

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月18日現在

機関番号：22101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～ 2011

課題番号：22791210

研究課題名（和文） ポリマーゲルを用いた陽子線線量測定

研究課題名（英文） Polymer gel dosimetry in proton beams

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、陽子線線量測定にポリマーゲル線量計を臨床応用することを目的とし、線量評価時の自作プログラム開発およびX線CTを用いたCT値における線量評価方法の検討を行った。従来の線量評価ではデータ点が32点など多点測定で行われてきたが、自作プログラムを用いることで測定点が2点から4点へと変化させた場合に線量評価値が変化しないことが判明し、少ないデータ点でも線量評価が可能でありかつ効率良く実施可能であることが示された。また、ポリマーゲル線量計のCT値による線量評価については薄いスライス厚の設定が可能であり、陽子線の深部線量測定において有効であった。また3次元の詳細なデータ収集が可能となった。一方でスライス厚を薄くしボクセルサイズを小さくするとノイズが増加するという結果も得られた。

研究成果の概要（英文）：Polymer gel dosimetry which utilizes chain polymerization that is proportional to radiation dose is a new three-dimensional (3D) dosimetric tool for quality assurance. The purpose of this study was to carry out dosimetry of polymer gels in clinical proton dosimetry. In this study, we calculated R2 images from two and four acquired MR images using an in-house program. We compared the programmed R2 image from two images with that from four images. The R2 image from two images was same as that from four images. We can use the R2 image from two images for reduction of scan time. And we performed dose reading method using an X-ray CT scanner for proton beam measurements, in which data collection of thin slices is possible. In addition, we constructed 3D images of polymer gels using volume rendering. As a result, through the collection of thin slices, we could acquire more detailed 3D data. However, we found that at thin slice thicknesses and small voxel, the signal to noise ratio (SNR) around voxels deteriorated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：粒子線治療

## 1. 研究開始当初の背景

高度化した医療においてより非侵襲的な医療の実践は、罹患患者の治療中における生活の質の向上(QOL)にも関連して、必須の課題である。

放射線治療は手術療法、化学療法と並びがんの治療法の一つである。この治療法は手術療法と比べて外科的切除がないため非侵襲的であり、分子標的薬などを除く化学療法と比べてより局所的な治療が可能ながん治療法である。しかし、現状では欧米に比較した日本のがん治療における放射線治療の割合は少ない傾向にある。今後放射線治療がより先進的に発展すれば放射線治療の件数や割合は増加すると考えられる。

放射線治療は、体外から放射線を照射する外部放射線治療と放射線同位元素を封入したアプリケータと呼ばれる器具を体内腔に設置して照射を行う内部放射線治療が行われている。外部放射線治療はリニアックを用いた高エネルギーX線による治療が現在主流となっており、高いコンピュータ制御による強度変調放射線治療(Intensity Modulated RadiTherapy, IMRT)が臨床応用されている。この治療法はあらかじめ策定された治療計画に従って人体周囲の様々な方向から放射線照射する技術であり、がん組織などの標的に放射線量を集中することが可能である。また標的周囲に脊髄などの重要臓器が隣接している場合でも放射線量を極力避けて照射することも可能である特徴を有する。

また、外部放射線治療として高エネルギーX線・電子線以外にも粒子線治療が臨床応用されている。粒子線治療は陽子や炭素などを利用した治療法であり、粒子の進行中において生じるブラッグピークと呼ばれる線量集中性を活用し、IMRT同様標的に線量を集中させ、隣接した正常組織・重要臓器に可能な限りダメージを与えない新しい治療法である。

治療計画策定時の放射線の線量分布は標的に合わせて多様な形状となり、照射時には治療計画に基づきコンピュータ制御された放射線治療装置から照射が実施されるが、治療計画時と同様の照射が実施されるかどうかは事前に確認が必要である。

現在の放射線治療において線量分布の確認はフィルムやイメージングプレートを用いて2次的に行われており、中心的な線量の確認は電離箱を用いて1次的に行われているのみである。IMRTや粒子線治療は腫瘍の形状に応じた3次的に不整形な線量分布を作成可能であることから今後3次元線量測定が必要となることは間違いない。そのためには3次元線量測定法や3次元線量測定可能な検出器の開発が必要となる。

本研究で使用するポリマーゲル線量計(ゲ

ル線量計)は有機モノマー、水、ゼラチンからなる線量計であり、80%以上が水で構成されていることから人体組織等価として扱うことができる特徴を有する。また、作製の段階で液体であるために任意の形状に作製可能であるため、必要に応じて3次的に形状を加工することができるファントム一体型線量計である。

ポリマーゲル線量計は放射線量に応じた重合反応が発生する。ポリマーゲル線量計の重合反応は視覚的に白濁するため可視評価が可能であるが客観的評価は困難であるため、より定量的に評価するためにMRIを用いたR2(スピンスピン緩和速度)評価が必要である。

