

多発転移性脳腫瘍に対する single isocenter & multiple targets の照射精度検証

山形大学医学部 重粒子線医学講座 ○家子 義朗(Ieko Yoshiro)

宮坂 友侑也 想田 光 岩井 岳夫 根本 建二

山形大学医学部

東北未来がん医療学講座

金井 貴幸

山形大学医学部附属病院 放射線部

山川 萌江美 鈴木 幸司

山形大学医学

放射線医学講座放射線腫瘍学分野

市川 真由美

【目的】

多発転移性脳腫瘍に対する放射線治療において、single isocenterによりmultiple targetsに照射する場合、targetはisocenterではなくoff-isocenter上に存在する (Fig.1)。従って、off-isocenterへ高い精度で照射する必要がある。Off-isocenterの照射精度に関して、isocenterから離れるほど回転誤差の影響が大きくなるため¹⁾、本研究では、回転誤差を付加させた検証を行い、off-isocenterのtargetに対する照射精度を明らかにすることを目的とした。

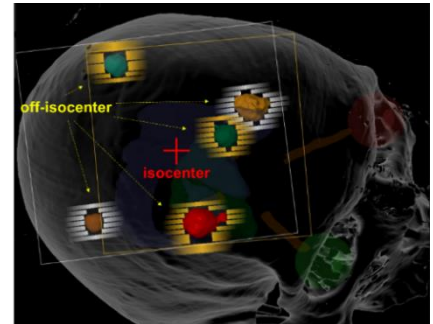


Fig.1 Isocenter & multiple targets

【方法】

Fig.2に示す頭部ファントム (ATOM 702; CIRS, Norfolk, VA, USA) に直径3mmの鉄球を7個挿入した。それぞれの球をtarget1-7 (T1-7) とし、Table 1のように配置した。各targetの座標は、T1を原点としてFig.3に示す座標系に従い定めた。放射線治療計画は、ECLIPSE version 11.0 (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) を用いて、isocenterをT1一定としてそれぞれのtargetに対し、2.5 cm×2.5 cmの照射野を形成し、ガントリー角度0°、90°、180°、270°の4門照射を立案した。

実測検証において、放射線治療装置はNovalisTx (BrainLAB AG, Feldkirchen, Germany; Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) を使用し、画像位置合わせにExacTrac image guidance system (BrainLAB, Feldkirchen, Germany)を用いた。各targetに対して照射した後、寝台をFig. 3に示す方向にrollとpitchを同時に0.5°、1.0°回転させ、同様に照射した。Electronic portal imaging deviceにより得られた画像において、照射野の中心と球 (target) の中心の差を算出し、式(1)-(4)により3次元照射誤差を計算した。



Fig.2 頭部ファントム

また、式(5)-(9)に示す座標変換により計算値での位置変位を算出し、実測値で算出した誤差と比較した。元の座標(x, y, z)に対し、rollにθ回転すると式(5)-(6)のように変換され、その後pitchにφ回転すると式(7)-(8)のように変換される。最終的に得られた座標と元の座標から式(9)を用いて計算値の位置変位 (照射誤差) として算出した。

$$\Delta RL = (G0 - G180)/2 \quad (1)$$

$$\Delta PA = (G270 - G90)/2 \quad (2)$$

$$\Delta IS = (G0 + G90 + G180 + G270)/4 \quad (3)$$

$$3D \text{ irradiation error} = \sqrt{(\Delta RL)^2 + (\Delta PA)^2 + (\Delta IS)^2} \quad (4)$$

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (5)$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (6)$$

$$z' = z \cos \phi - y' \sin \phi \quad (7)$$

$$y'' = z \sin \phi + y' \cos \phi \quad (8)$$

$$3D \text{ error} = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y'')^2 + (z - z')^2} \quad (9)$$

