

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：24303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K07639

研究課題名（和文）3次元ポリマーゲル線量計を利用した高線量率小線源治療の品質保証の開発

研究課題名（英文）Development of quality assurance of high dose rate brachytherapy using 3D polymer gel dosimeter

研究代表者

武中 正（Takenaka, Tadashi）

京都府立医科大学・医学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：80626771

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：耐酸素透過性の高いガラス製容器を使用したファントムと専用ガラスアプリーケータを新規開発した。開発したガラスアプリーケータに4frラウンドニードルの樹脂製アプリーケータを挿入して照射を行った。解析は専用ソフトウェアを使用する。結論として、耐酸素透過性の高いガラス製ファントムとガラスアプリーケータを使用することで、3次元ポリマーゲル線量計の欠点である酸化を減少させることができた。さらに専用ソフトウェアを使用することで照射計画と線量分布の実測解析が可能となった。本研究は、3次元ポリマーゲル線量計を高精度小線源治療の品質保証に利用できることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義や社会的意義として3次元ポリマーゲル線量計の欠点でもある酸化に対して耐酸素透過性のある材質の一つであるガラス素材をファントム容器に使用することで、酸化を減少させ3次元ポリマーゲル線量計の取り扱いが簡単になった。また専用解析ソフトを使用することでガンマ解析も可能となり3次元ポリマーゲル線量計を高精度小線源治療の品質保証に利用できることが示唆されたことなどが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：A new phantom and dedicated glass applicator were developed using a glass container with high oxygen permeability. Irradiation was performed by inserting a 4fr round needle resin applicator into the developed glass applicator. Analysis was performed using dedicated software. In conclusion, the use of a highly oxygen-permeable glass phantom and glass applicator reduced the oxidation that is a drawback of the 3D polymer gel dosimeter. Furthermore, the use of dedicated software made it possible to analyze the irradiation plan and measured dose distribution. This study suggests that the 3D polymer gel dosimeter can be used for quality assurance in high-precision brachytherapy.

研究分野：放射線治療学

キーワード：高線量率密封小線源治療 HDR 3次元ポリマーゲル線量計 品質保証 組織内照射

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高線量率小線源治療は二次元治療計画から X 線 CT による画像誘導 3 次元治療計画に発展した。さらに我々はプラスチック製アプリケータを用いることによって MRI 撮影を可能とし、より高精密な小線源治療を開発してきた。しかし治療期間中のアプリケータ偏位が線量分布を変化させ、副作用を増やし、局所の再発をもたらす危険性がある。また、これまでの治療計画装置では、骨、空気、軟部組織など密度の違いを治療計画に反映(不均質補正)ができなかったため、全体を水等価で計算していた。本研究の目的は、連続的な線量分布を直接測定することができる 3 次元ポリマーゲル線量計を導入して、アプリケータ偏位による線量分布の変化を実測解析し、さらに不均質補正が可能な新世代治療計画装置を用いて、より正確な高精度小線源治療の品質保証を行うことである。

### 2. 研究の目的

治療期間中に起こるアプリケータの偏位が線量分布の変化を来し、副作用の出現だけでなく局所再発を起こす危険性がある。また、今まで全体を水等価として計算していたため、骨や空気、軟部組織など密度の違いを治療計画に反映(不均質補正)する事ができず、治療計画と実測が乖離する事が問題であった。これらの問題を解決するには、3 次元ポリマーゲル線量計を導入し偏位するアプリケータによる線量分布の変化と不均質による線量分布の変化を合わせて明らかにする必要がある。

本研究の目的は、3 次元ポリマーゲル線量計を導入して、アプリケータ偏位による線量分布の変化を実測解析する。さらに、不均質補正が可能な新世代治療計画装置を用いて、より正確な高精度小線源治療の品質保証を行うことである。アプリケータ近傍の高線量域は、線量勾配が急峻であり電離箱線量計による「点」での実測は困難であった。そこで、3 次元ポリマーゲルを用いた体積評価を導入し、プラスチック製アプリケータの偏位を加味した線量分布の測定を考案した。このような取り組みはこれまでに報告がなく、我々独自の発想によるものである。また、高線量率小線源治療でも不均質補正が可能な治療計画装置が開発されたため、国内では初めての導入を企図した。

### 3. 研究の方法

市販の亚克力製の箱を使用して 3 次元ポリマーゲル線量計を作成していたが、製作直後に 3 次元ポリマーゲル線量計の濁りの発生(fig. 1)や、放射線照射後の重合反応の不安定さ(fig. 2)の対策に苦慮した。この原因は 3 次元ポリマーゲル線量計の作成時に発生する気泡による酸化と、亚克力容器と、照射に使用している樹脂製アプリケータから酸素の透過による酸化を疑った。

