamma knife stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32: 1465-1471, 1995.
 12. 北村正幸、国枝悦夫、川口修、他：油圧式アームを使った定位放射線治療用着脱式固定システムの開発とCTによる精度測定. *日放腫会誌* 14: 107-112, 2002.
 13. Salter BJ, Fuss M, Vollmer DG, et al. The talon removable head frame system for stereotactic radiosurgery/radiotherapy: measurement of the repositioning accuracy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51:555-562, 2001.
 14. Ashamalla H, Addeo D, Ikoro NC, et al: Commissioning and clinical results utilizing the Gildenberg-Laitinen Adapter Device for X-ray in fractionated stereotactic radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56: 592-598, 2003.
 15. Miranpuri AS, Tomé WA, Paliwal BR, et al. Assessment of patient-independent intrinsic error for a noninvasive frame for fractionated stereotactic radiotherapy. *Int J Cancer* 96:320-325, 2001.
 16. Gilbeau L, Octave-Prignot M, Loncol T, et al: Comparison of setup accuracy of three different thermoplastic masks for the treatment of brain and head and neck tumors. *Radiother Oncol* 58: 155-162, 2001.
 17. Georg D, Bogner J, Dieckmann K, Pötter R: Is mask-based stereotactic head-and-neck fixation as precise as stereotactic head fixation for precision radiotherapy? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 66: s61-66, 2006.
 18. Baumert BG, Egli P, Studer S, Dehing C, Davis JB: Repositioning accuracy of fractionated stereotactic irradiation: assessment of isocentre alignment for different dental fixations by using sequential CT scanning. *Radiother Oncol* 74: 61-66, 2005.
 19. 幡野和男、荒木仁、酒井光弘、遠山尚紀、小玉卓志、他. 放射線治療における画像診断. *断層映像研究会雑誌* 35: 6-11, 2008.
 20. 新保宗史、高橋健夫、本戸幹人、西村敬一郎、山野貴史. 放射線治療における画像の役割—医学物理学的視点から—. *断層映像研究会雑誌* 35: 34-38, 2008.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619