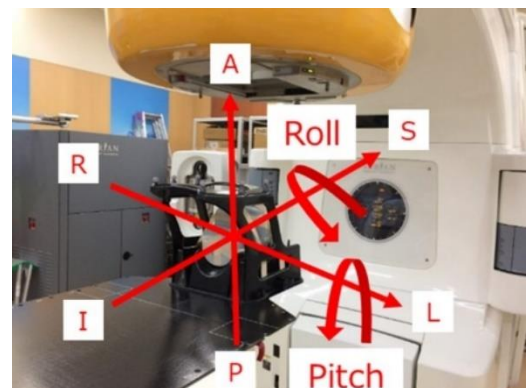


Fig.3 各座標系

Table 1 各targetの座標とisocenterからの距離

Target	座標 (mm)	Isocenterからの距離 (mm)
T1	(0, 0, 0)	0
T2	(1, -2, 25)	25
T3	(-29, 29, 26)	48
T4	(30, 30, -25)	49
T5	(31, -31, 25)	50
T6	(-30, 31, -49)	65
T7	(31, -60, -53)	85

【結果】

Rollとpitchにそれぞれ0.0°、0.5°、1.0°回転させた場合の照射誤差をTable 2に示す。Rollとpitchを0.0°回転した(回転誤差を付加させていない)場合は、off-isocenterが85 mm離れているT7を含め、全てのtargetで1.0 mm以内の誤差を示した。0.5°回転した場合には、計算値では全てのtargetにおいて1.0 mm以内の誤差であったが、実測値ではT6、T7のようなisocenterから65 mm、85 mmそれぞれ離れているtargetにおいては、1.0 mm以上の誤差が生じていた。また、計算値における照射

Table 2 実測値と計算値の照射誤差の比較

Target	計算値 (mm)			実測値 (mm)		
	Roll and pitch (°)			Roll and pitch (°)		
	0.0°	0.5°	1.0°	0.0°	0.5°	1.0°
T1	-	0.0	0.0	0.2	0.1	0.7
T2	-	0.2	0.5	0.3	0.2	0.4
T3	-	0.4	0.7	0.3	0.4	0.7
T4	-	0.4	0.7	0.4	0.6	0.8
T5	-	0.6	1.2	0.4	0.6	1.4
T6	-	0.8	1.6	0.7	1.0	1.9
T7	-	0.8	1.5	0.7	1.1	2.3

誤差よりも実測値の方がそれぞれ0.2 mm、0.3 mm大きかった。1.0°回転した場合は、T5-7において計算値と実測値ともに1.0 mm以上の誤差が生じており、実測値の誤差は計算値よりもそれぞれ0.2 mm、0.3 mm、0.8 mm大きな誤差を示した。またT3-5においては、isocenterからの距離がいずれも50 mm程度であるが、T5の実測値の誤差がT3-4よりもそれぞれ0.7 mm、0.6 mm大きかった。

【考察】

Isocenterからの距離が大きくなるほど、回転誤差の影響が大きくなり、計算値との乖離も大きくなる傾向がみられた。T3-5のようにisocenterからの距離が同等でも誤差に違いが生じる理由として、isocenterからの距離が同等でもisocenterとの位置関係により、rollとpitchの誤差の影響が異なるためであると考えられる。つまり、rollを回転した際に生じた誤差がpitchを回転した際により増大し、最終的に算出された3次元の合成ベクトルが異なるからである。

【まとめ】

Single isocenterによりmultiple targetsへの照射における照射精度検証を行った。Off-isocenterのtargetに対する照射精度において、isocenterからの距離に依存し回転誤差の影響と計算値による位置変位との乖離が大きくなる傾向がみられた。またisocenterからの距離が同等でも、位置関係により誤差に違いが生じることも示唆された。今後は、さらに検証を行うことでデータを積み重ね、リニアック固有の機械的精度の変動も考慮した解析を行う予定である。

【参考文献】

- 1) Gevaert T, Verellen D, Engels B, Depuydt T, Heuninckx K, Tournel K, et al. : Clinical evaluation of a robotic 6-degree of freedom treatment couch for frameless radiosurgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2012;83:467-74.