

令和元年6月4日現在

機関番号：23903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K19234

研究課題名（和文）呼吸性移動による変形を再現する胸部ファントムの作成

研究課題名（英文）Making deformable chest phantom with respiratory motion

研究代表者

大町 千尋 (Omachi, Chihiro)

名古屋市立大学・大学院医学研究科・研究員

研究者番号：20588967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：粒子線治療において、呼吸性移動による腫瘍の移動とそれに伴う飛程の変化は、線量分布の均一性を損なう要因である。本研究の目的は呼吸性移動を伴った腫瘍に対する線量評価を可能とする、変形を再現した胸部ファントムの作成である。3Dプリンタを利用して胸部形状を作成し、圧空制御による呼吸の再現とモータ駆動による腫瘍の位置変化を再現可能な胸部ファントムを作成した。作成したファントムは4DCT撮影と陽子線による照射実験を通して検証を行い、粒子線治療における線量評価へ応用が可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で作成したファントムは、線量均一性の評価や呼吸同期照射における照射ゲートの設定評価などの品質管理に利用可能である。また、近年注目されている強度変調粒子線治療においても利用可能であり、粒子線治療における呼吸性移動を伴う腫瘍の治療において、より精度の高い品質管理が可能となる。

研究成果の概要（英文）：The changing of target range by respiratory motion is one of the reason for losing the dose conformity in particle therapy. The goal of this study is making a deformable chest phantom by respiration which gives the new verification method in such respiratory tumors. The shape of chest phantom is built by 3D printer, and the deformation and tumor movement with respiration is reproduced by compressed air control and motor. The chest phantom is verified with 4DCT and proton beam.

研究分野：医学物理学

キーワード：人体模擬ファントム 呼吸性移動

1. 研究開始当初の背景

陽子線治療は荷電粒子である陽子を利用した放射線治療のひとつであり、陽子のエネルギーを調整することで人体内における飛程を腫瘍を中心とした深さに調整し、腫瘍における高い線量集中度を実現する。従来の陽子線治療では、散乱体を通して側方へ広げた陽子ビームを、MLC及びコンペンセータを用いて腫瘍形状に合わせる照射法である拡大ビーム法が主流であった。しかしながら近年では陽子ビームを拡大せず、腫瘍を塗りつぶすように電磁石を用いて照射位置をコントロールすることで陽子を体内の任意の場所へ照射し、均一な照射野を実現するスキャニング法が導入されてきている。また、スキャニング法における照射手法のひとつである強度変調陽子線治療では、腫瘍周辺の正常臓器に対する不必要な線量低減のために、不均一な陽子線照射野を複数門で合算し、腫瘍に対する一つの均一な照射野を形成する。これら陽子線治療において、飛程は非常に重要な項目の一つであり、飛程の変化は意図しない線量のホットスポット、コールドスポットを生み出す要因となる。そのため、ビーム機器の再現性の検証や治療プランの線量検証等の精度管理は重要項目の一つである。

呼吸による移動や変形がない頭頸部や前立腺などの領域では、治療時における人体内における水等価長の変化は検証時と比較して少ないが、肺や肝臓などの腹部領域では呼吸による腫瘍の移動と体形の変形が、大きな水等価長の変化を招く。呼吸による移動、変形を伴う部位においては、呼吸抑制や呼吸同期照射などの手法を用いた治療が行われるが、それらも水等価空間へ投影した線量をもとに評価が行われており、実際の体内における呼吸性移動の影響は検証されていない。特にスキャニング照射や強度変調陽子線治療においては呼吸性移動による水等価長の変化は線量分布の均一性を損なう直接的な要因となるため、影響が大きい。今後、スキャニング照射及び強度変調陽子線治療が急速に拡大することが予想される点を考慮し、呼吸による腫瘍の移動および体形変化を再現できる人体模擬ファントムの開発が期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は呼吸による変形と腫瘍の移動を再現する線量評価用人体模擬ファントムの開発である。放射線治療における処方線量や線量分布などの治療照射野の検証は、一般的に水等価空間へ投影した治療線量を水中または水等価物質中で検証することで実施される。また、呼吸性移動を伴う症例における線量検証には腫瘍の位置変化を再現する呼吸同期ファントムと呼吸同期照射による検証が行われるが、飛程という観点においては呼吸による形状変化も考慮する必要がある。人体の構造と呼吸による変形と腫瘍の移動を再現することで水等価空間における線量分布ではなく、直接的な測定による線量評価が可能になる。また、腫瘍の移動による水等価長の変化を再現することで、線量分布の時間的構造を取り込んだ評価が可能となる。

