

論文内容要旨

Dosimetric impact of Lipiodol in stereotactic body radiation therapy on liver after trans-arterial chemoembolization

(TACE 後の肝定位放射線治療におけるリピオドールが線量分布に及ぼす影響)

Medical Physics. 44(1):342-348,2017.

主指導教員：永田 靖教授

(医歯薬保健学研究科 放射線腫瘍学)

副指導教員：栗井 和夫教授

(医歯薬保健学研究科 放射線診断学)

副指導教員：村上 祐司講師

(医歯薬保健学研究科 放射線腫瘍学)

河原 大輔

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

背景：

体幹部定位放射線治療（SBRT）は、複数方向からピンポイントに1回大線量を集中して照射する方法で小サイズの肺腫瘍や肝腫瘍に有効な治療として普及している。肝腫瘍に対する SBRT は、標準治療である手術、ラジオ波熱凝固療法や肝動脈化学塞栓術（TACE）で対応困難な症例が主な対象となる。広島大学病院では肝腫瘍に SBRT を行う際、前処置として TACE を施行し、その際に治療目的にて注入する薬剤に混入する油性造影剤であるリピオドール（ゲルベジヤパン製）を腫瘍位置の照合に使用している。放射線治療を行う際には事前に取得した CT 画像を使用し治療計画装置（TPS）で線量計算を行い線量分布の確認を行っている。その際、既存の線量計算アルゴリズムでは、CT 値に応じて人体に含まれる物質を計算に用いる電子密度に割り当てて計算しているが、リピオドールのように人体内に含まれない物質に対しては適切な電子密度を割り当てて計算を行うことができず、また、過去の研究においてリピオドール中での線量計算の妥当性について検討は行われていない。今回、我々は、高精度線量計算が可能なモンテカルロ（MC）計算を使用し、リピオドール中及び周辺の線量変化について解析、検討を行った。

検討項目：

本研究の検討項目は、①MC 計算の精度検証、②標的にリピオドールが浸透している状態での標的および近傍の線量変化、③リピオドール充填標的における MC 計算と従来の TPS 計算の比較とした

方法：

①MC 計算の精度検証：MC 計算については Beamnrc/DOSXYZnrc コードを使用し加速器を仮想的に構築した。加速器は TrueBeam（バリアンメディカルシステムズ社製）を使用し照射条件は 10 MV フラッタニングフィルターフリービーム、 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の照射野とした。 $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ の水ファントム中に $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ の大きさで密度 1.28 g/cm^3 のリピオドールを深さ 5 cm に配置し、このリピオドールが充填されている領域を標的とした。標的周辺の深部線量百分率（PDD）と軸外線量比（OAR）について Gafchromic film（アッシュランド社製）を使用した実測との比較を行った。実測については MC 計算の統計学的誤差等を考慮し 3% を許容レベルとした。

②標的内リピオドール充填の有無による標的内の線量変化：次に、自作のファントムに設置した標的部分へのリピオドール充填の有無、及び過去に広島大学病院で TACE 後に SBRT を行い、標的にリピオドール集積のある 1 症例の CT 画像を使用し標的部分へのリピオドール充填の有無による標的線量の違いを MC 計算により検討した。リピオドールが充填されていない場合の計算は、リピオドール部分をすべて水に置換して行った。

③リピオドールが充填された標的における MC 計算と従来の TPS 計算の比較：同ファントム、過去の患者 CT 画像を使用し、リピオドール充填標的部分における MC 計算と既存の

TPS 計算との比較を行った。使用した TPS は Eclipse (バリアンメディカルシステムズ社製)、計算アルゴリズムは anisotropic analytical algorithm (AAA) と Acuros XB (AXB) とした。

結果：

①MC 計算の精度検証フィルムによる実測と MC の線量比較では、誤差は最大で 2.8%であり設定した許容レベル (3%) 以下であった。これにより加速器のモデリング、計算精度に関しては問題ないことが示唆された。

②標的内リピオドール充填の有無による標的内および近傍の線量変化

リピオドール有りの標的内ではリピオドール無しに比し平均 8.1%の線量増加を認めた。また、実治療症例の再計算結果においても同様の傾向であり、リピオドールが集積した標的内で 6.0%程度の線量増加を認めた。

③リピオドールが充填された標的における MC 計算と従来の TPS 計算の比較

ファントムにおける TPS と MC 計算に関する PDD の比較では、AAA ではリピオドール直前で最大 5.0%、リピオドール中で 7.4%減少し、リピオドール直後で 5.5%増加した。同様に、AXB ではリピオドール直前で 4.2%、リピオドール中では 9.8%減少し、リピオドール直後で 3.9%増加した。AAA では計算の際にリピオドールの組成として計算できずに水として密度のみ変化させて計算するアルゴリズムであることが要因である。AXB については水以外の物質を割り当てて計算が可能であるが、割り当て可能な物質のデータにリピオドールが含まれず別の物質で割り当てることが要因であると考えられる。以上から TPS での線量誤差は物質を正しく計算できていないことに起因し、これによりリピオドール前後では後方散乱等による影響、リピオドール中では質量エネルギー吸収係数が異なるためであると考えられる。また、実治療症例の再計算結果においてもリピオドール中において MC 計算の結果に対して AAA で最大 6.5%、AXB で 12.5%線量減少した。

結語：

肝腫瘍に対する体幹部定位照射において TPS で用いられる線量計算アルゴリズムではリピオドールの影響で投与線量に誤差を生じる可能性がある。リピオドールを使用することにより標的内の線量増加が起きることによって、臨床的な効果増強の可能性を示した。