

平成 30 年 6 月 23 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K19849

研究課題名（和文）密封小線源治療におけるリアルタイムモニタリング技術の開発

研究課題名（英文）Development of real-time monitoring system for brachytherapy

研究代表者

江里口 貴久（Eriguchi, Takahisa）

慶應義塾大学・医学部（信濃町）・助教

研究者番号：70594597

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）：密封小線源治療に対して治療照射中の線量情報を可視化したリアルタイムモニタリング機能の技術の開発を試みた。遠隔操作式密封小線源治療装置から輸送された水等価固体ファントム中の線源の時間系列情報の取得を試みたが、線源の停留位置などの情報を正確に取得するまでには至らなかった。原因の解析を行った結果、検出器の改良を行えば、上記情報を取得可能と考え、実現すれば密封小線源治療に対して安全に線量投与可能な治療支援システムが構築できると考える。

研究成果の概要（英文）：We developed a real-time monitoring system to obtain the dose delivery information during the treatment for brachytherapy. We attempted to acquire the time structure dose information which delivered to the water equivalent phantom from the remote afterloading system. However, the dose delivery information, such as dwell positions, were not able to obtain with high accuracy. Results from our analysis, improving the detector system, we considered that it is possible to acquire the information that we mentioned above. When these are achieved, it would be possible to construct the therapeutic supporting system which could delivered the dose safely for brachytherapy treatment.

研究分野：放射線治療学

キーワード：密封小線源治療 リアルタイムモニタリング

1. 研究開始当初の背景

密封小線源治療では、様々なモダリティによる医学画像を利用した画像誘導密封小線源治療が促進され、線量投与するまでのデリバリー補助型による高精度化が進んでいる。しかし、その促進とは裏腹に、治療照射中の安全な照射を担保した治療支援システムが現在存在しない。これは、治療照射中に線量が正確に投与された事象を、非侵襲的リアルタイムに確認する治療技術が存在しないためであり、実際の治療行為中に、術者が意図しない治療計画に反した線量投与による医療事故が、世界中で数多く発生し、後を絶たない。

2. 研究の目的

本研究では、密封小線源治療に対して治療照射中の線量情報を可視化したりアルタイムモニタリング機能の技術を研究開発し、高精度で安全な線量投与が担保された、次世代の治療技術を組み込んだ治療支援システムの研究開発を実施することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究には、線源を輸送又は挿入するための患者を模したファントムが必要であったため、既存の水等価固体ファントムを基に、薬事法に触れない範囲で、本研究に必要なパーツを随時設計、製作した。密封小線源治療で利用される放射線の光子エネルギー領域は、物質に対して光電効果が主反応となり、反応確率は原子番号の 5 乗に比例するため、元素組成の違いが光子の物質への反応確率に違いを生じ、結果として最終的に投与する線量にも大きく影響を与える。これらを考慮するため、原子番号及び密度が大きく異なる水等価、骨等価、肺等価の 3 種類の材質から成るパーツを設計、製作した。

測定システムの概念として、線源から放出された光子と有機蛍光体との相互作用により生じた可視光の蛍光現象を時間系列情報として集積可能であることが重要である。本研究では、密封小線源に高線量率のイリジウム 192 (^{192}Ir)、記録装置として相補型金属酸化膜半導体センサを有する固体撮像素子のビデオカメラ、有機蛍光体には水等価物質であるプラスチックシンチレータを検出器とした測定システムの構築を試みた。本測定システムより、遠隔操作式密封小線源治療装置 (RALS) から輸送され、線源から放出された光子とプラスチックシンチレータとの相互作用により生じた蛍光現象を、ビデオカメラにより時間系列情報として集積可能か検証した。

4. 研究成果

人体の仮想部位を想定し製作したファントムの性能評価として、線源の輸送ケーブルをファントム内部に挿入、固定し、ファントム内部で停留した RALS からの線源情報を、

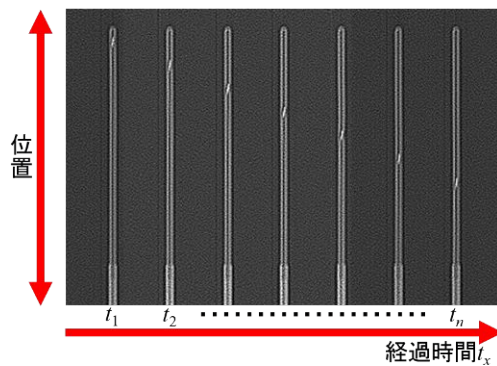


図 1. CT より取得したファントム内部の RALS からの線源情報。

コンピュータ断層撮影装置 (CT) より取得した結果、CT の画像から線源の停留位置、停留時間、移動距離などがリアルタイムで観測可能であった (図 1)。しかし、この段階では侵襲的な方法になる。