3. 研究の方法

(1) 胸部ファントムの造形

胸部ファントムの作成として3Dプリンタを利用し、胸部構造及び呼吸による変形を再現する(図)。骨構造は石膏を用いた造形により再現し、その他の筋肉や脂肪等の領域はウレタン樹脂を用いて造形する。肺領域内については外部からの駆動を取り入れる構造するため、ウレタンスポンジを充填し、駆動方向に再現性を維持する。また作成は片肺、頸部下端から横隔膜直上までを領域とする。

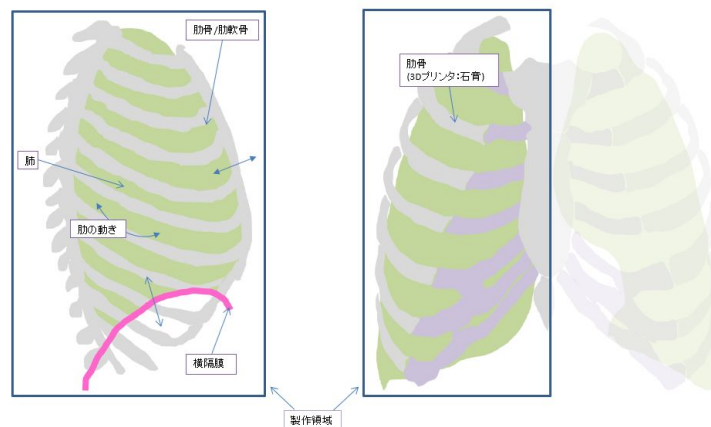


図 胸部ファントム概要

(2) 呼吸の再現及び腫瘍の移動

呼吸の再現は電空レギュレータによる圧空制御により再現する。PLCを用いた連続的な電流制御により、呼吸波形を再現するように流入空気圧を調整し、呼吸を再現する。模擬腫瘍はゼラチンを用いて作成し、肺内に充填したスポンジと同質の材料を用いた支持体と外部モータを利用して腫瘍を移動させる。移動量及び移動周期についてはPLCによる電流制御と手動で同期させることで、呼吸に伴った腫瘍の移動を実現する。

(3) 検証

呼吸及び腫瘍を移動させた状態での4DCTによる撮影を行い、呼吸による変形及び腫瘍の移動を確認する。線量測定については複数の照射角における電離箱線量計による測定を行い、照射は呼吸同期照射とする。

4. 研究成果

(1) 胸部ファントム

作成した胸部ファントムを図に示す。骨構造は3Dプリンタによる作成を行い、その他領域については骨構造を除いた体表及び肺形状を再現した型を作成し、それらを組み合わせることで全体を作成した。肺内部へのアクセスは横隔膜側から腫瘍の支持体を挿入可能とし、上肺から空気の流入孔を作成した。横隔膜についてはシリコンゴムを利用し、腫瘍の駆動の関係上、実際の形状の再現は行わず、平坦な形状とした。



図 胸部ファントム

(2) 制御

圧制御部の概略を図に示す。サイン波形をベースとして呼吸周期に応じた連続的な電流を出力するようなプログラム構成とした。外部からはタッチパネルを通して呼吸周期の変更が可能である。PLCのプログラムを変更することで、呼吸波形のデータを取り込むことも可能であり、必要に応じた柔軟な制御が可能である。電圧レギュレータは肺の内圧からおよそ0.1MPaまでの制御可能なシステムとした。

