

# 4DCTを用いた孤立性肺野病変呼吸性移動量計測のピットフォール

南東北がん陽子線治療センター ○辻 眞也(Tsuji Shinya)  
加藤 貴弘 横田 克次 廣垣 智也 小山 翔  
松本 拓也 高橋 省吾 本柳 智章 鈴木 正樹

## 【背景・目的】

放射線治療における呼吸性移動量の計測手法の一つである4DCTは、治療計画用CT撮影時に併せて実施できるなど運用面でのメリットもあり、広く普及している。一方、呼吸波形情報を基にした画像再構成を必要とするため、撮影中における患者の呼吸状態が安定していることが必要条件となるが、実臨床においては呼吸が安定しないケースに遭遇することもあり、課題も少なくないことが知られている。当院では孤立性肺野病変に対する陽子線治療において治療計画時に国内先行粒子線治療施設の運用に倣い、正側2方向の連続撮影(以下、Cine)による呼吸性移動量計測も全例に対して実施するようにしているが、実際にCineと4DCTの結果が一致しないケースも散見されている。肺野病変に対する呼吸性移動量の計測手法としては、Cineまたは4DCTを採用している施設が多いと報告されているが<sup>1)</sup>、両手法の精度や相関性について比較検証した報告は見受けられず、実臨床レベルでの結果の信頼性については不明な点が多いというのが実情である。そこで本研究では、当院で実施した同一患者の4DCT及びCineによる呼吸性移動量の算出結果をレビューすることで4DCTのピットフォールについて検討することを目的とした。

## 【使用機器】

CT : Aquilion LB(東芝メディカルシステムズ)  
X線透視装置 : ULTIMAX 80(東芝メディカルシステムズ)  
患者固定具 : ESF-17、ESF-19(エンジニアリングシステムズ)  
呼吸同期システム : AZ-733V(安西メディカル)  
動態ファントム : QUASAR プログラマブル呼吸同期ファントム(モーダスメディカルデバイス)

## 【方法】

### A. 予備実験

1.呼吸周期一定条件下における4DCT及びCineの呼吸性移動量の整合性を確認するため、動態ファントムを用いた模擬腫瘍を両手法で撮影し、移動量を計測、比較した。

### B. 4DCTによる呼吸性移動量の算出

- 1.患者を上肢挙上位とし、自由呼吸下で呼吸波形が最も安定した時点で4DCTを撮影した。なお、モニタリング用レーザーは腹壁移動の最も大きい領域に設置した。
- 2.画像再構成後、最大呼気および最大吸気時における病変部の呼吸性移動量を、腹背(以下、AP)方向及び頭尾(以下、CC)方向で各々算出した(Fig.1)。

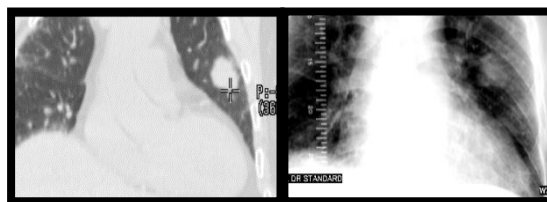


Fig.1 計測方法例(左:4DCT、右:Cine)

### C. Cineによる呼吸性移動量の算出

- 1.方法B同様の患者固定具を使用し、自由呼吸下で呼吸波形が最も安定した時点で、正面及び側面それぞれの2周期分のCine撮影を実施した。モニタリング用レーザー位置は方法Bと一致させるように設定した。なお、撮影時はスケールを同時曝射し、拡大率補正を実施するようにした。
- 2.得られた画像のうち、最大呼気および最大吸気時における病変部の呼吸性移動量について、AP及びCC方向について算出した(Fig.1)。

### D. 相関係数の算出

- 1.方法Bおよび方法Cから得られた病変部の呼吸性移動量について、Spearmanの順位相関係数を算出し、両手法の相関を求めた。

## 【結果】

### 両手法の整合性

予備実験の結果から、呼吸性移動量の両手法の相違は最大でも1 mm以下であることが確認できた。

## 両手法の相関について

病変部の呼吸性移動量における両手法間の相関係数は、AP:0.8399、CC:0.7143であり、AP、CC方向ともに相関が認められた(Fig.2,3)。しかし、患者個別に4DCTとCineの移動量相違をみると、相関係数が比較的高いAP方向では全例5 mm以内であったのに対し、CCは25例中6例(24%)で5 mm以上の相違が認められ、最大で20 mmを超えるケースも散見された。

