

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：22101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24601012

研究課題名(和文)ポリマーゲル線量計評価のための光断層装置およびシステムの開発

研究課題名(英文)Construction of optical CT system for evaluation of polymer gel dosimeters

研究代表者

川村 拓(Kawamura, Hiraku)

茨城県立医療大学・保健医療学部・助教

研究者番号：80424050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：3次元線量計であるポリマーゲル線量計の評価を目的とした光断層装置の作製及び付随するソフトウェアや再構成プログラムからなるシステムの構築を行った。光断層装置は光源としてHe-Neレーザー、検出器に光ダイオードを使用し、光源と検出器の間にゲル線量計を配置し、回転ステージでゲル線量計の角度毎の投影データを取得し、画像再構成により断面像を得るシステムとした。本システムを用いたポリマーゲル線量評価法は、線量計内部の構造を知ることができるため放射線照射位置の特定が可能となり、また従来の評価法と比べて測定時間も短縮可能なことから、3次元線量測定がより効率よく実施できることが判明した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed Optical Computed Tomography(OCT) system for evaluation of polymer gel dosimeters. The OCT system is composed of He-Ne laser for light source, photo diode for detector, and rotate and linear motion stages. The system was scanned with light source. The detector in system was measured permeation light through gel dosimeter from light source. Acquired transmission data per angle was reconstructed using Filtered back-projection method. The reconstructed images of irradiated polymer gels were represented inner structure for tomographic images of irradiated gels. The system is useful for efficient quantitative measurements and high spatial resolution acquisition for evaluation of polymer gel dosimeter.

研究分野：放射線技術学

キーワード：ポリマーゲル線量計 光断層装置 画像再構成

1. 研究開始当初の背景

現在の国民の死因の一位はがんであることにより、がん治療および関連した医療技術開発が求められている。その中で放射線治療は手術療法や化学療法と並び3大治療とされ、がんの治療法において必要不可欠となっている。現在は放射線治療装置の開発・進歩およびコンピューターの高速化により、強度変調放射線治療や陽子線治療をはじめとする高精度放射線治療が可能となっている。高精度放射線治療は従来の放射線治療と比較して、人体のさまざまな方向から放射線を分散して照射することにより、標的である腫瘍に放射線量を集中させ、標的周囲の放射線によってダメージを受けやすい正常組織およびリスク臓器への放射線量を減らすことによって副作用を回避することが可能な治療方法であり、この方法を用いた放射線治療件数は年々増加している。現状の放射線治療法には、標的に照射するための計算は高精度なコンピューターである治療計画装置を用いて行われている。また、高精度放射線治療による治療装置は、コンピューター制御であり、人間によるコンピューターの管理や確認が必要不可欠であることは言うまでもない。実際に標的に線量が集中されているかどうかの検証や保証、確認は人間が線量計などを使用して放射線治療前に行う必要があり、これらが不十分な場合には、放射線量過小および過多などにつながる危険性がある。

放射線治療における線量測定は現在、電離箱線量計が一般的に用いられている。電離箱線量計は精度が高く再現性も良いという利点を持つ反面、決められた1点のみを測定する線量計であるため、平面の線量分布(2次元)や立体の線量分布(3次元)を測定するためには非常に長い時間がかかり実用的ではない。

本研究で使用するポリマーゲル線量計(ゲル線量計)は3次元測定が効率よく実施可能な線量計である。この線量計を用いて臨床における放射線量測定が可能になれば、電離箱線量計を用いた1点測定と同じ時間またはそれ以下で3次元の放射線の線量分布が測定可能となり測定効率が大きく向上する。

