

## 体幹部定位放射線治療 (SBRT) の初期経験

高松赤十字病院 放射線科部<sup>1)</sup> 同 放射線科<sup>2)</sup> 滝宮総合病院 放射線科<sup>3)</sup>

山花 大典<sup>1)</sup>, 藤原 直人<sup>1)</sup>, 藤田かおり<sup>1)</sup>, 安部 淳子<sup>1)</sup>  
高橋 徹<sup>1)</sup>, 安部 一成<sup>1)</sup>, 竹治 励<sup>2)</sup>, 宮田 英幸<sup>3)</sup>

### 要約

当院は、体幹部定位放射線治療 (stereotactic body radiotherapy : SBRT) を実施した。対象患者は転移性肺癌の男性 (78 歳) であった。初めに、X線透視下で腫瘍の位置や移動量、また息止め可能時間の確認も行った。その後、治療計画 CT を吸引式固定バッグ等で患者固定を行い、撮影した。呼吸のモニタリングには簡易型呼吸換気量インジケータ (Abches) を用いた。治療計画 CT を撮影後、治療計画作成、さらにモニタユニット (MU) 値検証ソフト (RadCalc) による線量検証に 2 週間を要し、最終的に 9 門照射、48Gy/4fr. で照射を行った。治療期間中は、毎回腫瘍周辺の CT を撮影して位置照合を行い、総治療時間は 40 分程度であった。1 ヶ月後、2 ヶ月後のフォローアップ CT で、腫瘍は消失し放射線肺臓炎も確認されなかった。

### キーワード

体幹部定位放射線治療 (SBRT), Abches, 固定精度

### 1. はじめに

体幹部定位放射線治療 (stereotactic body radiotherapy : SBRT) が臨床の場に導入されてから 10 年以上が経過した<sup>1)</sup>。SBRT を安全に実施するためには、各機器において通常照射よりも厳しい QA (quality assurance) ・ QC (quality control) が求められ<sup>2) 3)</sup>、ターゲットの呼吸性移動対策も必須となる<sup>1)</sup>。当院は、治療装置や治療計画装置の QA ・ QC を行うなど準備を進め、平成 22 年 12 月に「直線加速器による定位放射線治療」の施設基準の認定を受けた。当院における肺癌に対する SBRT の第 1 例目を報告する。

### 2. 対象患者

【症例】78 歳 男性

【臨床診断】右転移性肺癌

【病歴経過】

3 年前、肺炎として他院で加療を受けたが、CT にて肺癌を疑われ当院紹介となった。CT 上

で、左肺門に 5.6cm 大の腫瘍があった。腫瘍と肺門リンパ節の腫大が見られ、その末梢 (上葉舌区中心) に葉上、帯状、結節上の構造が見られた。気管支拡張もあり、以前の CT と比較して軟部組織濃度が分厚くなっており、腫瘍の進展と考えられた。およそ 2 か月間当院に入院し、気管支鏡にて左肺門部の扁平上皮癌と診断された。年齢、腎障害、肺機能障害などにより、抗癌剤の併用は難しいと考え、治療方針は放射線治療単独とした。左肺門部に対して 60Gy (40 + 20) / 30fr. で照射を行った。40Gy/20Fr. まで対向 2 門照射にて照射後、脊髓遮蔽目的で照射野変更を行い、非対向 2 門照射で 20Gy/10Fr. 照射を行った。放射線治療により腫瘍は著明に縮小し、また、明らかな放射線肺臓炎は出現しなかった。外来にて経過観察中であったが、1 年後に右肺に 1 cm 大の結節が出現。転移性肺癌と考え、今回の治療部位が初回治療時の左肺と反対の右肺であることと、ビーム設定にて脊髓を照射範囲から外すことは可能と判断し、SBRT 目的にて入院となった。