ポリマーゲル線量計を用いた研究は10年以上も前からおこなわれており、少しずつ改良されてきており臨床応用に近づきつつある。本研究では陽子線線量測定にポリマーゲル線量計を用いて線量測定を実施した。

## 2. 研究の目的

本研究では、ポリマーゲル線量計を用いて陽子線線量測定を行い臨床応用実現のための研究を行うことを目的とする。

ポリマーゲル線量計を用いた陽子線線量測定は解決すべき課題がいくつかあり未だ確立していない。本研究によっていくつかの課題が克服されれば臨床応用される可能性が高くなると考えている。

## 3. 研究の方法

ポリマーゲル線量計の線量測定方法として、ゲル作製、陽子線照射、線量評価の手順で行っている。

ゲル作製についてはMGS社製BANG kitを使用した。BANG kitはメタクリル酸、BIDアクリルアミド、水、ゼラチンから構成されるキットで作製過程において酸素除去剤であるアスコルビン酸と調整剤である硫酸銅を加えて調合する。調合後のゲルを酸素のバリア性が比較的高い容器であるPET容器またはガラス容器に入れることで作製した。

陽子線照射については筑波大学陽子線医学利用研究センターにてエネルギー155MeVまたは200MeVの単色陽子線および拡大ブラッグピーク(Spread Out of Bragg Peak, SOBP)陽子線ビームを使用した。線量は校正用曲線作成用として2~10Gy、深部線量曲線測定用として10Gyの線量をポリマーゲル線量計に照射した。

線量評価方法は、従来論文等で報告されているMRIを用いたR2測定法を使用した。使用装置は茨城県立医療大学附属病院にある1.5テスラMRIを使用した。

具体的な研究方法としては

#### (1) MRI を用いた線量評価法における測定点に関する検討

従来の R2 測定法ではエコー時間を変化させた多数データ (海外の論文の報告では 32 エコーなど) を取得し、それらをもとにゲル線量計の R2 値を算出する。多数データの取得をもとに算出した R2 の測定精度は高いが、多数データの取得には時間がかかるという欠点がある。R2 算出には対数がいわれていることから、得られた 2 点のデータをもとに対数近似し、R2 画像を算出するプログラムを作成した。また同様に 3 点、4 点のデータ点から R2 画像を算出するプログラムを作成し、データ点の違いにより測定値に差があるかどうかについて検討した。

#### (2) X 線 CT を用いた CT 値における線量評価法の検討

ポリマーゲル線量計の線量評価法は MRI を用いた R2 による測定法が現時点で多く用いられているが、この方法は測定精度が高い利点を持つ一方で、長い測定時間が必要であることや、スライス厚の設定において制限がある事が現時点での課題である。数 mm 単位での急激な線量勾配を測定するためには 1 ピクセルあたり 1mm 立方のデータが望ましいが、最適な信号対雑音比の観点からは現時点でスライス厚 5mm 程度が必要であり、1 ピクセルあたり 1mm 立方での測定は困難である。

本研究では、X 線 CT 装置を使用してポリマーゲル線量計の CT 値を測定することにより、CT を用いた線量評価法が可能かどうかを検討した。使用装置は茨城県立医療大学附属病院にある 8DAS (Data Acquisition System) CT 装置を使用して 1.2mm スライス厚における陽子線照射後のポリマーゲル線量計の CT 値測定を行い、MRI におけるスライス厚 2mm および 5mm における R2 測定との比較検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) MRI を用いた線量評価法における測定点に関する検討

陽子線ビームを 0, 2, 4, 6, 8, 10Gy と段階的に照射したポリマーゲル線量計に対して、エコー時間を変化させて、2 点・3 点・4 点と変化させて線量評価した場合の線量-R2 校正曲線を図 1 に示す。結果はデータ収集点が 2~4 点と変化した場合のいずれにおいても校正曲線の変化は標準偏差以下となっており、測定点が 2 点であっても十分な精度が得られることを明らかにし、効率良い測定が可能となった。

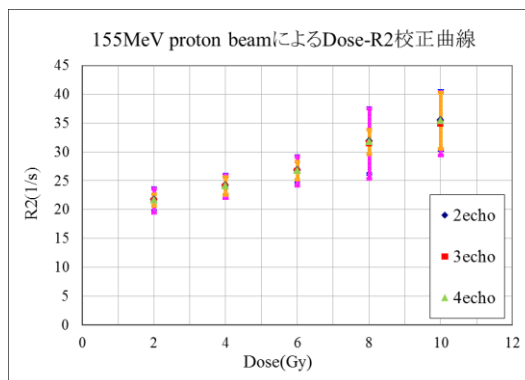


図 1. データ収集点を 2~4 点に変化させた場合のポリマーゲル線量計の線量-R2 曲線

#### (2) X 線 CT を用いた CT 値における線量評価法の検討

陽子線照射したポリマーゲル線量計に対して、X 線 CT を用いた場合と MR での R2 を用いた場合で線量評価に差があるかどうかをポリマーゲル線量計からの深部線量曲線の結果から検討した。1.2mm のスライス厚の CT 測定による深部線量曲線と MR での R2 (スライス厚 5mm) を用いた場合でほぼ差がないことが明らかとなり、CT を用いたポリマーゲル線量計の線量評価法が有効であることが明らかとなった (図 2)。