ゲル線量計は、水を主成分として、それ以外にメタクリル酸やアクリルアミドなどのモノマー、硫酸銅などの反応触媒、アスコルビン酸などの酸素除去剤からなるゲル状の化学線量計である。ゲル線量計に放射線が照射されると放射線量に応じて重合反応が発生し、放射線照射により発生した重合反応を測定することで放射線量を知ることができる。ゲル線量計の大きな特徴は80%以上の大部分が水で構成されているため、人体組織等価型線量計として使用することができる点である。放射線治療における体内標的に対する放射線量の計算は、骨や肺など特別な臓器を除いて人体を水に置換して行うため、ゲル線量計の線量計算や人体組織物質への換算も電離箱線量計と比較して少なく済ませる

ことができ、計算による誤差も小さいメリットがある。それ以外には、ゲル状であり任意の容器に入れることで種々の形状に作製できるファントム型線量計であるという点が強みである。

しかしながら現状のゲル線量計には、解決すべき課題があり現時点で臨床実用に到達していない。課題が解決できた場合には高精度放射線治療及び立体的な線量測定に欠かせないツールとなりうることが予想される。

本研究では、ゲル線量計評価用の光断層装置を作製し、より高精度に測定可能なツールおよびシステムを構築することを目標として研究を実施する。

2. 研究の目的

ゲル線量計の線量評価法については、MRI装置を用いてスピンスピン緩和速度($R_2 = 1/T_2$)測定することで、放射線照射に伴うゲルの重合変化を定量評価可能となる。この線量評価方法は、他の測定評価法と比較して測定精度が高い利点があるが、欠点として測定時間が長いことやMRI装置に起因する磁場の不均一性による測定精度の低下、温度変化などの測定中の試料の条件変化による測定精度の低下、測定誤差の増加が先行研究にて報告されている。

本研究では、放射線照射に伴ってゲル線量計が視覚的に混濁する変化を利用し、混濁する度合いを定量的に測定可能な光断層(CT)装置の構築およびシステムの開発を実施することを目的とする。

光CTは、測定時間も短縮可能で、十分な投影データを取得することにより高精度な測定が可能と考える。本研究が進むことによって、ゲル線量計の測定精度が向上し、臨床応用または実用化がますます進むことが予想される。

3. 研究の方法

(1) 光断層装置の設計及びシステム構築

光断層システムは、臨床で使用されているX線CTスキャナと同様の装置を考え、設計構築した。以下に装置の構築について説明する。測定対象であるゲル線量計を中心として一方に光源、その対向方向に検出器を配置する。また本研究で構築する光断層システムは光源および検出器がゲル線量計周囲を回転するシステムではなく、光源および検出器を固定し、ゲル線量計を回転台により回転させるシステムを考えた。光源からゲル線量計へ入射した光は、ゲル線量計の白濁度合いによって吸収または散乱、透過する。透過された光は検出器によって検出される。回転しているゲル線量計の透過データはX線CTのような角度毎の投影像の二次元画像であるサイノグラムを作成することが可能であり、サイノグラムに対して逆投影法などの画像再構成を実施することにより3次元画像が得られるような装置を考え設計・製作した。

(2)光断層装置によるゲル線量計評価

線量応答性の評価として、円柱PET容器バイアルにPAGATゲル線量計を入れることで、ゲル線量計サンプルを複数個作製した。本学に設置してある放射線治療装置EXL-15SPを使用し、エネルギー10MVによるX線でそれぞれのゲル線量計サンプルに対して吸収線量1,2,3,4,5Gyを照射した。照射後、光CT装置でデータを収集し、再構成した断面像から関心領域ROIを設定し、ROI内の画素値を測定し、得られた信号値から線量-相対信号値曲線を作成することで、線量応答性評価を実施した。

次に、位置依存性の評価として、片側のみX線照射したゲル線量計サンプル(図3左)を準備し、光CTを用いて、データ収集のちに画像再構成し、得られた断面像が視覚的变化と同様か比較検討した。

(3)MRIによるR₂評価との比較

(2)で検討した線量応答性評価および位置依存性評価について、1.5Tesla MRI(Excelart Vantage)を用いてR₂画像を取得し、本研究で製作した光CTによる断面像と同等か比較検討した。

