

# 頭蓋内疾患に対する定位的陽子線治療の 実施に向けた包括的QAの確立

南東北がん陽子線治療センター ○加藤 貴弘(Kato Takahiro)  
山崎 雄平 下小牧 遼太 原田 崇臣 武政 公大  
大内 久夫 新井 一弘 成田 優輝 小山 翔

## 【背景・目的】

頭蓋内疾患に対する定位的陽子線治療(Stereotactic Proton Therapy; SPT)は、国内ではほとんど実施されていないが、国外では定位手術的照射も脳動静脈奇形などに対し実施され、良好な治療成績が報告されている<sup>1)</sup>。一方、陽子線治療用の回転ガントリの幾何学的QA手法については標準化に至っているとは言い難いのが実情であり、積極的に寡分割照射を行うことを阻む一要因になっているものと推測される。当院においても全ての治療部位に対して毎回治療前に正側2方向X線撮影と6軸治療寝台を用いて位置決めを実施する、準定位照射とも言うべき手法で治療を行っているが、寡分割照射までは行えていないというのが実情である。そこで本研究では頭蓋内疾患に対する寡分割SPTの将来的な実施に向け、従来行っているQAプログラムにSPT特有のQA項目を追加、修正することで包括的QAの確立を目指すことを目的とした。

## 【方法】

陽子線治療装置には陽子タイプ(三菱電機社)を用いた。本装置は照射野形成方法としてパッシブ法の一つであるワブラー法を採用しており、治療室タイプとして水平照射室と回転ガントリ室があるが、今回は後者について検証を行った。評価ツールとして脳定位照射手技全体に対し包括的なQAを実施できるように設計された専用ファントムであるLucy 3D QA PHANTOM(以下、Lucy PHANTOM)(STANDARD IMAGING社)を用いた(Fig.1)。本ファントムは、0.1 mm以下の設計公差により、さまざまなQAインサートのミスアライメントを除外した包括的QAを実現可能としており、光子線治療領域において実績があるものである。今回は脳定位照射を実施する上で一般的に実施されているQA方法であるWinston-Lutz test(以下、WL test)およびCT/MRI撮影から治療計画、セットアップ、照射までの一連の工程を総合的に評価する、いわゆるEnd to End test(以下、E2E test)について検討を行った。なお、フィルムおよび線量分布解析装置にはそれぞれEBT3(ASHLAND)、DDシステム(アールテック)を用いた。



Fig.1 Lucy 3D QA PHANTOM 外観

### 1. modified WL test(以下、mWL test)

陽子線治療施設の遮蔽計算は、アイソセンタで陽子線ビームがロスことが前提条件とされているが、一般的なWL testではこの条件を満たさないことから、今回新たに放射線管理面にも配慮したmWL testを考案した。照射野形成条件は、直径14 cmのLucy PHANTOM内で陽子線ビームがロスする条件とするとともにビーム利用効率を高めるためにwobblingを行わないsingle scatteringの条件とした。ファントム中心に4 mm φのタンゲステン球とEBT3を設置し、ガントリ角度45度ステップで検証を実施した。ワークフローのイメージ図をFig.2に示す。