仕事：石工，30歳代から65歳まで造船。  
喫煙歴：30本/日×57年以上

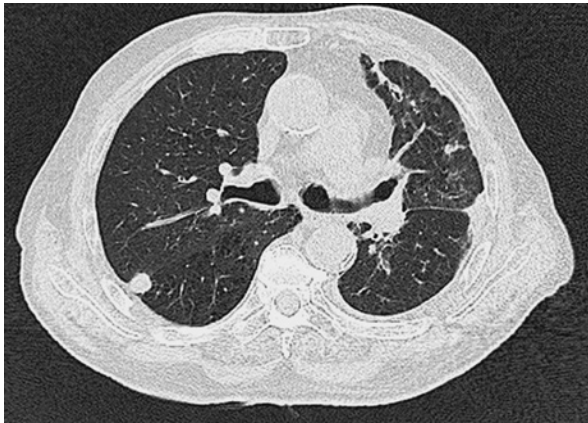


Fig.1 78歳 男性 右転移性肺癌

### 3. 使用機器

使用した装置は，加速器にSiemens社製 PRIMUS Mid-Energy M2-6745，治療計画用CTに東芝メディカル社製 Asteion，三次元治療計画装置に日立メディコ社製 Pinnacle<sup>3</sup>Version 8.0を用いた。

患者固定には，エスフォーム固定式吸引バックと体幹部固定システム SN 式（共にエンジニアリングシステム社製）を使用した。また，呼吸モニタリング装置として，胸腹位置2点式検出器を用いた簡易型呼吸換気量インジケータ，エイベックスメディカル社製 Abchesを用いた。

モニタユニット（MU）値の検証，及び実測値の検証には，MU・ポイント線量検証ソフトウェアである RadCalc と WP1D 型水ファントム，TN30013 0.6cc farmer 型線量計（全て東洋メディック社製）を用いた。

### 4. 方法

#### 4-1 治療手順

放射線治療医による診察後，X線透視を用いて，腫瘍の呼吸性移動を評価した。今回の症例では，腫瘍の移動量が1cm以上あったため，息止めを行うことを決定した。さらに，マイクの指示によって吸気時で15秒程度息止めが行えたので，息止めと照射ビームの中断を繰り返すことで照射が可能であると判断した。次に，治療計画CTの撮影。CT撮影時，呼吸のモニタリングに Abches を用いた<sup>4)</sup>。その後，SBRT 開始までの間に Pinnacle<sup>3</sup>を用いて治療計画が作成され，

RadCalcによるMU値の検証と，WP1D型水ファントムや farmer 型線量計を用いて実測値の測定を行った<sup>2) 3) 6)</sup>。SBRT 期間中は，毎回CT撮影を行った。これは，骨構造を基準とするのではなく，腫瘍を基準として照射位置の照合を行うために行った<sup>4) 5)</sup>。治療計画CT室にて，実際の治療時と同様に患者をエスフォーム吸引式固定バックと体幹部固定システム SN 式で固定し，マイク指示によって吸気の状態でのCT撮影を行った。そしてアイソセンタの位置誤差を確認後，固定されたままの患者を移動台に横滑りさせ，リニアック室まで移動した。移動台は表面がフラットなもので，かつ患者を乗せたままの体幹部固定システム SN 式を乗せても十分に耐えられる強度と大きさの台を選び，移動は4人で行った。リニアック室にて移動台からリニアック寝台に再び患者を横滑りさせ，セットアップを行った。まずアイソセンタに合わせ，CT撮影によって確認された位置誤差を修正後，リニアックグラフィ（linacgraphy: LG）を撮影，DRR（digitally reconstructed radiography）と比較し，最終的に骨構造による照合も行った後，照射を開始した。

#### 4-2 治療計画CT

本撮影の前に，コンベンショナルスキャンにて吸気相，呼気相の撮影を行い，フュージョン画像を作成し，腫瘍の移動量を評価した。その結果，腫瘍の移動量がX線透視検査時と同様に1cm以上あった。撮像条件は，ヘリカルスキャン，スライス厚：2mm，スキャンスピード：0.75，FOV：LL（480）とした。患者を固定し，Abchesを設置した状態で，マイク指示による息止めを行い，吸気相のみで撮影を行った。肺の線量制約： $V_{20} \leq 20\%$ （ $V_{20}$ は任意の臓器体積における20Gy以上照射される体積の割合（%）を示す値）を満たすため，肺が拡張する吸気相の画像を治療計画に使用した<sup>1)</sup>。また，長時間の息止めが必要となるため，酸素3ℓを吸入した。