撮像条件はスピンエコー法、TR4000msec、加算回数5、FOVを192mm×80mm、マトリクス数192×80、スライス厚を5mmと設定した。TEは30msecの場合と250msecの2通り取得し、以下の算出式にしたがって、R₂画像を算出した。

S1、TE1はTE30msecの場合の信号値、エコー時間でS2、TE2はTE250msecの場合の信号値、エコー時間である。

$$R2(x, y) = \frac{\ln\left(\frac{S1(x, y, image1, TE1)}{S2(x, y, image2, TE2)}\right)}{TE2 - TE1}$$

4. 研究成果

(1)光断層装置の設計及びシステム構築

光源としてHe-Neレーザー、検出器として光ダイオード、ゲル線量計を固定および操作する直動ステージ、回転ステージ、ステージコントローラーを準備し、直線状に配置することにより光断層装置を作製した(図1)。装置は左側にHe-Neレーザー、右側に光ダイオード、中央にゲル線量計を一直線状に配置した。その際にゲル線量計自体の形状やゲル線量計を入れているPET製容器の形状や材質によって光が大きく屈折・散乱し、検出器側に到達しないことが判明したため、ゲル線量計の真下に水を入れた水槽を配置し、ゲル線量計周囲を水で囲み、光の光路長をできるだけ一定にし、ゲル線量計および容器を通過した光が検出器に到達するようにした。

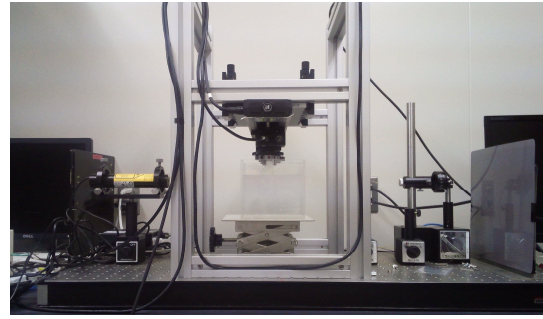


図1. 製作した光断層装置

また、ゲル線量計の断面像取得のためには角度毎の投影データが必要となる。医療用X線CT装置の場合には被写体を固定して光源であるX線管球および検出器を回転させる設計となっている。この場合には装置が大型になってしまうことから、本研究の光断層装置は光源および検出器を固定して、被写体であるゲル線量計を回転させてデータを取得する設計とした。ゲル上部に回転ステージを配置し、チャックでゲル線量計を上から固定する構造とした。さらに、光源のビーム幅および検出器の幅がゲル線量計の直径と比べて小さいため、回転ステージに直動ステージを組み合わせることで、ゲル線量計が左右に移動し、角度毎のゲル線量計の投影データが不足なく収集できるようにした。直動ステージ及び回転ステージはステージコントローラーで制御し、制御用のプログラムも作成した。

次にシステム構築として、検出器側にPCを接続し、ステージ動作と連動しデータ取得が可能ないように設定した。取得した角度毎の投影データは、PC上でフィルタ補正逆投影法を取得する事で画像再構成した。再構成にはハン窓関数を使用した。

(2)光断層装置によるゲル線量計評価

作製した光CT装置およびPAGATゲル線量計を用いて作成した線量応答曲線を図2()に示す。ゲル線量計の吸収線量とともに断面像の画素値が向上した結果となった。

次に、片側のみ照射したゲル線量計サンプル(図3左)のある高さ(図3左 赤線)における光CTによる断面像を図3右上に示す。結果の画像は視覚的な白濁位置とおおよそ一致し、断面像で照射/未照射部分に濃度差を生じた。

(3)MRIによるR₂評価との比較

R₂画像から作成した線量応答曲線を図2()に示す。光CTによる応答曲線よりも、良好な直線関係が得られた。このことから作製した光CT装置における再構成像は、線形性がまだ十分に確保されておらず、データ収集、再構成法等の改良・最適化や装置の改善等の必要性がある事が判明した。