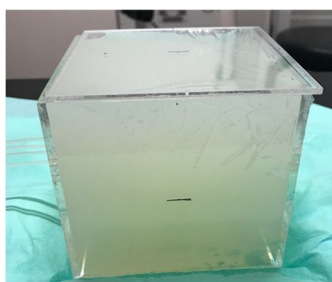


fig. 1 ゲルの濁り発生

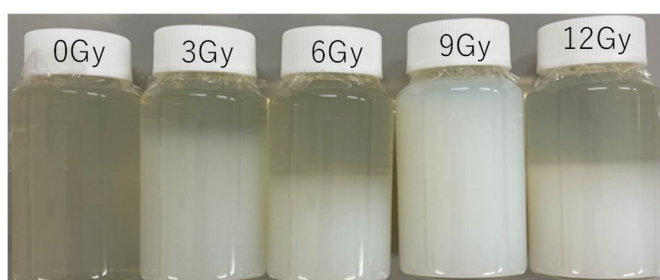


fig. 2 放射線照射後の重合反応の不安定

3 次元ポリマーゲル線量計の製作手順の見直しを行った。また酸化を最小限に抑えるためファントム容器とアプリケータを耐酸素透過性のある材質を選定した。さらに、実際の組織内照射におけるアプリケータの配置を模倣できるように治具を作成した。また、照射装置との接続が可能で安全に照射を行うために、治療装置のメーカーが提供する製品を使用可能な事を条件とした。

### 4. 研究成果

耐酸素透過性の高いガラス製のファントム容器を開発した。容器の材質はソーダライムガラス。蓋はメタクリル樹脂でパッキングが付いている。容量は 800ml、胴径 102mm×140mm の容器(fig. 3)である。材質がガラスであるため耐熱温度が 100°C であり、使用後に加温することも可能である。使用後のゲル線量計材料も比較的簡単に取り出しが可能であった。また円柱型であるため洗浄しやすく、繰り返し利用が可能であった。照射装置との接続は、3 次元ポリマーゲル線量計への照射用にガラス管を加工した専用ガラスアプリケータを新規に開発した。



fig. 3 ガラス容器

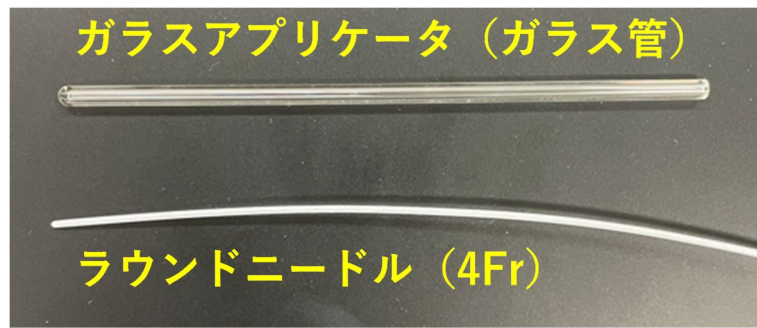


fig. 4 専用ガラスアプリータと 4fr ラウンドニードル

ガラスアプリータは直径 4mm、内径 1.6mm、長さ 130mm とした。照射時に臨床で使用している 4fr ラウンドニードル(fig. 4)(外径 1.3mm、長さ 240mm)を特注ガラスアプリータの内腔に挿入して照射を行なった(fig. 5)。

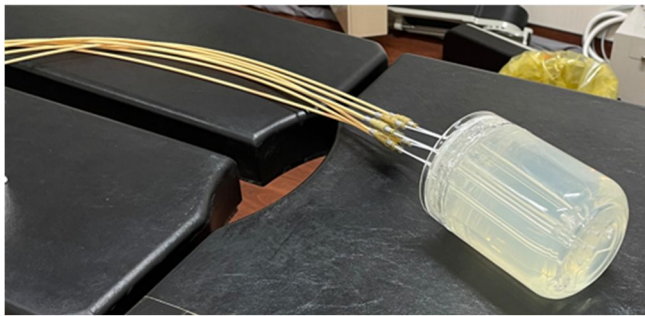


fig. 5 ガラスアプリータ 7 本、6Gy/1fr、パリ法に準拠した照射計画で照射した



fig. 6 6Gy 照射後

照射は RALS メーカーから発売されている 4fr ラウンドニードルを使用しているため、通常使用時と同じ安全管理下、照射が可能であった。アプリータの配置は 7 本とし、臨床使用時の組織内照射を模擬した照射計画ができるように専用道具のデザインを行なった。照射後 (fig. 6) に専用ソフトウェアで解析を行なった(fig. 7)

