

ダイナミックウェーブアーク照射に対応した 照射経路の自動生成に関する研究-脳腫瘍に対する照射経路-

村嶋 晃一[†] 澤田 晃^{††} 末岡 正輝^{†††} 石原 佳知^{††††} 小久保 雅樹^{††††} 森山 真光[†]
[†]近畿大学理工学部 ^{††}京都医療科学大学医療科学部
^{†††}兵庫県立医療センター中央市民病院 ^{††††}日本赤十字社和歌山医療センター

1. はじめに

現在、医師はダイナミックウェーブアーク照射[1]に対応した放射線治療計画の作成に時間をかける問題が発生している。そこで、我々は放射線治療計画作成における医師の負担の軽減を目的として、ダイナミックウェーブアーク照射に対応した照射経路を生成するシミュレータを開発した。本稿では、シミュレータを用い、脳腫瘍に対して作成した放射線治療計画を評価した。

2. ダイナミックウェーブアーク照射

ダイナミックウェーブアーク照射とは、ガントリとリングを独立制御回転させることにより、全方位から波状軌跡で強度変調ビームの照射が可能になる技術である。

3. 照射経路探索機能

まず、各臓器を表す点群を3次元空間に配置し、腫瘍の中心位置を通る放射線モデルを作成する。放射線モデルの照射位置を半径 R の全球の表面上の位置情報で表し、経度を θ 、緯度を φ とする。放射線モデルを $\pi \geq \theta \geq -\pi$ 及び $\pi/3 \geq \varphi \geq -\pi/3$ の全地点に移動させ、各地点で放射線モデル内の臓器ごとの点数を計測する。各臓器に重みを乗算し足し合わせた値を危険度とし、それをスコアにした横軸を θ 、縦軸を φ とする2次元マップを作成する(以降「危険度マップ」とする)。ここで、危険度 $D_{\theta\varphi}$ は

$$D_{\theta\varphi} = \sum_{i=0}^n W_i \times D_{i\theta\varphi}$$

と定義する。この際、 n を臓器の数、 W_i を各臓器の重み、 $D_{i\theta\varphi}$ を各臓器の危険度とする。次に、作成した危険度マップを用い、照射経路生成を行う。経路探索にはA*アルゴリズム[2]を用いる。A*アルゴリズムは指定した2地点間の実コストと推定コストを計算しながら探索する。実コストを開始地点から現在地点までの距離とすると、推定コスト $H(\theta, \varphi)$ は

$$H(\theta, \varphi) = \text{dist}(\theta, \varphi) + I \times \frac{D_{\theta\varphi}}{D_{\max}}$$

と定義する。この際、 θ, φ を現在地点の経度、緯度、 I を危険度の経路探索への影響度、 D_{\max} を危険度マップ上の最大危険度とする。実コスト $\text{dist}(\theta, \varphi)$ は

$\text{dist}(\theta, \varphi) = R \cos^{-1}(\sin\theta\sin\varphi + \cos\theta\cos\varphi \cos(\Phi - \varphi))$ と定義する。この際、 θ, φ を到達地点の経度、緯度、 R を3次元空間の全球の半径とする。

4. 照射経路生成結果

実験では、医療実験用モデルを使用し、脳の腫瘍に対する放射線治療計画を作成した。正常組織として脳幹を想定し、経路生成時に重みを設定した。図1に経度0度から360度まで生成した照射経路を示す。赤の濃度が危険度の高低を示しており、生成した経路が危険度の低い領域を通っていることが確認できる。

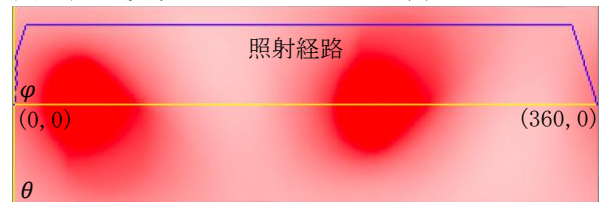


図1. 危険度マップ上に表示した脳腫瘍に対する照射経路

図2に腫瘍と脳幹のDVHを示す。腫瘍に所定の線量が照射でき、脳幹への線量をできる限り抑えていることが確認できるため、この計画は治療計画として優れたものであると考えられる。

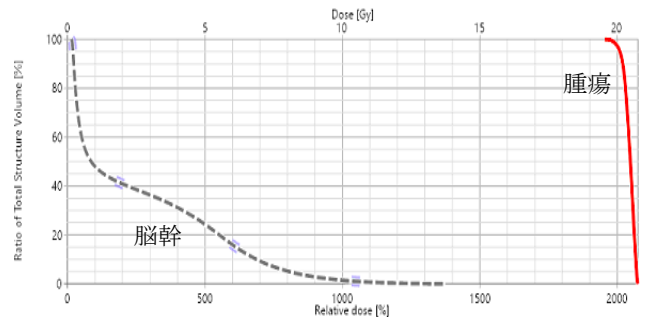


図2. 腫瘍と脳幹のDVH

実験の結果より、正常組織への線量を出来る限り最小限に抑えつつ、所定の線量を標的に照射できることが確認できたため、シミュレータにて生成した照射経路は放射線治療計画に有用であることが示唆された。

5. 今後の課題

今後は臨床の治療計画との比較が必要である。

参考文献

- [1] Takashi Mizowaki et al, "Feasibility evaluation of a new irradiation technique: three-dimensional unicursal irradiation with the Vero4DRT (MHI-TM2000)", Journal of Radiation Research, Vol.54, 2013, pp330-336.
- [2] Peter E. Hart; Nils J. Nilsson; Bertram Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimal Cost Paths", IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics (Volume: 4, Issue: 2), July 1968.