#### 4-3 呼吸モニタリング装置（Abches）

呼吸移動対策として Abches を患者に設置した様子を Fig.2 に示す。胸式呼吸と腹式呼吸による体厚変化を，胸部と腹部の2点のアームで検出し，目盛り表示で知らせる機構となっている<sup>1) 4)</sup>。頭につけられた鏡によって，患者自身がインジケータの目盛りで呼吸の停止を確認でき，

また、操作室内にあるモニターにもインジケータの目盛りが映し出されるため、スタッフも息止めが適切に行われているかどうかを確認しながら照射を行った。Fig.2において、インジケータが黄色と赤の目盛りの範囲内で振れるように呼吸を調節してもらい、インジケータが青の目盛り（呼吸停止位置）を指す位置で呼吸を停止するよう指示した。



Fig.2 Abches 装着時の様子

#### 4-4 治療計画

治療計画はPinnacle<sup>3</sup>を用いて作成した。X線エネルギーは6MVである。照射方法は9門照射でそのうちの4門がNon-coplanarであった。腫瘍中心をアイソセンタとし、線量評価点もアイソセンタに設定した。照射線量は1回12Gyの4回照射で計48Gyであった<sup>1)</sup>。治療は、4日間連日で行った。計算アルゴリズムはsuperposition法で線量計算グリッドは2mm（通常の治療計画時は4mm）とした。CT上で、ターゲット（腫瘍）をGTV（gross tumor volume）とし、CTV（clinical tumor volume）と同一とした。IM（internal margin）とSM（set-up margin）として、合わせて10mmをPTV-marginとして付与した。そして、leaf-marginを頭尾方向は15mm、左右方向は10mmと5mm、腹背方向は7mmと10mmとした。吸気相と呼気相のCT画像を比較した時に、頭尾方向の移動量が大きかったため、胸壁に接している部分と、そうでない部分とで移動量に差があったため、左右方向、腹背方向でそれぞれ異なるleaf-marginを付与した。線量分布図より、胸壁にも高線量域が広がったため、leaf-marginを絞り、90%線量を超えないようにした。またDVH（dose volume histogram）より、V20は右肺が11%、左肺が0%となっていた。脊髄線量は0であった。

## 5. 結果

### 5-1 MU値検証

MU値の検証結果をTable 1に示す。RadCalcを用いたMU値誤差は-1.3%から-17.1%となった。実際は不均質である患者本体を、均一な物質（通常は水等価）に置き換えて検証用に治療計画を作成すると、Table 2に示すように、RadCalcのMU値誤差は0から-0.9%となった。検証用のプランでは実測を行わず、RadCalcにてMU値検証のみを行った。

Table 1 MU値検証結果（RadCalcと実測）

ビーム番号	MU値	誤差 (%)	
		RadCalc	実測値
①	225	- 13.8	15.5
②	195	- 9.2	9.6
③	213	- 14.6	16.5
④	201	- 11.4	12.2
⑤	165	- 13.9	16.4
⑥	258	- 17.1	20.8
⑦	150	- 4.0	4.4
⑧	158	- 1.3	2.1
⑨	198	- 12.6	14.7