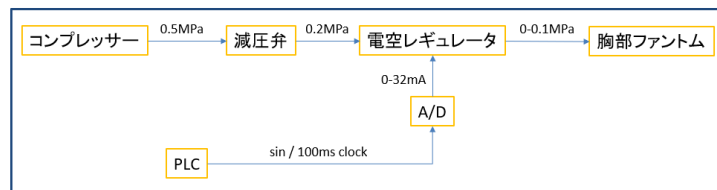


図 圧制御フローチャート

腫瘍の移動制御については、4cm球をもとに作成したゼラチンの模擬腫瘍をスポンジの支持体に封入し、支持体先端を呼吸同期ファントム (QUASER ModusQA) に接続した。支持体については位置再現性が不十分であったので中心部にバルサ材による補強を行った。模擬腫瘍につ

いてはラジオクロミックフィルム (RCA) の封入または電離箱線量計の挿入が可能であり、用途に応じて模擬腫瘍を変更できる。

(4) 検証

図に制御部等を接続した4DCT撮影のCT画像を示す。模擬腫瘍の位置は呼吸フェーズと同期して変化していることが確認できる。胸部の変形は4DCT上では変化量が少なかったが、体表においては呼吸同期装置のセンサーで感知可能であった。変形量については造形領域を全肺とし、肋骨関節の再現性を向上させることで改善が可能であると考えられる。

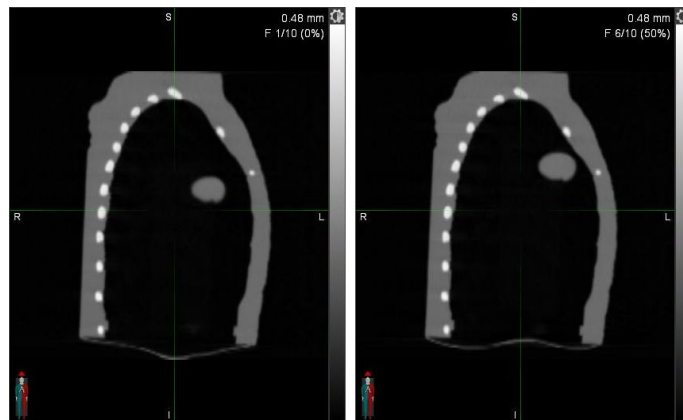


図 4DCT 画像

4DCTを用いて作成した治療計画を用いて陽子線照射による検証を行った。模擬腫瘍に電離箱線

量計を挿入し、呼吸同期センサーを用いた呼吸同期照射による線量測定結果を表にまとめる。同期フェーズは40-60%とし、ガントリ角度は0,45,90度の3方向からの治療計画を作成した。それぞれの角度における計画線量と測定線量の差は最大で2.09%であった。

表 測定結果

ガントリ角(deg)	照射線量(Gy)	照射 MU	測定線量(Gy)	差(%)
90	0.909	110.5	0.928	2.090
45	0.909	103.3	0.918	1.010
0	0.909	101.2	0.912	0.318

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

本研究では呼吸による変形と腫瘍の移動を再現するファントムを 3D プリンタによる造形と圧空制御及び外部装置による腫瘍位置制御を用いて作成した。4DCT 撮影と電離箱線量計による線量測定を通して作成した胸部ファントムが意図した変形及び駆動精度を持つことが確認できた。肋骨関節の再現性に改善の余地が残るが、不均質領域における陽子線の散乱効果の検証やスキニング照射におけるインタープレイ効果の検証など幅広い検証への利用も可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Chihiro Omachi, Making the deformable anthropomorphic chest phantom, the 57th Annual Conference of Particle Therapy Co-operative Group, 5/21/2018–5/26/2018, Cincinnati(USA)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。