

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：22101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K08699

研究課題名(和文) ボーラス型ゲル線量計を用いた乳房放射線治療に関する研究

研究課題名(英文) A study on effective utilization of a bolus-type polymer gel for tangential whole-breast irradiation

研究代表者

藤崎 達也 (Fujisaki, Tatsuya)

茨城県立医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：00285058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、乳房接線照射において皮膚表面近傍の線量低下を補償するために、ポリマーゲル線量計をボーラス材として利用するとともに、治療計画装置では困難なビルドアップ領域の線量評価が可能なボーラス型ゲル線量計の開発を行うことである。ボーラス形状のポリマーゲルは、寒天を添加して形状を安定させ、酸素阻害を避けるためにビニルフィルムに封入して製造することができた。また、モンテカルロシミュレーションによってゲルボーラスを配置することで表面付近の線量分布が改善されることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a bolus-type polymer gel dosimeter that can accurately determine dosimetry in buildup region, which provide uniform dose distribution to the whole breast in tangential whole-breast irradiation. The bolus shaped polymer gel was manufactured by adding agar as a gelling agent and then enclosed in a vinyl film to avoid inhibition of polymerization by oxygen. We also confirmed that by arranging gel bolus by Monte Carlo simulation, the dose distribution near the surface was improved.

研究分野：医学物理学・放射線技術学

キーワード：乳房放射線治療 ボーラス ポリマーゲル線量計 線量分布 モンテカルロシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

乳房放射線治療は手術後の乳房または胸壁全体を標的体積として、均一な線量分布で放射線を照射することが重要である。しかし、単純な接線対向2門照射では広範囲にわたる乳房厚や胸壁の不均一およびビルドアップ効果によって標的体積内に均一な線量分布を得ることは難しい。臨床ではポーラスと呼ばれる水等価物質を皮膚表面に密着させることで皮膚表面近傍の線量低下の補償に利用されているが、皮膚表面近傍の線量計算は臨床に普及している治療計画装置では困難であり、乳房放射線治療のような広範囲の皮膚表面近傍を3次的に線量評価できる新しいツールが必要となる。3次元線量計測ツールとして化学線量計の一種であるポリマーゲル線量計が知られているが、ポリマーゲル線量計は水等価物質であるものの放射線照射によって誘起されるラジカル重合反応が酸素阻害を受けるためPETなどの封入容器内の有限な3次元線量評価となる報告がほとんどである。これらの容器では形状が変化せず、自由な形状を作製できない問題や任意形状に合わせた線量計測が行えない問題がある。

3次元線量分布をデータの欠損なく実測可能なポリマーゲル線量計をフィルム等に封入することにより形状の自由度を高めるとともに、容器の支えなしに形状を維持する形状保持性の高いポリマーゲル線量計を作製する必要がある。

2. 研究の目的

ポリマーゲル線量計を皮膚表面近傍の線量補償のポーラスとして利用するとともに、臨床普及の治療計画装置では困難なビルドアップ領域の線量評価を行えるポーラス型ゲル線量計の開発を行う。そして、ポーラス型ゲル線量計を乳房接線照射に使用したときの皮膚表面近傍の線量分布の改善を確認し、皮膚表面近傍の線量評価ツールとしての有用性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ポーラス型ゲル線量計の作製

市販されているBANG-kitおよびMAGAT (Methacrylic Acid、Gelatin And THPC)タイプをベースとして自作ポリマーゲルを作製した。次に、ポリマーゲルの酸素阻害を解決するためビニルフィルム(タマポリ社、マルチトロンシリーズ 酸素不透過シート)を用いてポーラスとして構築した。そして、ポリマーゲルをポーラスとして使用するために、照度計などを用いた透明性の評価、および乳房へのポーラス材として直径16cmの円柱側面に配置して形状適合性を評価した。また、シート状から立方体までの形状のポリマーゲルで作製し、ポーラスとしての使用できるようにした。

作製したポーラス型ゲル線量計を用いて、線量を測定するための校正曲線を作成した。15×15×1 cm³のシート状のポーラス型ゲル

線量計を作製し、ELEKTA社製ライナック(Synergy)からの10 MV X線を照射した。シート状の検出器であるため、SSD=100 cm、A₀=5×5 cm²として、14 Gyまでの2 Gyずつ段階で照射した。重合反応の読み取りには東芝社製1.5 T MRI装置(Excelart Vantage)を使用した。スピンエコー法にて、ヘッドコイルを使用してTR=4000 ms、TE1=30 ms、TE2=60 ms、スライス厚0.3 cm、加算回数1、マトリックス数96×96とした。得られた画像は画像処理ソフトウェアImageJにて読み込みR₂を求め、吸収線量-R₂校正曲線を作成した。ROIの大きさは実測に使用した電離箱線量計をもとに0.4×0.4 cm²、スライス厚0.3 cmとした。

(2) ポーラス型ゲル線量計による線量計測

ポーラス型ゲル線量計としての線量特性およびポーラス型ゲル線量計を乳房接線照射に使用したときの皮膚表面近傍の線量分布評価を行った。ポーラスを含む皮膚表面近傍の線量分布は非電子平衡であるビルドアップ領域となるため、この領域の線量計算が可能なモンテカルロシミュレーションによってポーラスの有無による線量分布の評価を行った。ポーラスはEGSnrcMPを用いて反応断面積データを計算してDOSXYZnrcで使用できるようにした。また、乳房接線対向2門照射を想定したPTVを設定し、ポーラス型ゲル線量計の有無による線量分布を評価するとともに、DVHによって3次元線量分布を評価した。図1には乳房接線対向2門照射のモンテカルロシミュレーションを行ったファントムの模式図を示す。

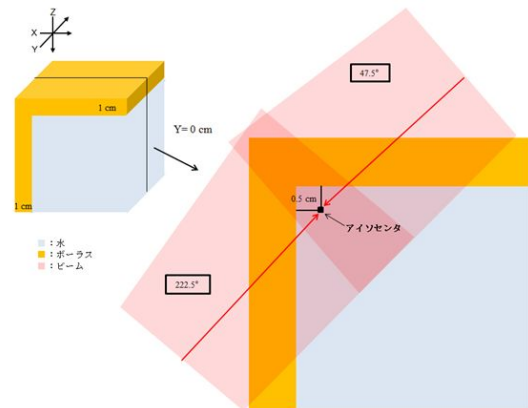


図1 モンテカルロシミュレーションの幾何学的配置

4. 研究成果

(1) ポーラス型ゲル線量計の作製

図2に自作したシート状のポリマーゲル線量計を示す。ポリマーゲル線量計は4辺長さや厚さを均一に作製することができた。市販のポリマーゲルと自作ポリマーゲルとの比較では、水との相対電子濃度は各々1.02と1.04でありほとんど変わらなかった。実効原

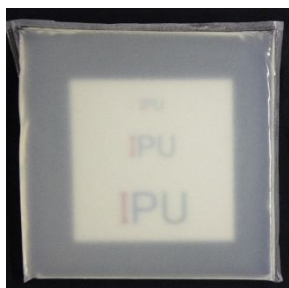
子番号は水、市販のポラスおよびポリマーゲルで各々7.51、6.82 および 7.32 であり、酸素含有割合は各々88.8 wt.%、25.2 wt.% および 73.6 wt.%であることから、市販のポラスより水等価性に優れていた。自作ポリマーゲルの硬度は、市販のMAGAT ポリマーゲル線量計に比較して 0 で 22.5%、5 ~25 で 36.4~44.3%硬いことが示されたが照度計を用いた光の透過性による透明性では、自作ポリマーゲル線量計は市販の 33.2%であり、色や文字をポラス下に置いたところ小さな文字がぼやけて見えた。

図3には自作したシート状のポリマーゲル線量計の性と形状適合性を示す。これらより、自作ポリマーゲル線量計は、硬度は向上する反面、透明性は低下するがポラスとして使用できることが示された。さらに、図4には10 cm×10 cm×10 cm の立方体で作製したポラス型ゲル線量計を示す。上部の白濁はX線照射により視覚的に確認したものである。作製から線量の読み取りまで自重で潰れることなく形状を維持していることが示された。

また、図5は自作したポラス型ポリマーゲル線量計の吸収線量-R2 校正曲線を示す。近似直線の決定係数 R^2 は 0.9871 であり、0~14 Gy の間で線形性が見られた。ポラス型ポリマーゲル線量計の線量特性は、従来から用いられているPET容器の特性曲線と同様であり、線量計測器としての機能が保持されていることが示された。これまで酸素を通しにくいガラス容器やPETによる特性曲線は1本毎に照射して取得していたが、本研究によってシート状のポリマーゲル線量計1枚で特性曲線を取得することができた。



