

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：23903
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2013～2015
課題番号：25861117
研究課題名(和文)患者CTに基づいた人体ファントムの作成

研究課題名(英文)Anthropomorphic phantom based on patient CT

研究代表者

大町 千尋(Omachi, Chihiro)

名古屋市立大学・医学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：20588967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は治療計画CTに基づいた人体模擬ファントムを作成し、人体内における線量分布検証の手法を確立することである。腫瘍形状や体型を再現するため、3Dプリンタを利用した手法でオーダーメイドのファントムを作成し、線量分布測定を通して製作精度と人体内の再現精度を検証した。人体模擬ファントムは3Dプリンタで造形した石膏による骨模型、及びゼラチンを利用して作成した。治療計画に対する線量分布の比較では体内の空気領域で一致しない部分が見受けられたが、全体としての解析3mm/3%におけるパステートは95.4%となり、本手法により作成した人体模擬ファントムが人体構造を高い精度で再現できることが示された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is establishing the verification method of dose distribution in the human body using the anthropomorphic phantom based on patient CT. The 3D printer was used making patient specific anthropomorphic phantom to reproduce the tumor and body shape. The reproducibility of patient structure was verified by measuring the dose distribution. The patient specific anthropomorphic phantom consists of two materials, a plaster bone which made by 3D printer and gelatin for the water equivalent tissue. The measured dose distribution at the air region in the body did not match the patient plan. But the gamma analysis with 3 mm/3 % was 95.4 % in an irradiation field. From these results, the method of this study could reproduce the body structures to the anthropomorphic phantom.

研究分野：医学物理学

キーワード：人体等価ファントム 粒子線治療 3Dプリンタ

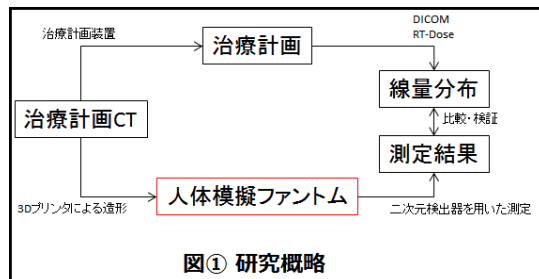
1. 研究開始当初の背景

近年、陽子線治療においては複数の不均一な線量分布を組み合わせることで均一な分布を作成する照射法である強度変調陽子線治療(IMPT)が注目されている。IMPTではその性質上、各照射門における線量分布の接合が非常に重要であり、位置ずれ等による不定性の影響を少なくするために、スポット配置の最適化や線量の重ね合わせのアルゴリズムなど、線量分布の堅牢性を担保するための研究が幅広く行われている。一方で治療計画の線量分布の検証には従来と同じ水等価空間での線量分布検証が行われており、水等価空間における線量分布の再現性を含め、人体内における正確な線量分布の把握は難しい。IMPTにおける線量分布検証には本質的に高い精度が要求されるが、現状として有効な手段が存在しないため、効果的かつ効率的な検証手法の確立が課題である。

3D プリンタは造形の自由度、応用範囲の広さから近年注目されているデバイスであり、製造業や宇宙航空など幅広い分野で利用されている。医療に関しては、術前シミュレーションや治療の説明に利用されており、再生医療分野での研究が進むなど、今後の発展が期待されている。

2. 研究の目的

人体組成に近い物質を利用した人体模擬ファントムを治療計画 CT に基づいて作成することで、体内における線量分布検証が可能な手法を確立することが、本研究の目的である。一般的な人体模擬ファントムでは腫瘍や腫瘍による体組成の変形などを再現出来ないため、3D プリンタを利用した手法でオーダーメイドのファントムを作成する。また、臨床での利用を想定して、小型かつ短時間で製作可能なファントムを作成し、その製作精度と人体の再現性を検証する。研究の概略を図に示す。治療計画 CT をもとに作成した人体模擬ファントムを利用した線量分布と治療計画における線量分布の直接比較によりファントムの精度を検証する。