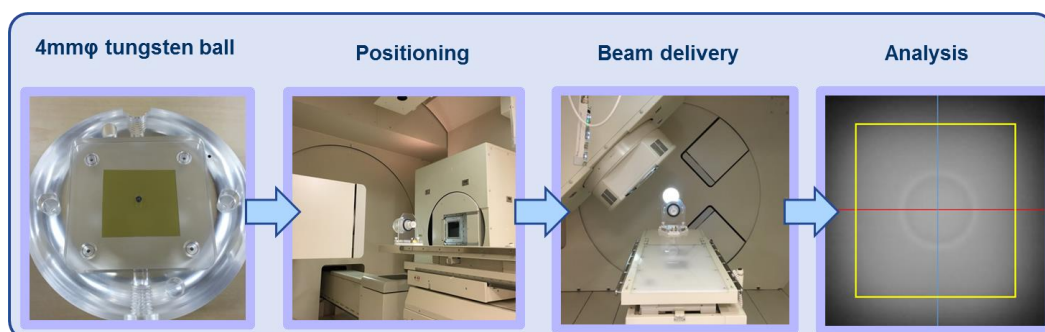


Fig.2 mWL test ワークフローのイメージ

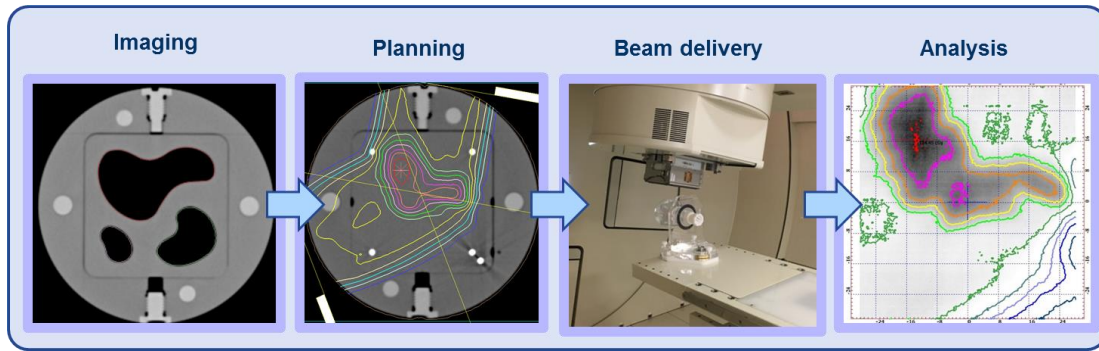


Fig.3 E2E test ワークフローのイメージ

## 2.E2E test

実際の陽子線治療のプロセスに応じたQAインサートを装填した状態でCT/MRI撮影、治療計画、ボラス加工、新患測定、位置決め、照射までの一連のE2E testを実施する。ワークフローのイメージ図をFig.3に示す。

### 【結果】

mWL testの結果の一例をFig.4に示す。一部で1 mmを超える誤差が認められ、系統的な誤差要因が存在している可能性が示唆された。E2E testにおいても全ての工程で問題なく実行可能であり、Lucy PHANTOMを用いることで陽子線治療においてもシームレスなQAを実行可能であることが確認できた。

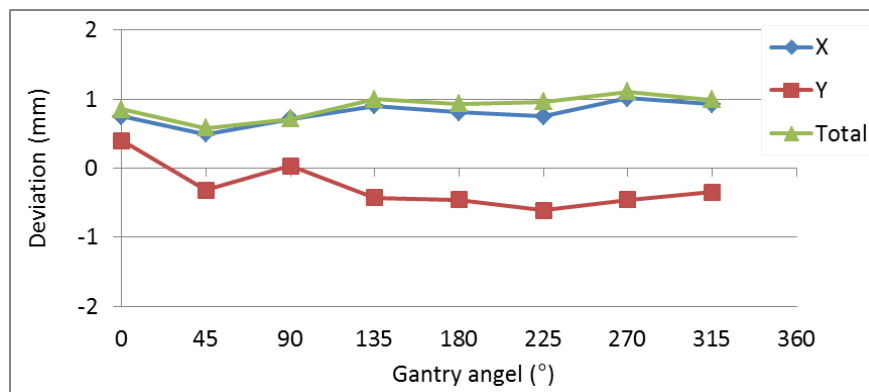


Fig.4 mWL test の結果の一例

### 【考察】

一般的なWL testと異なり、mWL testではフィルムをファントム内に設置することからビームのペナンプラが悪化するが、解析自体は可能であると考えられた。しかし、ファントムのセットアップ、照射野形成条件、解析の各プロセスにおいて改善の余地があることも確認されており、引き続き検討が必要と考えている。E2E testについてはファントムの材質やフィルムのエネルギー依存性の影響により、定量評価には課題が残る可能性があるが、不変性試験のQAツールとしては十分に機能するものと考えられた。今回は新たに考案した幾何学的QAの実効可能性の検討が中心であったが、実際にSPTを実施していくためには特に非侵襲的患者固定方法とイメージガイド手法を改善、確立していく必要があるため、引き続き検討を行っていく予定である。

### 【結論】

Lucy PHANTOMを用いて頭蓋内疾患に対するSPTにおける包括的QAの確立を試みた。従来より行われているQA手法であるWL testや計画用CT/MR撮影から治療計画、セットアップ、照射までシームレスなQAを実施可能であり、SPTにおいても本ファントムは有効に機能することが確認できた。今回考案したmWL testにおいては照射野形成条件の最適化、E2E testにおいては線量の定量的評価の確立が今後の課題と考えられた。

### 【参考文献】

- 1) Hattangadi-Gluth JA, Chapman PH, Kim D, et al. Single-fraction proton beam stereotactic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 89(2): 338-46, 2014