

題目：放射線治療の高精度化に向けた医療用直線加速装置 QA における X 線焦点位置変位測定を用いたビームアライメント評価に関する研究

保健医療学専攻 放射線・情報科学分野 放射線治療学領域
氏名：永井良明

キーワード：焦点位置 スリットスキャン法 ビームアライメント 品質保証

1. 研究の背景と目的

放射線治療機器や照射技術の発達により，高精度放射線治療といわれる定位放射線治療（Stereotactic Radio Therapy: SRT）や強度変調放射線治療（Intensity Modulated Radiotherapy: IMRT）が普及している．近年では Flattening filter を除去した Flattening filter free（FFF）ビームが利用可能となり，SRT や IMRT の治療時間を短縮させる上で有用とされている．放射線治療の高精度化に伴い，治療機器の品質保証（Quality Assurance : QA）の重要性が増しており，ガントリやコリメータの回転中心である isocenter や，ビームアライメントと呼ばれるビーム焦点，ビーム軸の傾き，対称性などの管理が特に重要とされる．American Association of Physicists in Medicine (AAPM) の Task Group 45 (AAPM TG-45)では isocenter を機械的な回転中心である mechanical isocenter と，X 線照射野中心である radiation isocenter とに分け，両者が一致していることが望ましいとしている．ビームアライメントのずれは，ビームプロファイル形状変化や，mechanical isocenter と radiation isocenter の不一致ビームの要因となる．ビームアライメントの評価には AAPM TG-22, TG-24 において Split-field test (SF test) 等を行うことを推奨している．Radiation isocenter の評価には Winston Lutz test (WL test)が用いられ，Ball Bearing (BB) と呼ばれる X 線高吸収の小球を isocenter に配置し，様々なガントリ角度から X 線照射が行われる．得られた画像から照射野中心と BB 中心の相対的位置変位が算出され，その変位量は 1 mm 以内であることが推奨されている．

ビームアライメントのずれの要因の一つである焦点の測定方法に関しては，医療用直線加速装置（リニアック）の場合，X 線照射を行いながら微小スリットを持つ金属柱をビーム軸に対し垂直に移動させる方法（スリットスキャン法）が一般的である．2013 年に穴井によってスリット幅，スリット材質の X 線透過率，検出器の計測条件等が検討されたことで，その測定方法は確立しつつあり，焦点を直接測定して，実際の大きさや形状を把握することが可能になっている．本研究ではスリットスキャン法が焦点の位置を測定する方法として応用可能であることを見出した．これまでの報告で焦点の大きさや形状が線量分布に影響を与えることは知られているが，焦点の位置に関して述べられた報告は少なく，現在，焦点位置変位測定は QA 項目として一般的ではない．本研究では，今後の放射線治療における高精度化に向け，ビームアライメント評価において焦点位置変位測定を QA に加え実施することの有用性について検討を行った．

2. 方法

リニアックには Elekta 社製 Versa HD を用いた．本装置は AAPM TG-142 に基づく定期的な装置 QA を 6 MV X 線を基準に実施している．焦点位置変位測定にはグローバル・フォー社の焦点測定装置を用い，幅 0.1 mm のスリットを持つステンレス製の金属柱でスリットスキャン法を行った．得られた強度分布から半値幅の中心を算出し，焦点位置とした．本研究では IEC 61217²⁾に従い，Right-Left (RL) 方向 と Gun-Target (GT) 方向を定義した．

1) 焦点位置変位がプロファイル形状や radiation isocenter 変位に与える影響

6 MV，6 MV FFF X 線を用いて，ビームパラメータ調整によって焦点位置を変位させた状態で，3 次元水ファントムによる測定や WL test を行い，焦点位置変位がプロファイル形状と radiation isocenter の変位に与える影響を評価した．

2) 複数エネルギーのビームアライメント評価における焦点位置測定の有用性

4 MV，6 MV，10 MV X 線を用いて，エネルギー間の焦点位置変位をスリットスキャン法により測定

し、それぞれ SF test や WL test によって確認されたビームアライメントや radiation isocenter との関係を評価した。

3) 焦点位置変位測定を用いた QA プログラムの提案

WL test, 3次元水ファントムによるプロファイル測定に加え、焦点位置変位測定を組み合わせた QA プログラムを提案し、実際に FFF ビームを含めた複数エネルギーで実施することで、ビームアライメント評価における有用性について検討した。

3. 倫理上の配慮

本研究は、放射線治療機器精度に関するもので、人体や患者情報を対象としない。よって、倫理審査は受けていない。

4. 結果

- 1) ビームパラメータ調整によって G 方向に 1 mm の焦点位置変位を生じさせた時、10 cm×10 cm 照射野のプロファイル形状は対称性が約 2%変化し、AAPM TG-142 で推奨される許容値 (1%以内) を超えて変化することが明らかになった。WL test によって得られた BB の変位は G 方向に 0.3 ~0.5 mm で、RL 方向の変位は約 0.1 mm だった。
- 2) 6MV と比較して、4 MV は R 方向 0.2 mm, 10MV は T 方向に 0.2 mm 焦点位置が変位していた。SF test において、4 MV で RL 方向 0.6 mm のずれを確認した。WL test によって測定された BB の位置は、6 MV に比べ、4 MV は R 方向 0.3 mm, 10 MV は T 方向 0.3 mm 変位しており、焦点位置変位との相関を明らかにした。
- 3) 10 MV FFF において、WL test で 1 mm を超える BB の変位、3次元水ファントムの測定で深さ方向における 0.3 mm の照射野中心位置の変位を認め、ビームアライメントの不整が検出された。焦点位置変位測定の結果、変位量は 0.1 mm 程度であったことから、今回の不整の原因はビーム軸の傾きであると推測することができ、ビームパラメータ調整によって改善することが可能であった。

5. 考察

ビームパラメータ調整によって焦点位置を変位させることで、WL test で得られる BB の変位が同方向に生じており、焦点位置変位は radiation isocenter が変位する要因になる事が示された。

エネルギー間のビームアライメントの変位に関して、SF test では 4 MV において RL 方向にずれを確認しており、4 MV の焦点位置が他のエネルギーに比べ R 側に変位しているためと考えられた。エネルギー間の焦点位置と BB 位置変位に相関を認めたことから、エネルギーによる WL test の結果の違いはそれぞれの焦点位置の変位によるものと考えられ、焦点位置変位がエネルギー間のビームアライメント変化を特徴付けていることが示唆された。

本研究の提案する QA プログラムは、ビームアライメントの不整を効率よく評価し、ビームパラメータ調整における有用な結果を得ることが出来ていることから、装置 QA 方法として妥当であることが示された。

6. 結語

焦点位置変位がビームプロファイル形状の変化や radiation isocenter 変位に及ぼす影響は大きく、エネルギー間のビームアライメント変化の要因であることを明らかにした。従来の QA 方法である WL test, 3次元水ファントム測定に加えて焦点位置変位測定を 1年に1回程度、また、装置の新規導入時や部品交換時に行うことは、ビームアライメントの QA 精度を向上させ、今後の放射線治療の高精度化において有用であることが明らかになった。

7. 参考文献

- 1) 穴井重男. 放射線治療の高精度化に向けた X 線ビームの強度分布特性の実験的研究. 九州大学 2013.
- 2) International Electrotechnical Commission. IEC 61217: Radiotherapy equipment- coordinates, movements and scales. 1996.