

令和 4 年 5 月 11 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K15620

研究課題名（和文）子宮頸癌放射線治療のための新たな強度変調腔内照射用アプリケータの開発

研究課題名（英文）Development of a new Intracavitary brachytherapy applicator for cervical cancer patients

研究代表者

宮坂 友侑也（Miyasaka, Yuya）

山形大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：90812884

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：小線源治療用の線量分布を任意の形状に作成するための新たな子宮頸がん腔内照射用アプリケータの開発を行った。このためにアプリケータ内に線量調整用の遮蔽体を作成し、これにより線量を調整する方法を提案した。まず、シミュレーションにより最適な遮蔽体の素材をおよび線源設置用の溝の数について検討した。その結果、素材はタングステン、溝の数は5個から6個程度が最適であると明らかになった。続いてシミュレーションをもとに遮蔽体のプロトタイプを作成とこれを用いた線量測定実験を実施した。この結果、遮蔽体プロトタイプはシミュレーションと同等であることがわかり、アプリケータの開発ができたと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たなアプリケータ作成のためのシミュレーションおよびシミュレーションに基づいたプロトタイプの作成と線量測定実験を実施した。シミュレーションにおいては小線源治療で要求される数cm程度の領域内で線量分布の変調が可能かを調査し、素材及び構造を調整することにより実現可能であることが明らかになった。プロトタイプを作成においてはシミュレーションで検討したものと同等の構造を十分な精度と強度で作成可能であることを明らかにできた。線量測定実験においては結果がシミュレーションと同等の結果となったことから、シミュレーションをもとにさらなる検討を進めることの妥当性を証明することができた。

研究成果の概要（英文）：We developed a new applicator for intracavitary irradiation of cervical cancer to create an arbitrary shape of dose distribution for brachytherapy. For this purpose, we proposed a method of adjusting the dose by creating a shielding material inside the applicator. First, the optimal shielding material and the number of grooves for source placement were investigated by simulation. As a result, it was found that tungsten material and five to six grooves were optimal. Based on the simulation results, a prototype of the shielding was fabricated and dosimetry experiments were conducted using it. As a result, it was found that the shielding ability of the prototype shielding was equivalent to that of the simulation, and it was considered that the applicator could be developed.

研究分野：医学物理学

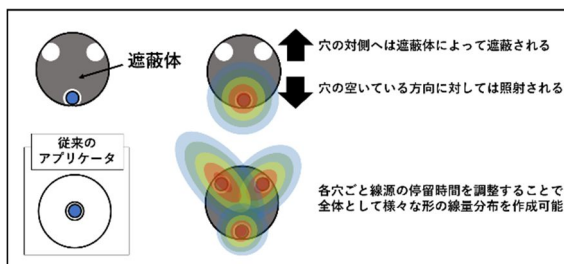
キーワード：放射線治療 小線源治療 子宮頸がん アプリケータ モンテカルロシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

研究開発当初、婦人科腫瘍の治療のための線量治療のアプリケータの開発はいくつかの研究チームから報告されていたが、その多くはアプリケータの形を大きく変えるものであった。これらはこれまで歴史的に築かれた手法を大きく変えることになり、また、これまで培われた膨大な臨床成績はこれまでの歴史的な手法において実施されたものであったため、新たに開発したアプリケータを臨床現場で広く普及させるには大きなハードルがあった。これは、目的にも記載した通り、現状最も広く普及しているアプリケータの形状を変えない範囲での新たなアプリケータ開発の1つのモチベーションである。また、線量計算精度については本研究の遂行に追い風が吹いている状況であった。具体的にはこれまで治療時にどのように線量を患者に投与するか判断するために必要な治療計画装置に搭載されている市販の線量計算ソフトウェアでは線量計算に金属物質は考慮できなかったため、金属を搭載したアプリケータの使用には限界があった。これに対し近年ソフトウェアの進化により金属物質を線量計算に考慮することができるようになった。これにより金属を搭載した様々な形状のアプリケータが臨床に普及しうる環境の基盤の構築ができたと考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は患者横断面における線量分布を任意に変形できる、すなわち線量分布の強度変調が可能なアプリケータの開発である。今後の臨床現場への普及を想定し、既存のアプリケータの形状をできる限り変更しない形でのアプリケータの開発を目指した。これを実現するため、アプリケータ内に設置可能な遮蔽体を作成し、この遮蔽体の外側の溝に線源を通すことにより、遮蔽体の遮蔽効果によって線源対側の線量を低減させ、この溝毎の停留位置の調整により線量分布を変化させるという方法を提案した(図1)。上記目的を達成するために、本研究は線量分布の調整に最も効率的な遮蔽体の設計およびプロトタイプを作成を目的として実施した。



