



# Improvement of three-dimensional treatment planning models of small lung targets using high-speed Multi-slice CT imaging

山田, 和成

---

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

2002-11-13

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2652

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002652>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 1 4 7 】

氏 名 ・ ( 本 籍 ) 山 田 和 成 ( 兵 庫 県 )

博士の専攻分野の名称 博士 ( 医学 )

学 位 記 番 号 博ろ1854号

学位授与の 要 件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学位授与の 日 付 平成 1 4 年 1 1 月 1 3 日

【 学位論文題目 】

IMPROVEMENT OF THREE-DIMENSIONAL TREATMENT  
PLANNING MODELS OF SMALL LUNG TARGETS USING  
HIGH-SPEED MULTI-SLICE CT IMAGING

(Multi-slice CT を用いた小肺標的に対する三次元放射線  
治療計画法の実験的および臨床的研究)

審 査 委 員

主 査 教 授 杉 村 和 朗

教 授 大 北 裕

教 授 前 田 盛

## 緒言：

小さな末梢肺癌に対して小照射野による三次元照射法は、腫瘍に対する有効線量を増加させ、局所制御率を向上させる。この際 CT を用いた正確な計画標的体積 (PTV) 設定が重要である。しかし通常の放射線治療計画時には自由呼吸下での CT 画像を用いるため、呼吸性移動による部分容積効果を画像内に含み臨床標的体積 (CTV) の位置決定に誤りをきたす恐れがある。この CT 画像の不正確さを補償するため、通常の PTV 決定には大きなマージンを必要とする。このため正常肺容積が高線量域に過分に含まれる結果となっていた。近年、高速 Multi-slice CT が臨床応用された。従来の CT に比し約二倍以上の速度で精細な画像が取得できるようになった。従来 CT では困難であった、肺腫瘍の三次元方向の動態情報も正確に取得できるようになった。画像撮像時の呼吸同期技術はまだ広く普及していない。この研究の目的は、吸気呼気下の一回呼吸停止状態で取得した高速 Multi-slice CT 画像情報を、治療計画患者モデルの正確性の改善と正常組織の照射容積の減量を図ることである。

## 対象および方法：

### CT 装置：

multidetector-row helical CT scanner (Light Speed QX/i; GE Medical Systems, Milwaukee, WI) を使用した。

### ファントムによる検討：

動きのある標的 CT 画像に及ぼす影響を検討するため、呼吸運動を模し、1 分間に 15 回、20mm 間をモーターにより反復運動をするアクリル球形ファントムを CT 上に設置し、三方法による撮像を行った。

a) 低速撮像 (4 秒/スライス)。b) 通常撮像 (1 秒/スライス)。c) 二相撮像、呼吸停止下撮像を模するため、上端と下端位置にファントムを停止させて撮像した。

### 臨床検討：

患者 7 例の 9 ケの肺野末梢小型腫瘍について検討した。9 個の肺腫瘍は上葉 6 ケ、下葉 3 ケ、平均直径は 30.6mm (18-42) であった。CT 撮像は水平台上に体幹固定具 Vac-Loc™ (MedTech, Orange City, IO) を用い、背臥位、上肢挙上位、酸素吸入状態で施行した。患者は浅吸気、浅呼気での呼吸停止を十分に練習した後、三呼吸相：自由呼吸 (FB)、浅吸気 (SI)、浅呼気 (SE) の CT 撮像を施行した。呼吸停止下の典型撮像法は造影剤を用いず 30cm の全肺野を、16 秒間、10mm collimation (4 x 2.5 mm)、テーブルスピード 15mm/s (ピッチ 6) であった。FB 撮像は 1 スライス 1 秒の step-and-shoot モードで撮像した。取得した三相画像データは三次元放射線治療計画コンピューターシステム (FOCUS, CMS Ltd, St. Louis, MO) に転送した。これらの三相の画像を用い、各腫瘍に対し三法による放射線治療計画モデルを作成した。

1) 二相計画：Aruga ら方法を用い、吸気・呼気停止下で取得した二相の三次元

## 考察：

患者の動きや、位置再現性の不確かさ、内臓器の動きなどの座標誤差を考慮して、PTV は CTV にマージンを加えて設定される。ICRU62 勧告ではこのマージンは二種類に大別される。(a) CTV の大きさ、形態、位置の偏位に基づく内部マージン。(b) 患者位置およびビーム線束再現の不確実性に伴うセットアップマージンである。CTV の動きの定量的、定性的検討は内部マージンの大きさを決定するのに欠かせない。適切な三次元原体照射 (3D-CRT) 計画のためには CTV の動き検討し、統御する努力が重要である。3D-CRT では標的に対し三次元全方向の動きの検討が必要である。CT シミュレーションは 3D-CRT 計画立案には必須のものであるにもかかわらず、呼吸運動による画像の不確実性による不正確さが置き去りにされてきた。不適切なマージンにより正常組織に不必要な照射が行われている可能性がある。Graham らは非小細胞肺癌症例 99 例の検討で、20Gy 以上照射された全肺体積比がグレード 2 以上の放射線肺臓炎発症と相関があることを指摘している。

