

氏名	布施 拓		
学位の種類	博士（医学）		
学位記番号	博甲第	8405	号
学位授与年月	平成	29年	11月 30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	Study of patient immobilization methods with high reproducibility and appropriate dosimetry in radiation therapy (放射線治療における高い再現性を有する位置照合法の開発および適切な線量計測に関する研究)		
主査	筑波大学講師	博士（医学）	三好 浩稔
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	石川 仁
副査	筑波大学助教	博士（医学）	加藤 広介
副査	筑波大学助教	博士（医学）	上妻 行則

## 論文の内容の要旨

布施拓氏の博士学位論文は、放射線治療における質的管理に着目し、治療ごとの照射位置の再現性を高める方法を検討したとともに、乳房放射線治療においては位置再現性に加えて線量分布の計測や改善も同時に行うことのできる新たな方法の可能性について検討したものである。その要旨は以下のとおりである。

### （目的）

放射線治療において、治療ごとの3次元位置精度、ならびに皮膚表面近傍の線量計測の精度を向上することを目的として、著者はいくつかの具体的な放射線治療法を対象として、新たな照射体系、線量計測方法、およびマーカーを利用した位置あわせシステムの有用性について検討した。

### （対象と方法）

第1部では、一般的な全身電子線皮膚照射（TSEB）では照射野のつなぎ目での線量分布が不確かになるという問題を解決するために、切れ目無く連続的に照射できる移動寝台を使用し、均一に全身に照射できる体系を開発している。この体系において、位置再現性や線量分布の均一性を評価したとともに、寝台の適切な移動速度を解析している。

第2部では、乳房放射線治療にポリマーゲル線量計を用いることで、この線量計が皮膚表面近傍の線量を測れるだけでなく、線量低下を補償しつつ線量分布を均一にするボースとしても機能するかどうかを検討している。

第3部では、放射線治療ごとの患者位置合わせを簡便に行えるように、赤外線マーカーを利用したシステムを開発し、その性能について評価している。このシステムを用いた場合の位置合わせ時間と位置

精度を従来法と比較することで、本システムの有用性について検討している。

### (結果)

患者が起立した状態で電子線が照射される従来の TSEB に対して、移動寝台ならびに 6 方向からの照射を可能にする傾斜台を用いることによって、位置のずれと線量誤差を従来の 1/4 程度に抑制できたことを著者は示している。この時の線量分布を調べた結果から、照射する皮膚面を十分にカバーできていたこと、ならびにファントムを用いた計測から皮膚表面線量の均一性が保たれていたことも示されている。寝台の移動速度は焦点-皮膚間に依存するものの、本研究で検討した条件においては 16.8~20.0 cm/s であることが確かめられている。

乳房放射線治療については、皮膚表面の形状に合わせて作製したポリマーゲル線量計を皮膚に密着させてから照射することで、この線量計がボラスや形状保持具としても機能するかどうかを調べている。その結果、この線量計はボラスに適した元素組成を持つとともに、形状を保持できる十分な強度を有することを示している。また、乳房放射線治療を模した照射実験において、測定が困難であった皮膚近傍の放射線分布がこの線量計を用いることによって計測できるようになったこと、ならびに治療計画装置の計算結果とも良好な一致を認めたことを報告している。治療時の線量分布をモンテカルロシミュレーションで評価したところ、この線量計はボラスとしても機能し、皮膚表面近傍に十分な線量が投与されたことが示されている。

赤外線マーカーを利用した患者位置合わせシステムの開発では、体表に取り付けたマーカーの位置を 6 台の赤外線カメラで計測するとともに、正しい位置とのずれを専用ソフトウェアで表示することで、位置合わせに掛かる時間や位置の精度が従来法よりも改善するかどうかを調べている。オペレータが模擬患者の位置合わせを行ったところ、位置の精度は従来法と比べて有意差はなかったものの、位置合わせに要した時間は「頭頸部」、「胸部および腹部骨盤部」のいずれにおいても従来法の約半分に短縮出来ることを明らかにしている。

### (考察)

放射線治療では、治療のたびに患者を同じ位置に固定することが極めて重要である。この問題に対して、本研究では移動寝台、ポリマーゲル線量計、および赤外線マーカーを利用した位置合わせシステムを用いることで、全身に発症する皮膚がん、乳がん、さらには頭頸部、胸部や腹部骨盤部のがんへの放射線治療に応用できる固定方法を開発している。これらの方法によって、位置の再現性が向上しただけでなく、治療に十分な線量分布が得られていることや、操作性が向上したことが示されている。

### (結論)

著者により開発された複数の位置照合法を用いることで、様々ながんに対して放射線治療を行う際の位置再現性が高まること、治療に適した線量分布が得られること、ならびに位置合わせの簡便性が大幅に向上することが示されている。

## 審査の結果の要旨

### (批評)

本研究は、放射線治療を行うたびに患者を同じ位置に固定することの重要性に着目し、疾患に応じた固定方法を開発したものである。このとき、単に固定するだけでなく、治療に適した線量分布も同時に得られるような方法の開発を目指し、その有用性を検討したものである。

これらの課題に対して、本研究では 3 つの異なるアプローチを用いている。まず全身に発症する皮膚がんに対しては、移動寝台と傾斜台を用いて患者を固定することで、位置や線量の誤差を従来法よりも大幅に向上できることが示された。加えて、著者の方法では多方向から放射線を照射できることから、より多くの患者に有用であることが示唆された。次に、乳ガンに対しては、ポリマーゲル線量計を形状保持できるボラスとしても使用することで、皮膚近傍の線量を測れるようになっただけでなく、均一に照射することが難しいこの領域の線量分布を改善できることが示唆された。この方法はオリジナリティーと有用性が高いことから、今後の臨床応用に向けた取り組みが期待される。また、頭頸部や腹部などのガンに対しては、皮膚に貼り付けた赤外線マーカーを赤外線カメラで検出することにより、患者の位置を再現性良く固定する方法を新たに開発した。この方法では、位置精度については従来法との差は

無かったものの、固定に要する時間を大幅に低減できたことが示されており、比較的簡便であることから早急に実用化が期待できる方法であると判断した。

平成29年10月2日、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ついて説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。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。