(図1) 開発するアプリケータのコンセプト

3. 研究の方法

上記の目的のために、本研究では下記の2段階のステップを踏んで実施した。

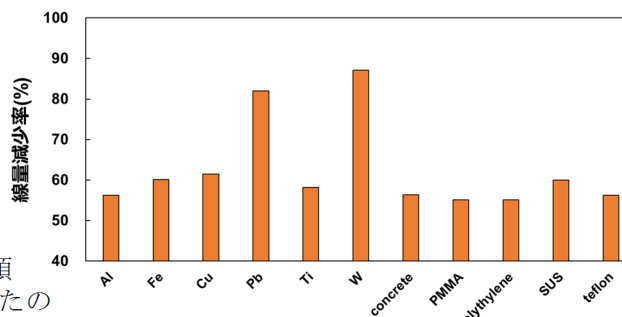
- (1) モンテカルロシミュレーションによる遮蔽体の素材と構造の決定

まず、アプリケータ内に設置する遮蔽体の素材および形状についてシミュレーションを用いて検討した。シミュレーションには放射線治療領域で広く活用されているモンテカルロシミュレーションコードであるPHITSを用いた。本研究では婦人科領域で広く用いられている線源であるIr¹⁹²を再現した。初めに素材については容易に入手および加工の可能な11種類の素材(鉄、アルミニウム、チタン、タングステン、銅、鉛、ステンレス、コンクリート、ポリエチレン、テフロン、PMMA)について検討した。各素材をシミュレーション上に再現し、遮蔽体による線量の低減率について評価した。次に、遮蔽体の形状、具体的には遮蔽体周囲に作成する線源設置用の溝の数について検討した。溝は2個から8個開けた状態でシミュレーションを行い、線源体側への線量の漏れから効率的な遮蔽を実現する溝の数を検討した。
- (2) 遮蔽体プロトタイプの作成と線量測定実験

次にシミュレーションをもとに遮蔽体のプロトタイプの作成とプロトタイプを用いた線量測定実験の実施を計画した。(1)で検討した最も効率的に遮蔽を実現する素材及び溝の数を採用した遮蔽体を作成し、そこへ実際の臨床で用いているIr¹⁹²線源を設置する。設置した際の線源側の線量及び線源対側の線量を比較し、シミュレーションと同等の遮蔽体の線量低減効果が得られているか検討した。

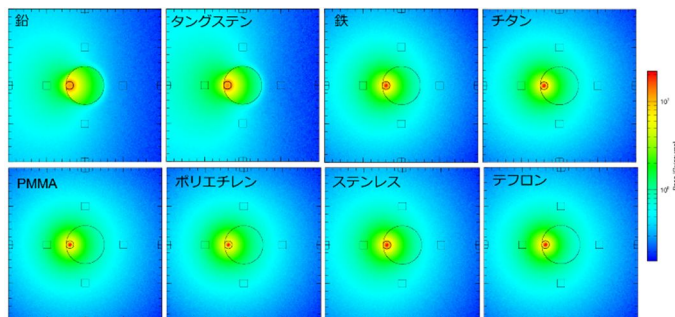
4. 研究成果

(1)まず初めに素材の検討についての結果を示す。図2にシミュレーションによって得られた線量の低減率のグラフを示す。グラフの縦軸には線源側の線量に対する線源対側の線量から得られた遮蔽体の線量低減率を示している。検討した全11種類の素材の中で最も効率的に遮蔽を実現できたのはタングステン(W)であることが明らかになった。その遮蔽率は遮蔽体中心から



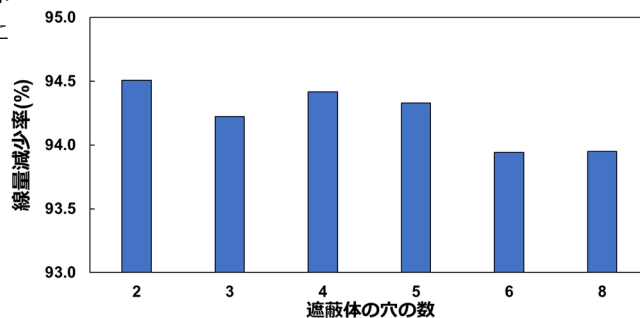
(図2) 遮蔽体の素材毎の線量減少率

1cmの距離で87.7%であり、プラスチックと同等の物質のおよそ1.58倍の遮蔽能力であった。図3に素材毎の線量分布の一例を示す。図3の上段左から2番目に示すタングステン(W)では他の物質に比べ線量分布が急峻に変化していることがわかる。このことから、遮蔽体に最も適している素材はタングステンであると考えられた。