構築した測定システムにより、RALS と連結した線源の輸送ケーブルを直接的に検出器に固定した場合、線源から放出された光子とプラスチックシンチレータとの相互作用により生じた蛍光現象を視覚的に確認及びビデオカメラにより時間系列情報として集積可能であることを確認した。次に、婦人科疾患に対する遠隔操作式密封小線源治療を想定するため、線源の輸送ケーブルを水等価固体ファントムの内部に挿入、固定し、水等価固体ファントムの内部で停留した線源の線量情報を、同様の測定システムにより時間系列情報として集積し、以下の工程で解析した。

- 1) ビデオカメラにより取得した秒間約 60 フレームの時間系列情報 (動画) を静止画 (24 ビット) に分解し、線源が停留している状態の画像を抽出して積算した (図 2.a)。
 - 2) バックグラウンドの信号を除去するため、1) と同様の工程でバックグラウンドの積算画像 (図 2.b) を作成し、1) で作成した画像からバックグラウンドの積算画像を減算した。
 - 3) 2) で作成した画像を RGB のチャンネルに分解し、青色成分の情報を抽出した画像 (図 2.c) を作成した。
- 3) で作成した画像 (8 ビット) のピクセル値 (図 3) を解析した結果、水等価固体ファントムの内部に線源が停留している状況下では、水等価固体ファントムの外部に飛び出した線源からの光子による蛍光現象は確認できたが、線源の停留位置などの情報を正確に取得するまでには至らなかった。この原因として、検出器に入射する二次的な光子 (散乱線) の影響などが要因であると推測した。原因を追究するため、モンテカルロシミュレーションのツールキットである Geant4 で理論計算による解析を行い、球体の水等価固体ファントムの大きさ (半径の変化) による一次

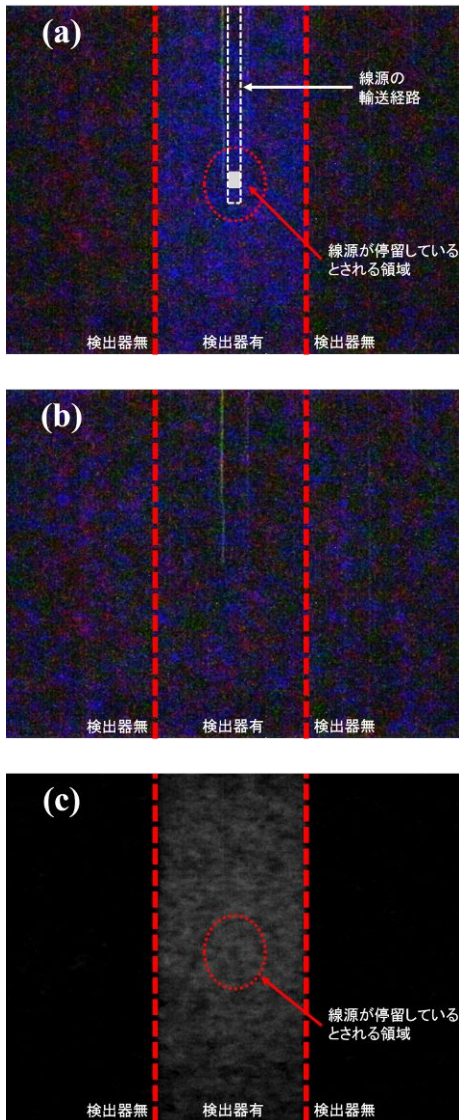


図 2. 構築した測定システムで取得した時間系列情報の解析工程の画像で、線源が水等価固体ファントムの内部で停留した状態の積算 (a), バックグラウンドの積算 (b), 及びバックグラウンド除去を施し、青色成分を抽出した情報 (c) を示している。