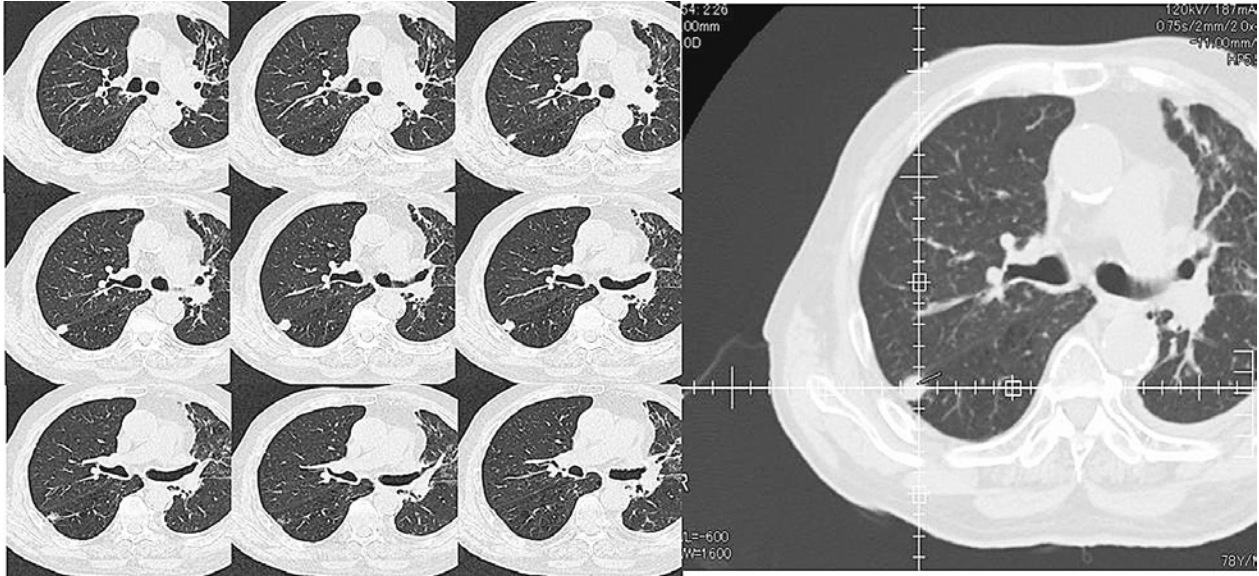
Table 2 MU値検証結果（検証用）

ビーム番号	MU値	誤差 (%)
		RadCalc
①	315	- 0.6
②	217	- 0.9
③	288	- 0.7
④	227	- 0.4
⑤	211	0.0
⑥	327	- 0.6
⑦	149	0.0
⑧	152	0.7
⑨	205	0.0

### 5-2 移動量

参考画像と比較して算出された毎回の照射中心の移動量（誤差）はTable 3のようになっている。三次元方向（頭尾方向、左右方向、腹背方向）で評価すると、最大誤差は5mm、最少誤差は0であった。それぞれ、頭側方向、右方向、腹側方向を正方向、足側方向、左方向、背側方向を負方向と定義した。LGとDRRを用いた照合による位





(a) 2 mm 間隔の頭尾方向座標決定用 (9スライス)

(b) 左右・腹背方向座標決定用

Fig.3 治療位置決定用参照画像

置誤差はなかった。

## 6. 考 察

Table 3 毎回の照射中心の移動量 (固定精度)

治療回数	治療日	移動量 (mm)		
		頭尾方向	左右方向	腹背方向
①	7/12	0.0	1.0	2.0
②	7/13	0.0	0.0	0.0
③	7/14	0.0	2.0	0.0
④	7/15	4.0	3.0	5.0

### 5-3 経過観察 (フォローアップ CT)

SBRT 前と, SBRT 1 ヶ月後, SBRT 2 ヶ月後のフォローアップ CT を Fig.4 に示す. 右肺の結節がほぼ消失している. 注意すべき副作用である放射性肺臓炎も, この時点では確認できていない.