3. 研究の方法

(1) 材質及び造形領域の検討

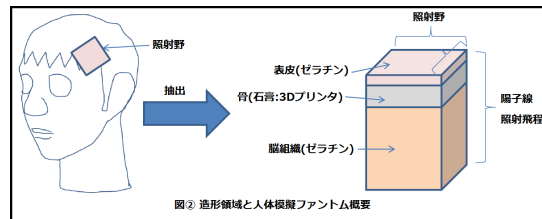
人体内の組織を骨構造、空気、臓器等水等価組織の3つに分類し、造形を行う。骨構造については密度、阻止能の点から石膏を利用し、3Dプリンタ(3Dsystems社製 ZPrinter)で造形を行った。臓器等水等価組織について

はゼラチンで造形し、体内の空気領域についてはウレタンフォームで再現する。各部位の造形に用いる物質を示す(表)。

parts	material	density
bone	plaster powder	2.76g/cm ³
	resin bond	1.1g/cm ³
muscle, brain, etc	gelatin	1.0g/cm ³
air cavity	formed polyurethane	0.001~0.002g/cm ³

表① 造形物質一覧

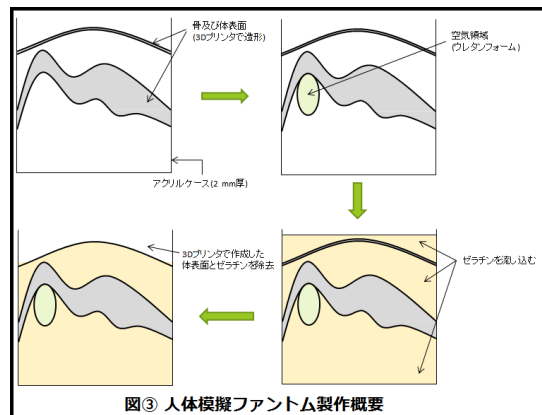
造形時間の短縮と利用上の簡便さから、造形領域は治療計画におけるアイソセタを中心とした10cm四方の矩形領域を選択し、その領域を照射角度方向へ抽出した角柱上の領域とする。ビーム方向終端についてはアイソセタを含む平面となるように加工し、2次元検出器を用いた線量分布測定により精度の検証が可能な造形を行った。図に作成するファントムの概要を示す。



3Dプリンタで造形した骨構造を10cm四方のアクリルケースに収納し、ゼラチンを流し込むことでファントムを作成する。

(2) 体表面及び空気領域の造形

CT画像から体輪郭を抽出し、3Dプリンタで骨構造と一緒に体表面を造形する。ゼラチンを流し込んだ後に、体表面の造形物と体表面外のゼラチンを除去することで照射領域の体表面を再現する。空気領域については、造形した骨構造にウレタンフォームを注入することで、空気の領域にゼラチンが流入しないようにする。図に作成手順の概略を示す。本研究の手法では気管等の領域の作成が困難であるため、個別作成等の手法も含め、今後の課題である。

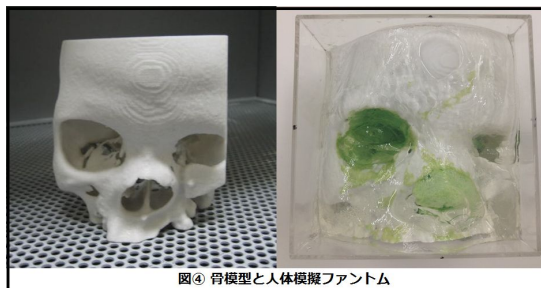


4. 研究成果

(1) 人体模擬ファントム

図は本研究により作成した人体模擬ファントムの写真である。左は3Dプリンタで作成した骨模型で、ウレタンフォームによる空気の造形とゼラチンを流し込んで作成したファントムが右図である。造形データの作成に関しては、アイソセンタ座標とガントリ角をもとにCT画像を編集するソフトウェアを作成しデータを抽出した。作成したファントムは照射野に局限しているため非常に小型で軽量である。そのためガントリに装着しての測定も可能であり、照射角度毎のビーム依存性を含めた治療プランの検証も可能である。