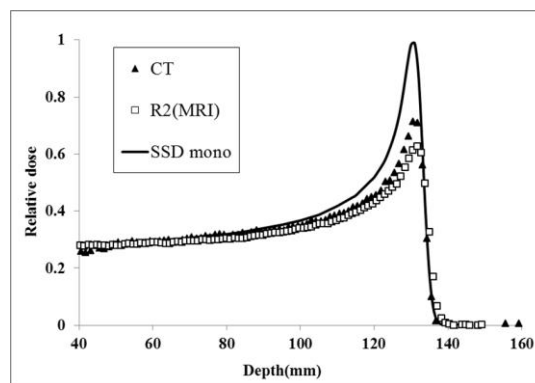


図 2. 陽子線単色ビーム照射におけるポリマーゲル線量計を用いた深部線量曲線

さらに X 線 CT を用いた場合での約 1mm 立方程度のデータからボリュームレンダリング技術を用いることによりデータの 3 次元可視化が可能となった (図 3、図 4)。しかし X 線 CT を用いた線量評価方法ではスライス厚を 2mm 以下に薄くすることが可能であるが、CT 値による線量差は小さいために MR 装置での R2 を用いた方法よりも得られる線量のデータにノイズが多く含まれることが明らかになった。したがってポリマーゲル線量計の陽子線線量測定における X 線 CT を用いた線量

評価法については今後ノイズ低減の検討が必要であり、フィルタ処理などによるノイズ除去の検討を行う必要性が判明した。

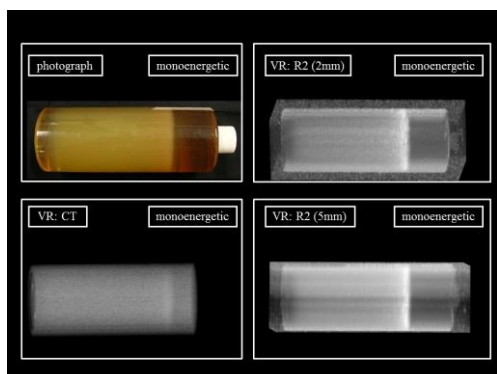


図 3. 陽子線単色ビーム照射後のポリマーゲル線量計(左上)、およびボリュームレンダリング技術を用いた 3 次元表示による立体図(左下: CT を用いた表示、右上: R2(スライス厚 2mm)を用いた表示、右下: R2(スライス厚 5mm)を用いた表示)

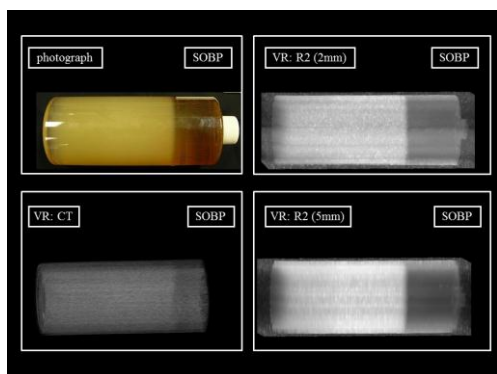


図 4. 陽子線 SOBP ビーム照射後のポリマーゲル線量計(左上)、およびボリュームレンダリング技術を用いた 3 次元表示による立体図(左下: CT を用いた表示、右上: R2(スライス厚 2mm)を用いた表示、右下: R2(スライス厚 5mm)を用いた表示)

## 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)

[学会発表] (計 4 件)

(1) 川村拓 他、ポリマーゲルの線量評価に関する光学的簡易測定法の検討、日本放射線技術学会(第 39 回秋季学術大会)2011 年 10 月 29 日

(2) Hiraku kawamura et al. Polymer gel dosimetry using R1 and R2 in proton beams. The 6<sup>th</sup> Japan-Korea joint meeting on medical physics

and the 11<sup>th</sup> Asia-Oceania congress of medical physics) September, 2011, Fukuoka

(3) Hiraku kawamura et al. Polymer gel dosimetry using R1 and R2 in proton beams. 1st International Meeting of Medical Olympic Association, September, 2011

(4) 川村拓 他、ImageJ を用いたポリマーゲル線量計評価についての R2 計算プログラムの開発、日本放射線技術学会(第 67 回総合学術大会)

[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/cbd/b/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