二相計画は single helical CT を用い Aruga らによって過去に報告された計画法である。彼らは上腹部腫瘍症例 10 例の検討で、呼気計画の吸気 GTV 最小線量百分率は二相計画に比し、有意に低いことを示した。

現在まで single helical CT では全肺データを取得するのに、患者の息止め許容時間より 6 から 8 回にわたり、分割撮像しなければならなかった。このため、再構成肺画像に分割撮像に伴うアーチファクトが不可避であった。さらに、その撮像時間より二相計画を日常臨床に用いることは困難であった。この検討では、Aruga らの結果に加え、二相計画は呼気計画、自由呼吸計画に比べ腫瘍の最小線量の改善が得られるのみならず、正常組織の照射体積の削減にもつながることを明らかにした。現在、DVH 解析に基づき、いくつかの線量増加臨床試験が施行されている。しかし、線量体積データが誤っていれば、試験計画ならびに結果の解析にも誤りをもたらす可能性がある。Multi-slice CT を用いることにより三次元治療計画の呼吸運動を考慮に入れた線量分布を評価することが可能となる。しかし、現実の呼吸サイクルは各患者によりばらつきがある。より厳密な解析のためには、吸気・呼気画像の時間因子を積分した加算方法が必要かもしれない。この領域においてはさらなる研究が必要である。

## 結語：

高速 Multi-slice CT を用いることにより一回呼吸停止下に全肺体積のデータ取得が可能である。Multi-slice CT を用いた二相計画は自由呼吸計画に比し、正常組織の照射体積が削減でき、DVH データの信頼性が改善する。Multi-slice CT で得られた情報は通常 CT 計画より、さらに正確な肺腫瘍の動きを PTV 決定に反映させることができる。

容積データから各々異なるテーブル位置座標の再構成画像を作成し、それらをひとつのデータセットとした。SI および SE の肉眼的腫瘍体積 (GTV) を各々 SI-GTV、SE-GTV とした。PTV の作成は合体 GTV(mixed-GTV)から三方向{腹背 (V-D)、左右 (M-L)、頭尾 (C-C)}とも 1cm のマージンとした。これは mixed-GTV 中に SI-GTV、SE-GTV が内包されているからである。1cm は GTV から CTV までの非顕在進展のために 0.5cm、位置再現性の補償のために 0.5cm を意味する。

2) 呼吸計画：Balter らが提唱した呼吸画像を使用した、C-C 方向の不確かさを少なくし、照射される容積の減量を図った方法を用いた。PTV の作成は V-D、M-L、頭側方向に 1cm、尾側方向に 3cm のマージンを SE-GTV に加えた。3cm は CTV 設定に 0.5cm、呼吸性移動に 2cm、位置再現性の補償に 0.5cm を意味する。

3) 自由呼吸計画：FB 画像を用い、PTV の作成は FB-GTV に V-D、M-L 方向に 1cm、C-C 方向に 2cm のマージンを用いた。

これらの三計画法を比較するため、60Gy の前後対向二門照射野と 4 門照射野を作成した。照射時間中呼吸により腫瘍は移動するが、照射中心は動かないため呼吸性移動を考慮に入れた定量的な線量比較のため、これらの照射野のアイソセンタを含めた各パラメーターを吸気および呼気時に取得した CT データに転送した。肺容積および各相の GTV 中心は FOCUS で計算し、三相の座標偏位を計測した。三次元線量計算は 10MV X 線でクラークソン法を用いた。各計画のアイソセンタ線量に対する吸気・呼気 GTV の最小線量比を計算した。さらに、三計画法の吸気・呼気患側肺に対する線量体積ヒストグラム(DVH)を計算した。

結果：  
ファントムによる検討：

通常撮像では位相の逆転が見られた。低速撮像では位相の逆転現象はなかったが、ファントムの辺縁が不整に描出された。二相撮像ではアーチファクトのない位置情報の取得が可能であった。

