

氏名（本籍）	川村 拓（山形県）
学位の種類	博士（医学）
学位記番号	博甲第 6741 号
学位授与年月	平成 25 年 1 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	人間総合科学研究科
学位論文題目	ポリマーゲル線量計による陽子線線量測定

主査	筑波大学教授	博士（医学）	櫻井 英幸
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	磯辺 智範
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	熊田 博明
副査	筑波大学講師	理学博士	安岡 聖

論文の内容の要旨

（目的）

放射線治療では、線量計を用いて線量測定や線量検証を行うことにより、品質保証および精度管理を実施する。検出原理が異なる種々の線量計の中では、再現性や測定精度が高いという理由から、電離箱線量計が臨床で広く使用されている。しかし、電離箱線量計は点測定であるため、複数箇所の測定や 2 次元・3 次元の線量測定には非効率的である。近年注目を集めている陽子線治療では、腫瘍の形状や大きさに適合した立体的かつ 3 次元的な治療計画が策定される。この陽子線治療において、照射範囲および線量分布を測定するためには、3 次元線量測定およびそれに適合した線量計が必須となる。

本研究では、3 次元線量測定が可能であるポリマーゲル線量計（以下、ゲル線量計）を使用して、実際の臨床使用に準じた照射条件下での陽子線線量測定の実現性について検討することとする。

（対象と方法）

線量測定は、ゲル線量計作製・放射線照射・線量評価の順に実施した。ゲル線量計を作製には、MGS 社の BANG kit を使用した。ゲル線量計を作製後、筑波大学陽子線医学利用研究センターにおいて 155 MeV と 200 MeV の単色ビームおよび拡大ブラッグピークビームをゲル線量計に照射した。照射後の線量計に対し、MRI 装置を用いてスピンスピン緩和速度 ($R_2 = 1/T_2$) およびスピンスピン-格子緩和速度 ($R_1 = 1/T_1$) を測定することにより、線量評価を実施した。さらに、線量- R_2 応答曲線、線量- R_1 応答曲線を作成することにより、ゲル線量計の陽子線吸収線量応答を検討した。臨床応用に関しては、陽子線と X

線に対するゲル線量計感度の比較, 陽子線線量測定における 1 次元・2 次元・3 次元線量測定に関する検討を行った。さらに, X 線 CT 装置による CT 値測定による線量評価法に関する検討も行った。

(結果)

陽子線照射による線量-R₂ 応答曲線および線量-R₁ 応答曲線は, 両者とも 0.9 以上の高い相関が得られ, 線量応答は良好であった。また, 近似曲線の傾き・相関係数・測定点の変動係数から R₂ を用いた線量評価法が R₁ を用いた線量評価法よりも有効であることを明らかにした。陽子線と X 線の比較では, 線量-R₂ 応答曲線において両者とも 0.9 以上の高い相関を認め, X 線より陽子線の相関係数の方が高い値を示した。1 次元線量測定では, ブラッグピーク領域の R₂ および R₁ に半導体検出器と比較して約 30% の感度低下を認めた。2 次元線量測定では, 取得した MRI から自作プログラムを用いて効率よく R₂ 画像を作成することに成功した。CT 値測定による線量評価では, 陽子線の特長であるブラッグピークや拡大ブラッグピーク終端の線量勾配を評価することが可能であった。3 次元線量測定では, ボリュームレンダリング法を用いることにより, R₂ および CT での 3 次元化に成功した。

(考察)

ポリマーゲル線量計による陽子線線量測定において, MRI を用いることで陽子線照射によるポリマーゲル線量計内の重合反応を検出でき, 線量-R₂ 応答曲線および線量-R₁ 応答曲線の直線性から線量を定量化することが可能であった。また, 陽子線の線質増加に伴い, ゲル線量計の感度低下を認めたが, その補正方法を新たに提案した。また, CT 値測定による線量評価では, 従来 MRI を用いた線量評価法と同等の線量応答性を示すことを明らかにした。CT を用いた 3 次元線量測定では, スライス厚を薄く設定することにより, 高空間分解能で測定できることも明らかにした。この CT を用いた線量評価法は, 陽子線の立体的な 3 次元分布を取得できることから, 有用な線量評価法であると考えられる。

審査の結果の要旨

(批評)

陽子線治療場における線量測定の高精度化を目指し, ポリマーゲル線量計を用いて新たな 3 次元線量測定法を提示した論文である。陽子線治療場でのポリマーゲル線量計の基礎特性は未だ明らかとなっていなかったが, その特性を詳細に検証し, 新たな 3 次元線量測定法を開発している点で新規性が高い。また, 従来 MRI を用いた線量評価法ではなく, より簡便に利用できる X 線 CT に着目した技術開発に関しても言及しており, 放射線治療における品質管理の効率化という点で臨床的意義が大きいと考える。今後において, 強度変調放射線治療や定位放射線治療などの X 線治療, 密封小線源治療への応用など, 本研究結果が放射線治療分野全般に発展性を持って普及していくことに大いに期待を寄せたい。

平成 25 年 11 月 6 日の学位論文審査委員会において, 審査委員全員出席のもと, 論文に関する説明を求め, 関連事項について質疑応答を行い, 最終試験を実施した。その結果, 審査委員全員が合格と判定した。

よって, 著者は博士 (医学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。