

題目：放射線治療における人工ルビーを使用した

リアルタイム線量測定システムの開発

保健医療学専攻 放射線・情報科学分野 医用画像学領域

学籍番号：20S3065 氏名：松本健希

研究指導教員：細貝良行教授 副研究指導教員：仲田栄子准教授

キーワード：線量計、人工ルビー、光電子増倍管、MPPC、放射線治療

1. 研究の背景と目的

放射線治療の外部照射において装置の発展やオペレータ側の照射技術の発展により、昨今では高い治療効果を持った複雑な照射方法が可能となり、臨床の現場で用いられている。それに伴い、安全に放射線照射を行うための様々な対策が講じられている。しかし、こうした対策がなされている中でも放射線治療計画時のトラブルや過剰照射が発生してしまう事例が報告されている。その大きな原因の一つとして挙げられるのが患者に対しての局所的な照射線量をリアルタイムで直接モニタすることができていないことである。基礎論文において、人工ルビー線量計を光電子増倍管から構成される光子計測システムに接続したシステムにおいて放射線治療領域での線量レベルの基礎特性について検討を行い、基準線量計とされる電離箱線量計と同等の性能で測定が可能であることを報告し、本論文はこの内容を含む構成となっている。しかし、このシステムでは測定点が1か所に限定され、局所的な照射線量を把握する際に必要な複数の測定点を構築するためには光電子増倍管を含めたシステムを測定点数分、用いなければならない。実用化に際し、コストの面でそれは非常に困難である。そのため、比較的安価で多数の人工ルビー線量計が接続可能な半導体検出器である MPPC(Multi Pixel Photon Counter: 浜松ホトニクス)を光子計測に用いるシステムを新たに考案した。このシステムの導入に際し、光電子増倍管を用いたシステムと基礎特性において同等の性能を有するか検討が必要であるため、放射線治療領域での線量レベルにおける各基礎特性について報告することが本論文の目的である。

2. 方法

測定に用いた人工ルビー線量計については光ファイバーの先端にルビー球(直径1mm)を取り付け、遮光を目的としたポリエチレンで被覆した物を用いている。放射線照射によるルビーの発光を計測する測定器として MPPC を用い、計測値を Lap top PC にて処理し、発光光子数を得る。本研究において新たに検討した基礎特性は以下の四項目である。

- ① 短時間特性について
- ② 放射線照射における人工ルビー線量計の線量率依存性について
- ③ 放射線照射の MU 値との直線性について
- ④ 電離箱線量計と MPPC に接続した人工ルビー線量計における PDD(深部線量百分率)のピーク値及び PDD の形状の比較

3. 倫理上の配慮

本研究は人工ルビー線量計の基礎特性に関するものであり、人体や患者情報を研究対象とはしていない。そのため、倫理審査は受けていない。

4. 結果

検討項目①の短時間特性では光電子増倍管を用いたシステムよりも良好な結果となった。検討項目②の線量率依存性に関しては線量率を 100~600 (MU/min)まで変化させて照射した際に若干ではあるが線量率依存性を認めた。検討項目③においては MU 値と人工ルビー線量計の発光光子数との間の相関係数は 0.99 以上となり明らかな相関関係があることが示された。そのため、得られる関係式を用いれば発光光子数から放射線量に変換が可能であり、先行研究と同様の結果となった。検討項目④の結果において MPPC を用いたシステムで測定した PDD と光電子増倍管を用いたシステムで測定した PDD の形状はほぼ重なる結果となった。電離箱線量計で測定した PDD の形状との比較では水深が浅い領域と深い領域で僅かに乖離が見られた。この結果も先行研究で報告された光電子増倍管を用いたシステム系と同様の結果であった。

5. 考察

検討項目①の結果はリアルタイム測定を実施する際に大変有益な結果であると考えられる。測定値にトリガーを設けることで測定の開始と終了を自動で行える可能性がある。また、検討項目②の結果に関しては光電子増倍管を用いたシステムでの基礎特性と同様に、MPPC を用いたシステムでも線量率依存性が認められた。放射線治療の照射時にはあらかじめ線量率を設定し照射を行う。そのため、線量率ごとの線量校正直線を得ておけば、線量率依存性への対応は可能であると考えられる。検討項目③の結果に関しては MU 値の変動に対して人工ルビー線量計の発光光子数は非常に強い相関関係を有し、MPPC に接続した人工ルビー線量計は得られる関係式により光子数から放射線量に変換が可能であることを示している。最後に検討項目④において、測定した PDD の形状から、新たに導入した MPPC を用いたシステムは光電子増倍管を用いたシステムとほぼ同等に測定可能である。電離箱線量計で測定した PDD との乖離については、光電子増倍管を用いたシステムと同様の課題を抱えていると考えられる。その課題はビルドアップによる影響、人工ルビー線量計と電離箱線量計の有感体積の違いやチェレンコフ光の影響が考えられる。ビルドアップによる影響については、今回検討した 10 MV 以外のエネルギーのビームにおける PDD の形状を確認する必要があると考えられる。有感体積については、電離箱線量計の有感体積が 0.35 cm^3 であることに對し、人工ルビー線量計の有感体積は約 0.0005 cm^3 であり、その体積差が測定位置の分解能に直接影響したと考えられる。それに伴い、人工ルビー線量計の測定位置の固定方法も課題である。深部での PDD の乖離に関しては、チェレンコフ光による影響が考えられ、チェレンコフ光由来の発光を差分することや色フィルターを使用することで影響を抑えることが可能と考える。

6. 結語

本研究では新たに検討を行った MPPC を用いたシステム系における放射線治療領域の線量レベルでの基礎特性は光電子増倍管に接続したシステム系での基礎特性とほぼ同等であった。考案したシステム系が同等に測定可能であることが示された。今後、実際に多数点同時計測を行い、収集する発光が隣接する収集チャンネルに互いに影響を及ぼさないかなどについて検討していく必要がある。