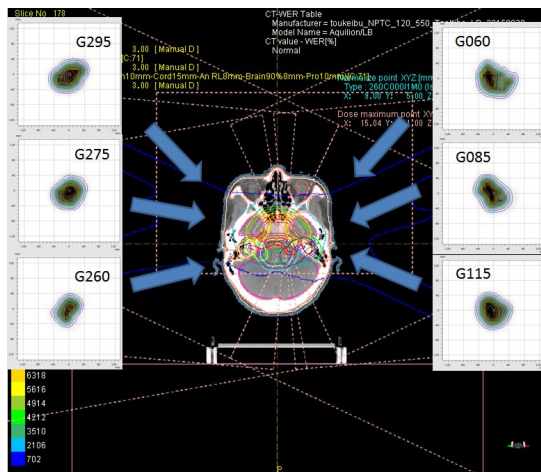
作成したファントムをCTで撮影し、計画CTとの比較を行った。空気と水等価組織との境界領域についてはCTと差がある部分もあり、この部分の製作については改善が必要であるが、骨構造及び体表面については正確に造形出来ていることが確認できた。気管の領域についてはウレタンフォームにより空気に近い低密度の領域を再現出来ていることを確認した。



図④ 骨模型と人体模擬ファントム

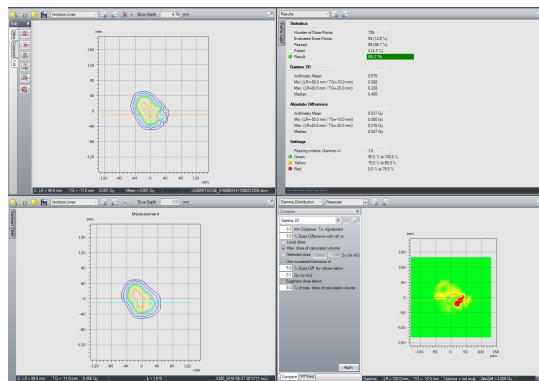
(2) 線量測定による検証

頭部症例において6門の人体模擬ファントムを作成し、線量分布の測定を行った。図は作成に利用した治療計画画像と測定結果の線量分布図である。検出器には2次元検出器(PW社製 OCTAVIUS729xdr)を用い、アイソセンタにて線量分布を測定した。データ解析にはVerisoft(PW社製)を用い解析を行った。



図⑤ 治療計画及び測定線量分布

図にガントリ各85度の結果を示す。左上が治療計画におけるアイソセンタでの線量分布、左下が測定した線量分布になる。右下が解析3mm/3%におけるパスレートであるが、治療計画における線量分布と比較して高線量となった測定点が存在した。これらの点は耳及び外耳道に相当することが分かっており、ファントム作成における体内の空気部分の再現が不十分であったと考えられる。しかし全体としてのパスレートは95.4%と概ね良好であり、本手法により作成した人体模擬ファントムが人体構造を高い精度で再現できることが示された。



図⑥ verisoftによる解析結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

Chihiro Omachi, A study of the patient specific anthropomorphic phantom, 54th Annual Conference of The Particle Therapy Co Operative Group, 2015年5月18日~2015年5月23日、California(United States of America)

大町千尋, 3Dプリンタを利用した患者固有の人体模擬ファントムの作成, 日本粒子線臨床治療研究会, 2014年10月4日「サダメッ鳥栖(佐賀県・鳥栖市)」

Chihiro Omachi, Making the anthropomorphic phantom with 3D printer, 日本医学物理学会, 2014年4月10日~13日「パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)」

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし