

## ○令和6年度奨励研究

### 「新しい放射線量測定用ポリマーゲル線量計の開発」

保健医療学部 放射線技術科学科 助教 郡 倫一

#### 1. 研究目的

近年、線量精度や位置精度の高い検証方法が要求されており、その検証方法の一つとして、複雑な3次元線量分布を正確に評価できるポリマーゲル線量計が使用されている<sup>1)</sup>。このポリマーゲル線量計は、照射された放射線量が多いほど、多くの高分子ポリマーが形成され、形成された高分子ポリマーは白濁することで、物理的密度やプロトンのスピン緩和時間に変化を与える。この変化量をmagnetic resonance imaging (MRI)で算出される $R_2$ 値 ( $T_2$ 値の逆数)を使用し、吸収線量を求めることが可能である<sup>2)</sup>。この $R_2$ 値は、MRIの撮像条件である加算回数を増やして信号雑音比を向上させると、ばらつきが少なく、また再現性良く計測できることが報告されている。しかし、ポリマーゲル線量計を長時間撮像すると、温度変化により線量計内のゼラチンが離水し、線量の3次元的位置情報が失われてしまう。そのため、MRIの撮像時間の延長によるは避けるべきである<sup>3)</sup>。短時間で撮像するためには、repetition time (TR)の短縮や加算回数の減少、パラレルイメージングの使用などの方法が考えられるが、これらの方法では、信号雑音比は低下し、 $T_2$ 値の測定が不正確になってしまう可能性があり、避けるべきである。そこで、撮像時間の延長がなく、画像の信号雑音比を向上させる方法として、ポリマーゲル線量計にMRI用造影剤を添加する方法を考案した。しかし、MRI用造影剤を添加すると $T_2$ 値も低下するため測定精度への影響が懸念される。そこで本研究の目的はポリマーゲル線量計ファントムにMRI用造影剤を添加した場合の $R_2$ 値への影響を明らかにすることである。

#### 2. 研究方法

##### 2-1 ポリマーゲル線量計の作製方法

PAG 系線量計であるPAGAT線量計を作成し、MRI用造影剤であるガドブトロール (ガドビスト、バイエル薬品)を加えないものと、0.1, 0.5, 1.0 mmol/Lを加えたものの計4種類のポリマーゲル線量計を作製した。

##### 2-2 放射線の照射方法

リニアック (Synergy; Elekta, Stockholm, Sweden) を使用して、 $15 \times 15 \text{ cm}^2$ の照射野に6 MVのX線を500 MU/minの線量率で、ガントリー角度は対向二門照射、中心線量 ( $D_{\text{center}}$ ) が2, 5, 10, 20 Gyで照射したものと照射しないものの全5種類のポリマーゲル線量計を作成した。

##### 2-3 ポリマーゲル線量計の $R_2$ 値の算出方法

3.0 T MRI装置 (MAGNETOM Lumina 3.0 T, Siemens Healthcare) を使用し、撮像シーケンス : multi echo spin-echo法, エコー時間 (TE) : 10.9-196.2 ms (18エコー), フリップ角-リフォーカスフリップ角: 90-180°, スライス厚 : 5.0 mm, field of view :  $300 \times 300 \text{ mm}$ , 面内分解能 :  $256 \times 256$ , スライス厚 : 5.0 mm, 加算回数 : 1, 受信バンド幅 : 60 Hz/pixelで撮像し、画像を取得した。取得した画像から $T_2$ 値を計測し、式 (1) を使用して $R_2$ 値を算出した。その際、180°パルスの不正確さが偶数エコーで補正されるため、 $R_2$ 値の算出には、偶数番エコーのみを使用した。

$$R_2 = \frac{1}{T_2} = -\frac{1}{\text{slope} \times 2.303} \dots (1)$$

ここで、slopeは各TEから得られた傾きの信号強度である。得られた $R_2$ 値から各TR (1000から10000 ms)での $\Delta R_2$ 値は式 (2) を使用して算出した。

$$\Delta R_2 = R_2(D) - R_2(D=0) \dots (2)$$

ここで、 $R_2(D)$ は任意の吸収線量Dを照射したボトルの $R_2$ 値、 $R_2(D=0)$ は未照射ボトルの $R_2$ 値である。

##### 2-4 TR の変化による $\Delta R_2$ 値への影響

TRを1000, 3000, 4000, 10000 msに変更して $\Delta R_2$ 値を算出し、TRが10000 msの場合との比である $\Delta R_2$  ratioを算出した。

### 2-5 造影剤濃度変化による線量応答への影響

TRを10000 ms固定とした場合の各造影剤濃度での線量応答 ( $\text{Gy}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) を算出し、造影剤濃度が0 mmol/Lの線量応答との比を算出した。

## 3. 研究結果

### 2-1 TR の変化による $\Delta R_2$ 値への影響

TRの変化による  $\Delta R_2$  値への影響を図1から4に示す。TRを短く設定した場合、造影剤濃度を添加していない (0.0 mmol/L) 場合かつ照射線量が少ない場合で  $\Delta R_2$  ratio が大きくなった。また、造影剤を添加した場合には  $\Delta R_2$  ratio はほぼ1.0を示した。また、照射線量が少ない場合で  $\Delta R_2$  ratio は1.0から離れた。

### 2-2 造影剤濃度変化による線量応答への影響

0.0 mmol/Lと比較して、0.1, 0.5, 1.0 mmol/Lでの線量応答は1.14, 1.56, 2.54を示し、造影剤の添加により線量応答は上昇した。

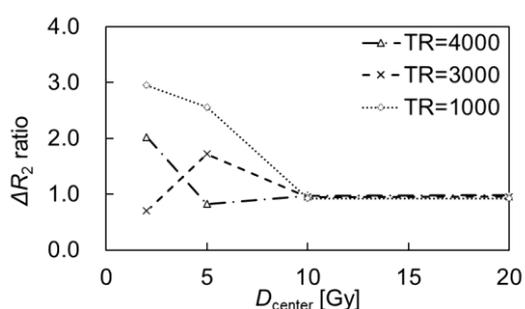


図1 0.0 mmol/LにおけるTRと  $\Delta R_2$  値の変化

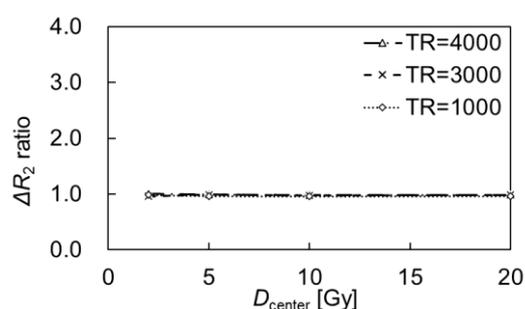


図3 0.5 mmol/LにおけるTRと  $\Delta R_2$  値の変化

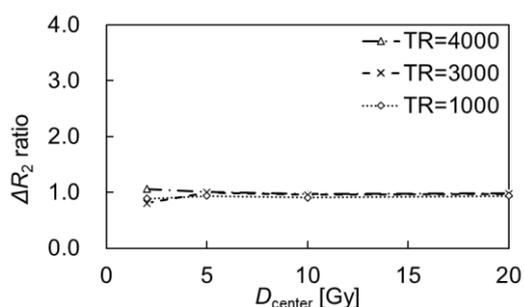


図2 0.1 mmol/LにおけるTRと  $\Delta R_2$  値の変化

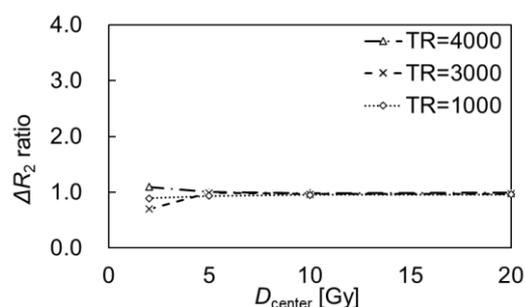


図4 1.0 mmol/LにおけるTRと  $\Delta R_2$  値の変化

## 4. 結論

ポリマーゲル線量計にMRI造影剤を添加することにより、線量応答性を改善することができる。また、造影剤を添加することで、TRを短縮することが可能となり、撮像時間を短縮することができる。

## 5. 成果の発表 (学会・論文等, 予定を含む)

学会発表：第1回日本放射線医療技術学術大会(第52回日本放射線技術学会秋季学術大会)

論文投稿：Physica Medicaに論文投稿予定

## 6. 参考文献

- 1) Baldock C, De Deene Y, Doran S, Ibbott G, Jirasek A, Lepage M, McAuley KB, Oldham M, Schreiner LJ. Polymer gel dosimetry. Phys Med Biol. 2010;55(5):R1-63.
- 2) Vandecasteele J, De Deene Y. Evaluation of radiochromic gel dosimetry and polymer gel dosimetry in a clinical dose verification. Phys Med Biol. 2013;58(18):6241-62.
- 3) Spevacek V, Novotny J, Dvorak P, et al. Temperature dependence of polymer-gel dosimeter nuclear magnetic resonance response. Med Phys 2001; 28(11): 2370-2378.