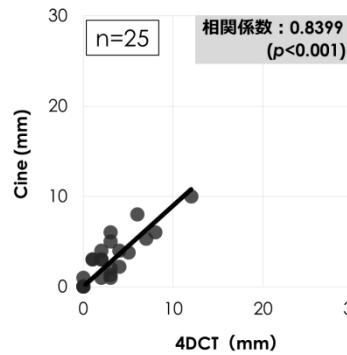


Fig.2 AP 方向移動量結果

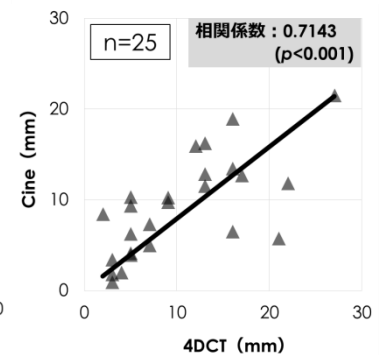


Fig.3 CC 方向の移動量結果

## 【考察】

予備実験の結果から4DCTの設定スライス厚、Cine撮影時の拡大率補正による誤差が原因と考えられる両者の差は認められたが、その差は1 mm以下で一致しており、整合性は十分に担保されているものと考えられた。

実臨床例において、一部の症例において両手法で高い相関が得られなかった要因としては、第一に患者の呼吸再現性が挙げられる。両手法は同日に連続で実施しているものの、実際には撮影室間の移動や時間経過に伴う緊張緩和などが影響しているものと考えられる。また、4DCTのアーチファクトが結果的に病変部辺縁の境界をボケさせることで、計測時の誤差要因として介在していることも考えられる。患者の呼吸波形は、最も安定したと判断された場合においても、厳密には毎回の呼吸周期や振幅は変化しており、呼吸状態が不安定な場合は再構成不良によるアーチファクトがより顕著となる。今回対象となった25例の中にも、4DCTにおいて病変部と横隔膜の動きが全く一致しないケースが存在した(Fig.4)。4DCTの再構成結果にはこれらの誤差要因が少なからず含まれており、実患者における不確かさは少なくないことが示唆された。一方で、Cineによる呼吸性移動量の算出値は真値により近いものと考えられるが、心陰影の影響など周囲との組織コントラストが不明瞭となるケースが存在するなど、測定においてはいくつか制限が伴うのが実情であり、4DCTが解析手法として優位なケースも少なくないと考えられる。症例に応じて両手法の解析結果を適切に処理し、治療計画におけるセットアップマージンやインターナルマージン等を決定していく必要がある。今回は治療計画用CT撮影当日の単発の検査の結果であり、実際にはこの状態が治療期間中も維持される保証はないことも十分に認識する必要がある。実臨床では治療開始後も患者の呼吸状態をよく観察し、適宜再撮影して評価し直すことも必要と考えられる。

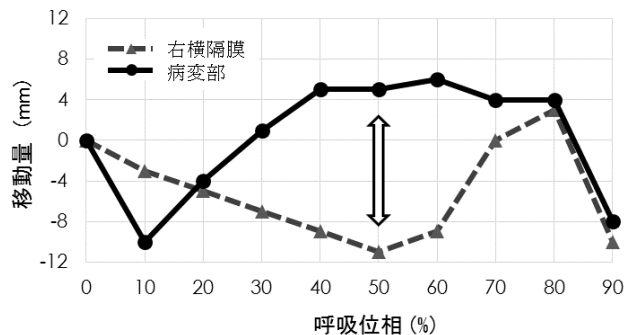


Fig.4 4DCT の再構成不良により横隔膜と病変の移動方向が逆転したケースの計測結果

## 【結語】

同一患者に対し連続的に実施した4DCT及びCineによる呼吸性移動量の算出結果をレビューすることで4DCTのピットフォールについて検討した。呼吸性移動量計測において、両者においてAP、CCの両方向で相関が認められたが、25例中6例(24%)においてCC方向において5 mm以上の相違が生じていることが確認できた。4DCTにより取得した移動量情報には少なからず不確かさが存在しており、そのことを認識したうえで治療計画や照射を実施することが重要である。

## 【参考文献】

- 1) The management of respiratory motion in radiation oncology; Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 76. Med Phys. 2006; 33: 3874-900.