

【助成 41-38】

高精度放射線治療における次世代品質管理法の確立に関する研究

研究者 滋賀県立総合病院 放射線治療科・臨床研究センター 医学物理士・研究員(兼務)

京都大学大学院医学研究科 客員研究員

小野 智博

〔研究の概要〕5～8行程度

高精度放射線治療である強度変調照射において、照射プランの品質保証(Quality Assurance: QA)を行うことは極めて重要なプロセスである。近年、アメリカ医学物理学会より強度変調照射の QA に関する新たなタスクグループ(AAPM TG219, 2021)が発行された。患者体内の線量分布を独立した線量計算システムを用いて評価する計算ベースの QA 手法であり、従来の実測ベースの QA 手法に比べて効率的な手法として着目されている。しかしながら、計算ベース QA の実施には専用の独立線量計算システムが必要であり、多くの施設で容易に導入はできないのが現状である。本研究課題は施設が所有する治療計画装置(Treatment Planning System: TPS)を用いて独立的に線量分布を計算することで VMAT に対する計算ベースの QA の新たな手法を考案する。次世代の品質管理手法として実臨床へ展開を目指し効率的で汎用的な QA システムを構築することを目的とする。

〔研究経過および成果〕

1.方法

計算ベース QA 手法の開発

計算ベース QA として異なる治療計画装置(TPS: Treatment Planning System)を用いて患者 CT 上の線量分布を比較する手法を用いた。臨床の照射プランを作成する計画装置を primary TPS (pTPS)、評価用の治療計画装置を secondary TPS (sTPS)と定めた。患者 CT 上の 3 次元的な線量差と位置誤差を総合的に評価可能な gamma passing rate(GPR)を QA の評価指標として採用した。GPR の計算のためプログラム言語の Python で実行可能な PyMedPhys (Biggs S et al., J Open Sour Softw. 2022)を用いて開発を行った。

多種検出器を用いた線量評価

計算ベース QA に加えて、現在最も用いられている実測ベースの QA 及び申請者が開発した予測ベース QA(Ono T et al. Med Phys 2019)を用いて GPR を算出

し、得られた結果から統一された GPR を導くアルゴリズムをデータ同化の手法に基づき開発した。早期肺癌に対し強度変調照射を実施した 150 例(医の倫理委員会承認済)を対象に解析を行い、データ同化により代表 GPR 値を算出し、各 QA 手法との系統誤差を算出した。その後、系統誤差の補正前後の GPR を評価した。

計算ベースQAシステムの構築

①にて開発した GPR 算出のアルゴリズムを効率よく使用するため、治療計画装置に搭載されているスクリプト機能により実行するシステムを構築した。線量計算アルゴリズム pTPS として Eclipse(Varian 社)の Acuros XB(AXB)を、sTPS として RayStation(RaySearch 社)の Collapsed Cone (CC)と Photon Monte Carlo (pMC)を用いた。スクリプトを実行することで計算ベース QA 結果を表示し出力可能な仕様とし、実臨床展開を想した構造とした。開発したアルゴリズムの計算精度を評

価するため、強度変調照射を実施した 20 例(医の倫理委員会承認済)を対象に解析を行い、pTPS と sTPS で得られる線量分布の GPR を評価した。

2.結果

GPRの統一化

図 1 にデータ同化による補正あり(a)となし(b)の GPR(3%/2mm)の散布図を示す。代表 GPR 値と各 QA 手法の GPR の差は補正なしで-1.0%から 3.1%、補正ありで-0.1%から 0.0%であり、データ同化により GPR の統一化が認められた。

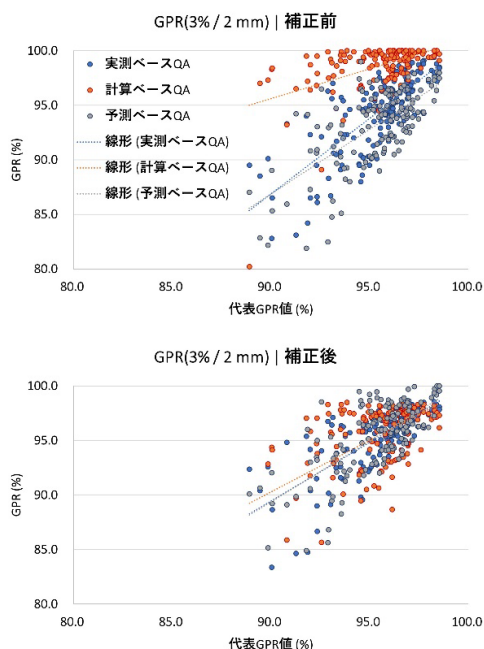


図 1. 各 QA 手法の GPR の散布図

計算ベース QA システムの精度評価

図 2 に解析結果レポート例および GPR(2%/2mm, 3%/2mm, 3%/3mm)の boxplot での比較を示す。解析結果レポートは QA 結果を自動で判定することを可能とし、効率的な仕様とした。GPR は sTPS と pTPS とで GPR(3%/2mm と 3%/3mm)で有意差を認め、線量計算アルゴリズムによる差も明らかにしている。

スクリプトで出力される解析結果レポート

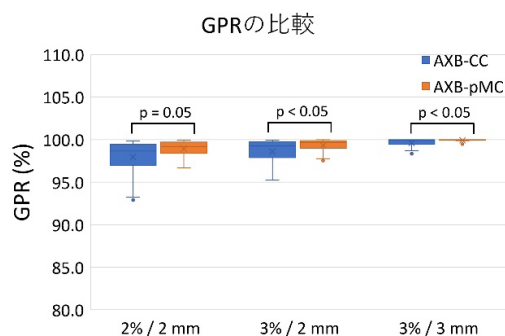
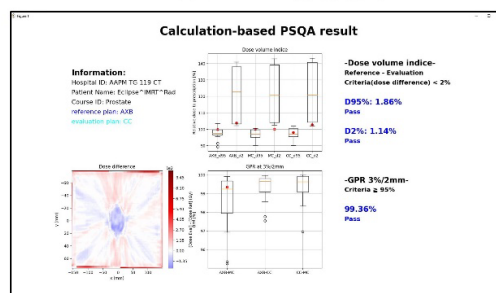


図 2. 解析レポート例及び GPR の比較

結論

計算ベースの QA 手法としてスクリプト機能を用いた効率的なシステムを開発した。予測 QA 手法の組み込みも視野にいれ、次世代の QA 手段としての展開が期待される。

【発表論文】

1. Ono T, Adachi T, Hirashima H, Iramina H, Kishi N, Matsuo Y, Nakamura M, Mizowaki T. Unifying gamma passing rates in patient-specific QA for VMAT lung cancer treatment based on data assimilation. Phys Eng Sci Med. 2024. Doi: 10.1007/s13246-024-01448-3.
2. Ono T, Iramina H, Hirashima H, Adachi T, Nakamura M, Mizowaki T. Applications of artificial intelligence for machine- and patient-specific quality assurance in radiation therapy: current status and future directions. J Radiat Res. 2024. Doi: 10.1093/jrr/rrae033.