

博士論文の内容の要旨

令和 7 年 8 月 27 日

群馬県立県民健康科学大学大学院
診療放射線学研究科長
上原 真澄 殿

研究審査委員会委員長 五十嵐 博
審査委員 原 孝光
審査委員 杉野 雅人
外部審査委員 加藤 貴弘

研究課題名 「画像誘導放射線治療におけるコーンビーム CT の被ばく線量の低減方法に関する研究」

所属・氏名 診療放射線学研究科診療放射線学専攻 博士後期課程 吉田達也

【目的】画像誘導放射線治療（Image-guided radiation therapy: IGRT）における被ばく線量は、標的位置に依存して変化する。被ばくリスクの観点から、頭部では水晶体、骨盤部では直腸、膀胱、精巣の被ばくが問題となる。そこで、本研究では頭部の Cone-beam computed tomography (CBCT) の水晶体の被ばく線量および骨盤部の CBCT の直腸、膀胱、精巣の被ばく線量の新しい低減方法を考案し、これらの被ばく線量低減効果を評価することを目的とした。

【方法】本研究はガントリ取り付け型 kV-X 線撮影装置（On-board imager: OBI）、蛍光ガラス線量計（Radiophotoluminescence dosimeter: RPLD, GD-352M）および人体ファントムを用いたファントム研究である。頭部 CBCT における水晶体の被ばく線量を低減するために、①ビスマス製の水晶体防護具（CT アイシールド）で目を覆う方法、②Blade X2 の照射野幅を絞る方法を考案した。これらの方法における被ばく線量低減効果を評価するために、頭部ファントム（THRA1 型）の目の表面に RPLD を設置した測定システムを構築した。水晶体被ばく線量を測定するための撮影条件は、Standard dose head (100 kV, 145 mAs, 292° - 88° X-ray tube rotation, with full-fan bow-tie filter) である。CBCT アイソセンタを、IEC 61217 における Y 方向を目の位置、X および Z 方向を頭部ファントムの中心に設定し、この位置を基準位置とした。①では、頭部ファントムを正負の X または Z 方向

に 1, 3 および 5 cm に移動した位置で測定された水晶体の吸収線量と, CT アイシールドで目を覆って同じ位置で測定された水晶体の吸収線量から被ばく線量低減率を算出した. ②では, Blade X2 の照射野幅を 13.6 cm から 5.0 cm まで絞った時で水晶体の吸収線量を測定し, 13.6 cm での吸収線量を基準とした被ばく線量低減率を算出した.

また, X2 を絞ることによる位置照合精度を評価するために, 頭部ファントムを基準位置から XYZ 方向の正負に 1 mm ずつ 5 mm まで移動したそれぞれの位置において, X2 の照射野幅が 13.6 cm と 5.0 cm の時の自動位置照合における位置補正量の差を比較した. 骨盤部 CBCT における直腸, 膀胱および精巣の被ばく線量を低減するために, ③ビスマスシート (CT プレストシールド) で骨盤部を覆う方法を考案した. この方法における被ばく線量低減効果を評価するために, 骨盤ファントム (RAN-110) の前立腺の位置から 5 cm 頭側の直腸, 膀胱前壁および後壁, 左右の骨盤皮下のそれぞれの位置に RPLD を挿入し, RPLD を埋め込んだ精巣ファントムを精巣の位置に設置した測定システムを構築した. 被ばく線量を測定するための撮影条件は, Pelvis-spot light (125 kV, 720 mAs, 292° – 88° X-ray tube rotation, with half-fan bow-tie filter), Pelvis-spot light の X 線管回転角度のみを変更した条件 (125 kV, 720 mAs, 92° – 248° X-ray tube rotation, with half-fan bow-tie filter) および Pelvis (125 kV, 680 mAs, 92° – 88° X-ray tube rotation, with half-fan bow-tie filter) である. これらの撮影条件を用いて, 前立腺の中心に CBCT アイソセンタを設定した時に測定された吸収線量と, 2 枚のビスマスシートで前立腺を避けるように下腹部および骨盤下部から大腿骨部分を覆った状態で測定された吸収線量から被ばく線量低減率を算出した.