(上) 外観



(下) 透明性

図2 シート状自作ポリマーゲル線量計

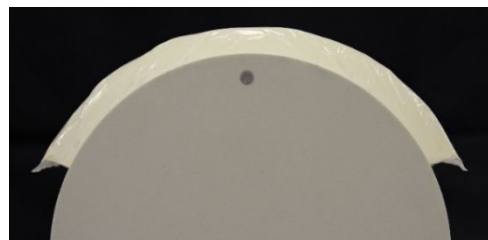


図3 自作ポリマーゲル線量計の形状適合性



図4 立方体のポラス型ゲル線量計

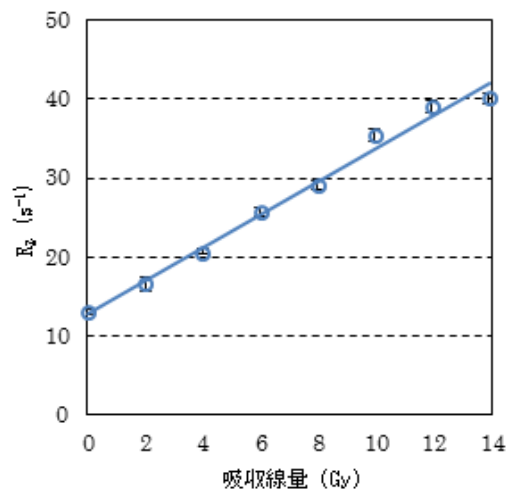


図5 吸収線量-R2 校正曲線

(2) ポラス型ゲル線量計による線量計測

図6はモンテカルロシミュレーションによるPTVに対して、横軸にPTVに投与された相対線量、縦軸にPTVの正規化体積で表したDVHを示す。臨床での線量決定に重要となるD95% (PTV体積の95%をカバーする線量)は、ポラス有はポラス無に比較して30%程度改善しており、乳房接線対向2門照射のように広い表在性の照射に対してポラスの有効性が明らかとなった。

我々の開発したポラス型ゲル線量計は、直接人体表面に配置して放射線治療を行う事により皮膚表面線量分布の改善を得られ

るとともに線量評価ツールとしても臨床利用が期待できるものと考えられた。

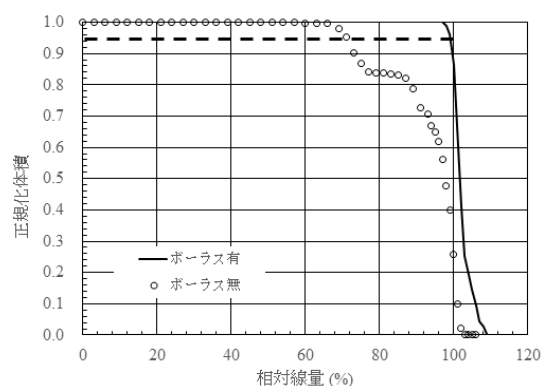


図6 乳房接線照射の線量体積ヒストグラム (DVH)

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1件)

Fuse H, Shinoda K, Inohira M, Kawamura K, Miyamoto K, Sakae T, Fujisaki T. Utilization of polymer gel as a bolus compensator and a dosimeter in the near-surface buildup region for breast-conserving therapy. Review of Scientific Instruments. 86: 1-5, 2015, DOI: 10.1063/1.4930554.

査読あり

[学会発表](計11件)

Shinoda K, Fuse H, Kato Y, Kawamura H, Fujisaki T, Miyamoto K. Effect of the enclosing material thickness on MRI signal of the sheet-type polymer gel dosimeter. 第110回日本医学物理学会, 2015.09.18, 札幌

大山 哲史, 布施 拓, 伊東 翔太郎, 佐藤 智亮, 安江 憲治, 阿部 慎司, 藤崎 達也, 自作ポリマーゲル線量計の基礎的検討、第45回日本放射線技術学会秋季学術大会、2017.10.19、広島

佐藤 智亮, 布施 拓, 安江 憲治, 大山 哲史, 伊東 翔太郎, 小林 洋輝, 石井 麻希, 藤崎 達也, モンテカルロシミュレーションによる自作ポリマーゲル線量計の検討、第45回日本放射線技術学会秋季学術大会、2017.10.19、広島

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤崎 達也 (FUJISAKI, Tatsuya)
茨城県立医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号：00285058

(2)研究分担者

阿部 慎司 (ABE, Shinji)
茨城県立医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号：00274978

布施 拓 (FUSE, Hiraku)
茨城県立医療大学・保健医療学部・助教
研究者番号：10712648