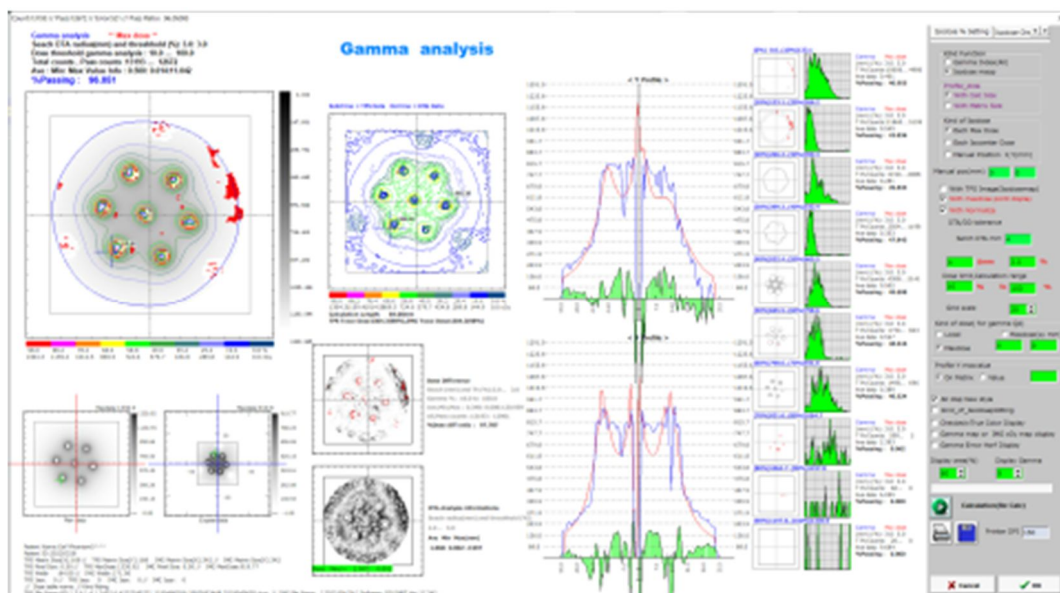


fig. 7 専用ソフトウェア使用した解析

専用ソフトウェアのガンマ解析結果は DTA/DD tolerance を 3mm、3%の設定で 96%の合格であった。

結論として、耐酸素透過性の高いガラス製のファントム容器とガラスアプリータを使用することで、3次元ポリマーゲル線量計の欠点である酸化による濁りを減少させることができた。さらに専用ソフトウェアを使用することで照射計画と線量分布の実測解析が可能となった。本研究は、3次元ポリマーゲル線量計を高精度小線源治療の品質保証に利用できることを示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 武中 正	4. 巻 78
2. 論文標題 画像誘導小線源治療からみえてきた放射線治療計画への注意点	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本放射線技術学会誌 教育講座	6. 最初と最後の頁 1217-1223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takenaka Tadashi, Yamazaki Hideya, Suzuki Gen, Masui Koji, Shimizu Daisuke, Kotsuma Tadayuki, Tanaka Eiichi, Yoshida Ken, Yamada Kei	4. 巻 15
2. 論文標題 Initial tumor volume as an important predictor for indication of intra-cavitary brachytherapy, intra-cavitary/interstitial brachytherapy, and multi-catheter sole interstitial brachytherapy in cervical cancer patients treated with chemoradiotherapy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Contemporary Brachytherapy	6. 最初と最後の頁 191 ~ 197
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5114/jcb.2023.128895	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 武中 正
2. 発表標題 3次元ポリマーゲル線量計を利用した高線量率組織内照射用のファントムの開発
3. 学会等名 第11回 3次元(3D)ゲル線量計研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武中 正
2. 発表標題 高線量率RALS線源用3次元ゲル線量計校正ファントムの開発
3. 学会等名 第8回 3次元ゲル線量計研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山崎 秀哉 (Yamazaki Hideya)  (50301263)	京都府立医科大学・医学(系)研究科(研究院)・教授  (24303)	
研究分担者	鈴木 弦 (Suzuki Gen)  (80279182)	京都府立医科大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授  (24303)	
研究分担者	増井 浩二 (Masui Kouji)  (20783830)	京都府立医科大学・医学(系)研究科(研究院)・助教  (24303)	
研究分担者	吉田 謙 (Yoshida Ken)  (10463291)	関西医科大学・医学部・准教授  (34417)	
研究分担者	秋山 広徳 (Akiyama Hironori)  (20448111)	大阪歯科大学・歯学部・准教授  (34408)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------