【結果】①の方法における被ばく線量低減率は, ファントム位置を-Z 方向に 5cm 移動した時に最大となり, 右水晶体では 32.1%, 左では 31.4%であった. ②の方法における被ばく線量低減率は, X2 の照射野幅を絞るほど高くなり, 5 cm の時に右が 38.7%, 左が 13.2% の低減であった. また, X2 の照射野幅が 5 cm の時の位置照合精度は, 13.6 cm の時と 1 mm 以内の差であった. ③の方法における被ばく線量低減率は, X 線管回転角度を 92°–248°に設定した Pelvis-spot light でビスマスシートを用いた時に最大となり, 精巣では 57.0%の顕著な低減であった.

【結語】頭部 CBCT における水晶体の被ばく線量を低減する場合, 前頭葉のように頭部の前側に CBCT アイソセンタが位置する時には①の方法, 後頭葉のように頭部の後側に CBCT アイソセンタが位置する時には②の方法を用いることで水晶体の被ばく線量を効果的に低減できる. また, 前立腺癌の IGRT における CBCT の被ばく線量を低減する場合, ③の方法を用いて CBCT の X 線管回転角度を 92°–248°に設定することで直腸, 膀胱および精巣の被ばく線量を効果的に低減できる. 本論文で提案した CBCT の被ばく線量低減方法は, 被ばく低減の対象となる臓器の被ばく線量を効果的に低減でき, すぐに臨床に使用できることから臨床現場に普及する可能性が高いと言える.

博士論文の審査の要旨

令和 7 年 8 月 27 日

群馬県立県民健康科学大学大学院
診療放射線学研究科長
上原 真澄 殿

研究審査委員会委員長 五十嵐 博
審査委員 原 孝光
審査委員 杉野 雅人
外部審査委員 加藤 貴弘

研究課題名 「画像誘導放射線治療におけるコーンビーム CT の被ばく線量の低減方法に関する研究」

所属・氏名 診療放射線学研究科診療放射線学専攻 博士後期課程 吉田達也

令和 7 年 5 月 23 日（金）の博士論文提出を受け、審査委員が個別に論文査読を行った。

令和 7 年 6 月 24 日（火）に第 1 回審査委員会を web および第 3 放射線演習室において対面で開催した。はじめに本人によるプレゼンテーションを約 50 分間行い、その後、各審査委員による質疑応答を約 50 分間実施した。審査委員からは、論文の新規性及び研究の独創性、研究方法並びに研究結果に関する信頼性、臨床現場における有効性、技術的な裏付けと理論の展開に関して誤りがないかどうか等の確認と今後の展開についての質問がなされた。

主な指摘事項は次のようなものである。

1) 論文の記述内容に関して

本研究はコーンビーム CT を用いて被ばく低減を図っていることから、タイトルに「コーンビーム CT」を記載すること、別実験における測定 of 幾何学的配置が同一の場合、再度冗長に記載するのではなく、「第○章と同配置」と読み手を意識すること、等の指摘があった。

2) 論文の記述方法に関して

幾何学的配置が不明確のため、図や本文に SSD 等の距離、照射野サイズ等を明記すること、図の横軸の数値設定の統一化、モノクロ印刷で提出する場合、図の説明に「橙」、「ピンク」等の表現を修正すること、用語や表現にゆらぎがあるため、再度確認し修正を行うこと、等が求められた。

3) 考察に関して

Blade の位置精度は重要な項目であることから公聴会までに検証すること、参考文献の一

部に誤りがあることから再度確認すること、等の指摘がされた。

以上の指摘に関する修正を 7 月 11 日（金）までに行い、審査委員に再提出をすることとされた。再提出された論文について、再度の指摘をし、再々修正の後に公聴会および最終試験の実施を可と判断した。

第 2 回審査委員会（最終試験）を 8 月 22 日（金）、公聴会終了後に第 22 講義室において開催した。審査時間は 30 分を目安とした。研究審査委員長からの求めで、始めの 10 分を本人によるプレゼンテーション時間とした。プレゼンテーションには、①新規性（独自性）、有用性を含めた本研究論文の意義、②本研究論文の信頼性（正当性）を確認するために、なぜその手法を採用したのか、他の方法とは何が違うか等を含めるように指示があった。

その後、個別質問に移り、前立腺のビスマスシートの配置による影響の有無、CBCT 撮影による治療線量への影響、蛍光ガラス線量計のビルドアップ特性に関する事、ビスマス製の水晶体防護具（CT アイシールド）で目を覆う方法と Blade X2 の照射野幅を絞る方法を組み合わせた場合の効果、臨床実装への可能性等に関する質疑応答および博士論文の修正箇所の指摘があった。