臨床検討：

SI GTV と SE GTV の平均移動量は  $9.2\text{mm} \pm 4.2\text{mm}$  (M-L 2.9, C-C 4.4, V-D 6.4)であった。Mixed-GTV と自由呼吸計画 GTV との差は  $5.6\text{mm} \pm 4.4\text{mm}$  (M-L 1.4, C-C 2.7, V-D 4.4)であった。吸気・呼気 GTV 最低線量の平均は前後対向二門照射と 4 門照射では各々、二相計画で 95.2%、95.8%。呼吸計画で 92.3%、90.3%。自由呼吸計画で 89.2%、85.6%であった。前後対向二門照射では統計学的有意差は認めなかったが、4 門照射では二相計画と他の二法の間有意差を認めた ( $p=0.03, 0.04$ )。吸気・呼気画像の患側肺の 20Gy 以上照射された体積百分率 ( $V_{20}$ ) の比較では二相計画が最も小さく、他の二法との間に有意差を認めた ( $p<0.001$ )。

論文審査の結果の要旨

受付番号	乙 第1858号	氏 名	山田和成
論文題目	IMPROVEMENT OF THREE-DIMENSIONAL TREATMENT PLANNING MODELS OF SMALL LUNG TARGETS USING HIGH-SPEED MULTI-SLICE CT IMAGING  Multi-slice CT を用いた小肺標的に対する三次元放射線治療計画法の実験的および臨床的研究		
審査委員	主 査 杉 村 和 朗 副 査 大 北 裕 副 査 前 田 盛		
審査終了日	平成 14 年 11 月 / 日		

(要旨は1,000字～2,000字程度)

小さな末梢肺癌に対して小照射野による三次元照射法は、腫瘍に対する有効線量を増加させ、局所制御率を向上させる。この際 CT を用いた正確な計画標的体積(PTV)設定が重要である。しかし通常の放射線治療計画時には自由呼吸下での CT 画像を用いるため、呼吸性移動による部分容積効果を画像内に含み臨床標的体積(CTV)の位置決定に誤りをきたす恐れがある。この CT 画像の不正確さを補償するため、通常の PTV 決定には大きなマージンを必要とする。このため正常肺容積が高線量域に過分に含まれる結果となっていた。近年、高速 Multi-slice CT が臨床応用され、従来 CT では困難であった、肺腫瘍の三次元方向の動態情報も正確に取得できるようになった。この研究の目的は、吸気呼気下の一呼吸停止状態で取得した高速 multi-slice CT 画像情報を用い、治療計画患者モデルの正確性の改善と正常組織の照射容積の減量を図ることである。CT 装置は multidetector-row helical CT scanner (Light Speed QX/I; GE Medical Systems, Milwaukee, WI)を使用した。

#### ファントムによる検討：

動きのある標的の CT 画像に及ぼす影響を検討するため、呼吸運動を模し、1 分間に 15 回、20mm 間をモーターにより反復運動をするアクリル球形ファントムを CT 上に設置し三方法による撮像を行った。通常撮像では位相の逆転が見られた。低速撮像では位相の逆転現象はなかったが、ファントムの辺縁が不整に描出された。二相撮像ではアーチファクトのない位置情報の取得が可能であった。

#### 臨床検討：

患者 7 例の 9 ヶの肺野末梢小型腫瘍について検討した。三呼吸相：自由呼吸、浅吸気、浅呼気の CT 撮像を施行し、得られた画像より三法：二相計画、呼気計画、自由呼吸計画による放射線治療計画モデルを作成した。三計画法を比較するため、60Gy の前後対向二門照射野と 4 門照射野を作成した。各計画のアイソセンタ線量に対する吸気・呼気の肉眼的腫瘍体積の最小線量比を計算した。さらに、三計画法の吸気・呼気患側肺に対する線量体積ヒストグラム(DVH)を計算した。前後対向二門照射では統計学的有意差は認めなかったが、4 門照射では二相計画と他の二法の間に有意差を認めた。吸気・呼気画像の患側肺の 20Gy 以上照射された体積百分率( $V_{20}$ )の比較では二相計画が最も小さく、他の二法との間に有意差を認めた。適切な三次元原体照射(3D-CRT)計画のためには CTV の動き検討し、統御する努力が重要である。3D-CRT では標的に対し三次元全方向の動きの検討が必要である。CT シミュレーションは 3D-CRT 計画立案には必須のものであるにも

かかわらず、呼吸運動による画像の不確実性による不正確さが置き去りにされてきた。この検討では、Aruga らの結果に加え、二相計画は呼気計画、自由呼吸計画に比べ腫瘍の最小線量の改善が得られるのみならず、正常組織の照射体積の削減にもつながることを明らかにした。

本研究は高速 CT 画像の小肺腫瘍への放射線治療計画への応用を研究したものであるが、近年、進展の著しい小型肺癌に対する三次元原体照射法を施行する上において、新しい放射線治療計画技術を確立した。放射線治療分野において臨床上有益で重要な知見を得たものとして、価値ある集積であると認める。よって、本研究者は博士(医学)の学位を得る資格があると認める。