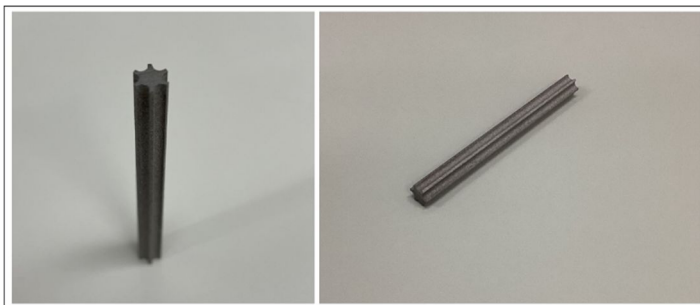
(図3) 素材毎の線量分布図

続いて、遮蔽体周辺に作成する溝の数毎の遮蔽率を図4に示す。素材は前項で最適と判断されたタングステンとして検討している。遮蔽体周辺の溝の数は増加させることで線量分布をより細かく調整することが可能であるが、一方で線量の漏れが多くなることから遮蔽体の遮蔽能力が低下することが予想される。溝の数を変化させた場合の遮蔽率を図4に示す。図4に示すように、溝が増加すると遮蔽率が減少する傾向が確認されている。溝の数5個から6個へ変化した場合に遮蔽率が急激に変化し、また、6個と8個では遮蔽率に大きな変化はなかった。このことから5個もしくは6個程度の溝の数が適正な溝の数であることが考えられた。



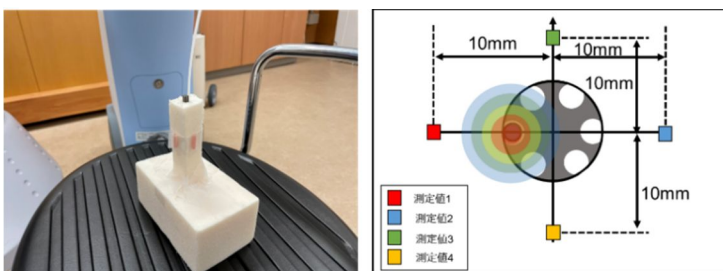
(図4) 遮蔽体の穴の数による線量減少率の変化

(2)シミュレーションの結果から、遮蔽体のプロトタイプを作成を行った。シミュレーションの結果より、遮蔽体の素材をタングステンとし、溝の数を今回は6個を最適な数として作成を行った。作成したプロトタイプを図5に示す。



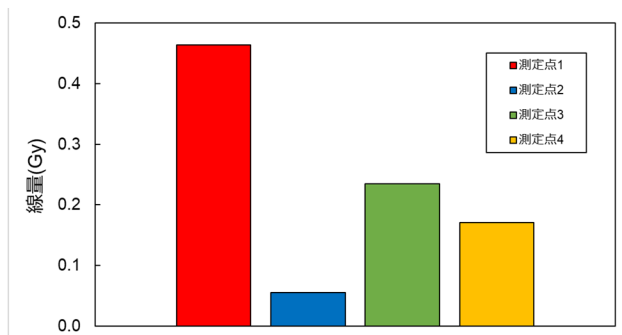
(図5) 遮蔽体のプロトタイプの外観図

図5に作成したプロトタイプの遮蔽体を使用し、線量の減少率がシミュレーション通りとなっているか線量測定実験を実施した。実施した測定機器の設置状況を図6に示す。溝遮蔽体の溝の1つに線源を通すための空洞針を設置した。線源には婦人科系腫瘍の治療に使用するIr¹⁹²線源を使用した。遮蔽体周辺にはガラス線量計を設置し、線量測定を行った。



(図6) 線量測定の実験の様子と測定点

測定結果を図7に示す。図7のグラフで示しているの測定点1~4は図6の測定点の位置関係と対応している。測定点1~4の線量はそれぞれ 0.46 ± 0.05 Gy、 0.05 ± 0.01 Gy、 0.23 ± 0.01 Gy、 0.17 ± 0.02 Gyであった。線源側である測定点1の値に対して線源対側である測定点2の値はおよそ88%程度線源が減少していた。測定誤差等を考慮してもシミュレーションと同等の遮蔽率であることが明らかになった。このことから、作成したプロトタイプの遮蔽体にはシミュレーションで計算したものと同等の遮蔽能力を有することが明らかになった。



(図7) 各測定点の線量測定の結果

上記(1)および(2)の研究結果を経て、実用に応用を検討しうる遮蔽体の開発を行うことができたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 宮坂友侑也、金井貴幸、想田光、李聖賢、佐藤啓、岩井兵夫 |
| 2. 発表標題 患者横断面における線量分布の調整を可能とする新たな腔内照射小線源治療用アプリケーターの開発 |
| 3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第23回学術大会 |
| 4. 発表年 2021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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|