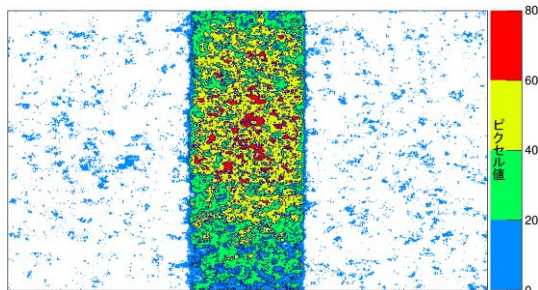


図 3. 図 2.c のピクセル値のカラーマップ。

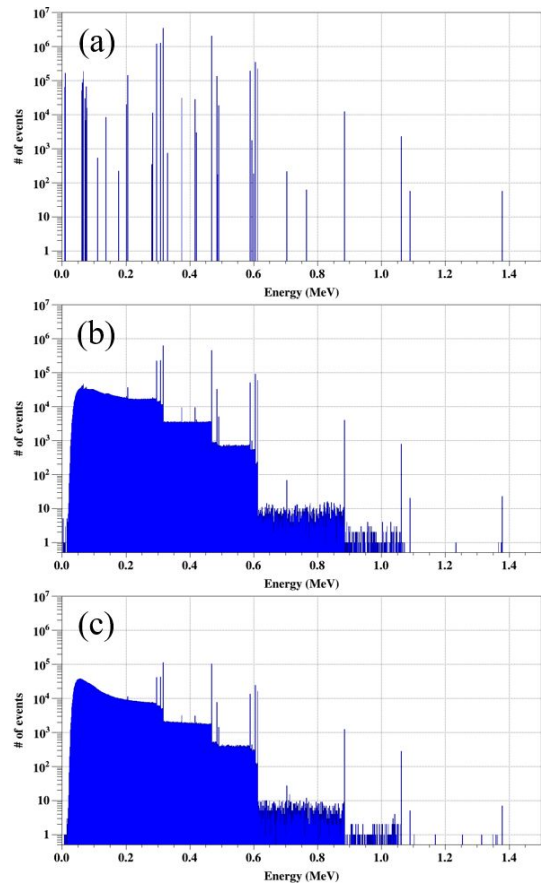


図 4. 自由空間中の ^{192}Ir から放出される光子のエネルギースペクトル (a) 及び半径 15 cm (b), 30 cm (c) の球体の水等価固体ファントムから放出される ^{192}Ir のエネルギースペクトル。

光子の挙動を検証した。結果として、純粋(自由空間中)の ^{192}Ir から放出される光子のエネルギースペクトルと比較して、水等価固体ファントムの大きさにより、 ^{192}Ir から放出された一次光子の線質の軟質化(図 4)が生じていることが確認できた。また、 ^{192}Ir から放出された一次光子のフルエンスの減少が生じ、結果的に一次光子と水等価固体ファントムとの相互作用で生じた散乱線の増加が確認できた。本研究では一次光子と散乱線を識別せずに蛍光画像の取得を試みたため、一次光子と検出器が相互作用を起こした位置、つまり線源の停留位置を示す蛍光画像の信号(ピクセル値)が散乱線の信号に埋もれ、識別困難となってしまった。今後、二次的な光子である散乱線を除去し、一次光子のみを通過させるコリメータなどを装備するなど、上記事項に対応した検出器に改良すれば、水等価固体ファントムの内部で停留した線源の線量情報を示す蛍光現象が集積可能と考える。実現すれば密封小線源治療に対して安全に線量投与可能な治療支援システムが構築でき、学術上及び臨床上の価値が高い成果になると考える。

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0件)

〔学会発表〕(計4件)

(1) 花田剛士, 江里口貴久, 黒河千恵, 峯村俊行, 大橋俊夫, 萬篤憲, 伊丹純, 茂松直之. モンテカルロシミュレーションによる光子輸送の計算環境の構築. 日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第19回研究会. 2017.

(2) 花田剛士, 大野真里, 江里口貴久, 田中智樹, 吉田佳代, 大橋俊夫, 茂松直之. ^{192}Ir 線源に対する鉛エプロンの防護効果の検証□モンテカルロシミュレーションからのアプローチ□. 日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第19回研究会. 2017.

(3) 神田大介, 花田剛士, 喜久村力, 江里口貴久, 萬篤憲, 大山正哉. ^{192}Ir -RALSにおける線源停留位置に対する不確かさの基礎的検討. 日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第19回研究会. 2017.

(4) 大野真里, 古崎昌宏, 花田剛士, 江里口貴久, 田中智樹, 吉田佳代. Ir-192 腔内治療時の独立検証に関する検討. 日本放射線腫瘍学会小線源治療部会第19回研究会 2017.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

6. 研究組織
(1)研究代表者

江里口 貴久 (ERIGUCHI, Takahisa)
慶應義塾大学・医学部(信濃町)・助教
研究者番号: 70594597

(2)研究分担者
()

研究者番号:

(3)連携研究者
()

研究者番号:

(4)研究協力者
花田 剛士 (HANADA, Takashi)