次に片側のみ照射したゲル線量計サンプル(図3左)のR₂像を図3右下に示す。光CTによる

る断層像と同様に半分を境に濃度値が大きく変化する像が得られ、視覚評価及び光CTによる評価と同様の結果を示した。このことから作製した光CT装置の位置依存性は良好であると評価した。

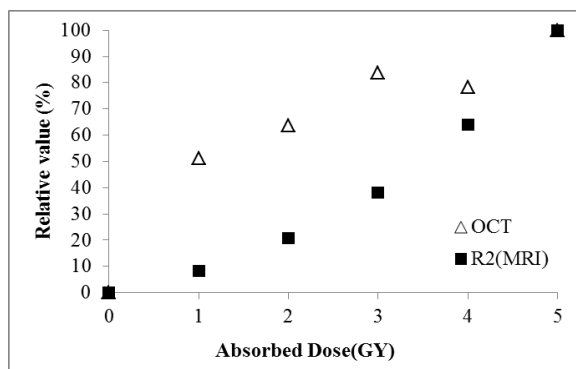


図 2. PAGAT ゲル線量計における光 CT (△) と MRI (■) の線量応答曲線

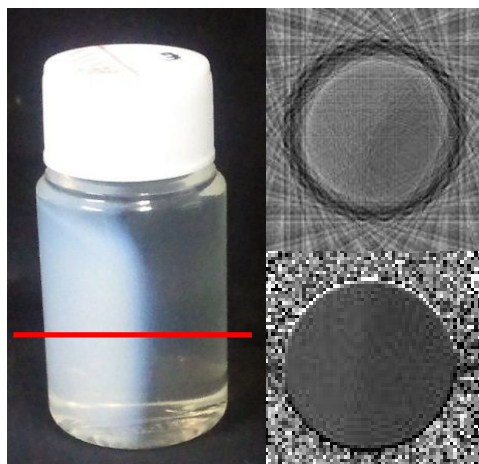


図 3. 片側のみ X 線照射したゲル線量計サンプル(左)および光 CT による断面像(右上)および MRI による R₂ 画像(右下) サンプル上の赤線は断面を示す

まとめとして、ポリマーゲル線量評価用光断層装置を作製し、PC 等接続し再構成アルゴリズムを実装することにより、光断層システムを構築した。放射線量に応じて白濁するポリマーゲル線量計を走査し、得られたデータからフィルタ補正逆投影法により再構成し断層像を取得した。本システムを使用することにより、MRI を用いた評価方法と比べて、効率よく線量評価できることが判明した。位置依存性評価については、視覚的变化、MRI による結果とおおよそ一致した。断層像から取得した線量応答曲線は線量増加とともに上昇の傾向を示したが、MRI による結果に比べて直線性が不良であった。今後さらなる改良が必要である事が判明した。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) 川村拓, 高梨宇宙, 阿部慎司, 佐藤斉. ポリマーゲル線量評価用光学 CT システムの試作. 第 3 回 3 次元ゲル線量計研究会 (名古屋) 2014 年 11 月

(2) 高梨宇宙, 川村拓, 嶋田芳和, 阿部慎司, 佐藤斉, 佐藤裕一. 2 次元センサーを用いた低価格光学 CT 装置の試作. 第 4 回 3 次元ゲル線量計研究会 (東京) 2015 年 11 月

〔その他〕

大学ホームページ内研究者情報欄への学会発表タイトルの掲示

<http://researcher.ipu.ac.jp/cgi-bin/cbdb/db.cgi?page=DBRecord&did=86&qid=334&vid=84&rid=239&Head=&hid=&sid=634&rev=1&ssid=3-2077-814-g21>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川村 拓 (KAWAMURA HIRAKU)
茨城県立医療大学・保健医療学部・助教
研究者番号：80424050

(2) 研究協力者

高梨 宇宙 (TAKANASHI TAKAOKI)
茨城県立医療大学・保健医療学部
・嘱託助手

嶋田 芳和 (SHIMADA YOSHIKAZU)
茨城県立医療大学・保健医療学部
・嘱託助手