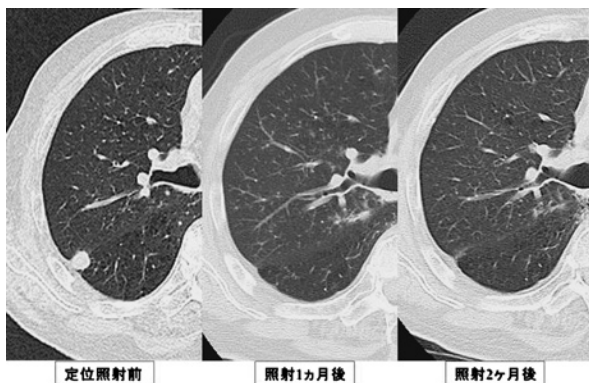


Fig.4 SBRT による治療効果

今回, 肺腫瘍に対する SBRT の第 1 例目を経験した. 治療前の検証作業には 12 日間を要した. 通常の照射では, RadCalc による MU 値検証のみを行っているが, 初めての症例であり, 1 回の治療で用いられる線量も大きいことから, 実測による検証も行った<sup>6)</sup>. RadCalc は MU 値計算において, 人体における不均質の影響を考慮できないため<sup>1)</sup>, Table 1 に示すように Pinnacle<sup>3</sup> 算出の MU 値と大きな相違を生じた. 検証における対応策として, Pinnacle<sup>3</sup> で用いられている superposition 法では, 計画された治療計画を, 完全な水等価の均質として再計画して MU 値を算出し, RadCalc によって計算された MU 値と比較評価することが 1 つの方法とされており<sup>1)</sup>, 今回はこの方法を採用した. 結果, RadCalc による計算値と誤差 ± 1.0% 以内で一致した.

今回の結果では, 通常の照射にも用いているエスフォーム吸引式固定バックと, 体幹部固定システム SN 式を組み合わせた固定法によって, 固定精度 (セットアップエラー) が最大で 5 mm となっていた (Table 3).

今回 SBRT を行った患者は, 吸気による呼吸停止を行い, 照射ビームの中断を 15 秒程度で繰り返し, 全 9 門の照射を行った. その中断 (「息を楽にして下さい。」) や, 「息を吸って止めて下さい。」という息止めの合図は, 患者の息止めが

安定するよう、毎回同じスタッフの声で行った。Abchesのインジケータで示される呼吸の動きが概ね安定していたことや、息止め、また息止めの再開がスムーズに行われたことから、患者自身が安心して治療を受けることに効果があった。

CT撮影も含めた総治療時間は、入室から40分程度であった。毎回のCT撮影は、位置照合において腫瘍位置を正確に判別できる利点だけではなく、固定時間が長くなり患者の負担が増すことや、被ばく量が増加するなど問題点も指摘されており、実施にあたって施設間で意見が分かれるところである<sup>5)</sup>。今後のSBRTの施行においては再度検討が必要である。

フォローアップCTの結果より、画像上、腫瘍は消失していた(Fig.4)。しかし、肺に高線量域が重なった場合には放射線肺臓炎の発生も報告されており<sup>1) 4)</sup>、今後も十分注意が必要である。放射線肺臓炎などの合併症を防ぐためには、腫瘍に対するマージンをできるだけ小さくすることが必要であるが、逆に、マージンを十分に取っていないと照射範囲からtarget(腫瘍)がはずれてしまう危険性も含んでいる<sup>1)</sup>。例として、横隔膜近くや、三次元方向における頭尾方向は腫瘍の移動量が多いことが報告されている<sup>5)</sup>。今後SBRTの治療症例数を増やし、患者ごとの状態や呼吸条件を反映したマージンの設定を検討する必要がある。

## 7. おわりに

- ・肺腫瘍に対する体幹部定位放射線治療(SBRT)を経験した。
- ・呼吸移動対策に、吸引式固定バッグや呼吸モニタリング装置(Abches)を用い、一定の治療効果を得た。
- ・今後も症例を重ね、本治療法の臨床的有用性を検証していきたい。

### ●参考文献

- 1) 大西洋, 平岡真寛, 他: 詳説 体幹部定位放射線治療 ガイドラインの詳細と照射マニュアル. 中外医学社, 東京, 2006.
- 2) 日本放射線腫瘍学会研究調査委員会 編: 外部放射線治療装置の保守管理プログラム. 通商産業研究社, 東京, 1992.
- 3) Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al: Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. Med.Phys. 36 (9): 4197-4212, 2009.
- 4) 小宮山貴史, 萬利乃寛, 大西洋, 他: CT-リニアックシステム・Abches. Rad Fan Vol.5 No.5: 74-78, 2007.
- 5) 大岡義一, 武田篤也, 須藤泰信, 他: 体幹部定位放射線治療における骨構造を基準としたアイソセクタ決定の不確かさについて. 日本放射線技術学会雑誌 459: 41-49, 2009.
- 6) 日本医学物理学会 編: 外部放射線治療における吸収線量の標準測定法. 通商産業研究社, 東京, 2002.