

Effect of body thickness on the helical and direct treatment delivery modes.

—A phantom study—

医療科学専攻 DH14101 伊東 宏也

(指導教員：黒崎 弘正 客員教授)

【はじめに】

近年の放射線治療は強度変調放射線治療 (IMRT: intensity-modulated radiation therapy) を用いた治療が多く行われており、その技術により従来の照射法に比べ、腫瘍に対して線量を集中させることが可能であり、またリスク臓器への線量を少なくする照射が可能となった。また放射線治療単独治療だけでなく、化学療法と併用した化学放射線治療も多く行われ癌の治療成績の向上に貢献している。

しかし、化学療法での治療では、抗癌剤の副作用から食欲低下をきたし、体重減少がみられる場合がある。化学放射線治療中に患者の体重減少がみられると、治療計画時に比べ患者の体輪郭変化がみられ、その結果、腫瘍やリスク臓器に対する線量分布の変化があると報告されている。IMRT では腫瘍に線量が集中するため、わずかな体輪郭の変化が線量分布に影響を与え、治療成績や腫瘍制御に影響を及ぼすと考えられる。また副作用の発現リスクにも影響があると考えられる。IMRT の照射法に関しても様々な方法があり、多門照射と回転照射において同様の体厚変化であっても線量分布に与える影響が異なるという報告がある。

【目的】

膀胱腫瘍を想定したファントム実験により、放射線治療装置トモセラピーのヘリカル照射およびダイレクト照射において、体厚の変化がターゲットの線量にどのような変化をもたらすか、またリスク臓器への線量分布に与える影響について、ボーラスと2次元電離箱検出器を用いて、ターゲットの線量測定とガンマ解析を行い、dose volume histogram (DVH) よりターゲットとリスク臓器の線量分布について検討した。

【方法】

ファントム(2次元電離箱検出器)にボーラスを乗せた状態で、治療計画用CTにて治療計画画像を取得。ボーラスの厚さは25mmとした(5mm厚のボーラス1枚、10mm厚のボーラス2枚)。治療計画装置にて、ファントム中心に膀胱腫瘍を想定した直径60mmの円形の輪郭をPTV(planning target volume)として設定し、その両側に大腿骨頭を想定した直径40mmの円形の輪郭を設定した。PTVの下に直径30mmの直腸を想定したOAR(organs at risk)の輪郭を設定した。PTV及びOARの体軸方向の長さは60mmに設定し、大腿骨頭の輪郭の長さは40mmに設定した。線量計算はPTVに対して一回線量2Gy、処方線量50Gyの線量計算を行い、照射方法はヘリカル照射および4門のダイレクト照射(角度:45°、135°、225°、315°)とした。

ファントム上のボーラス厚を0mmから25mmまで5mmごとに減少させて線量を測定し、ガンマ解析によりPass率を求めた(25mm分のボーラスを乗せた状態を基準とし、この状態をボーラス厚変化0mmとした)。また同様にボーラス厚を変化させ、TomoTherapy software Planned Adaptiveを用いて作成したDVHより、PTVおよびOARの最大線量の線量誤差を求めた。

【結果】

ボークス厚を0mmから-25mmまで5mm毎に変化させ、2次元電離箱検出器にて測定したPass Rateの結果は、ヘリカル照射では、99.78、99.47、99.22、98.75、96.61、84.55%となった。ダイレクト照射では、99.00、97.34、95.44、93.58、90.85、81.29%となった。また同様に測定した線量誤差(ボークス厚変化0mmを基準とした誤差)は、ヘリカル照射では、ボークス厚変化が-5mmから-25mmまで0.76、1.14、2.18、2.99、3.93%となった。ダイレクト照射では、1.18、2.50、3.87、5.17、6.64%となった。

次に、DVHより求めた線量誤差(ボークス厚変化0mmを基準とした誤差)は、ヘリカル照射におけるPTVの線量誤差は、-5mm、-10mm、-15mm、-20mm、-25mmの変化で、0.85、1.64、2.69、3.81、5.18%、OARの線量誤差は、0.67、1.64、2.28、2.99、4.07%となった。同様にダイレクト照射におけるPTVの線量誤差は、1.51、3.29、5.27、7.78、9.95%となった。OARの線量誤差は、0.36、0.60、0.78、1.59、3.01%となった。

【考察】

臨床で使用されている、pass率95%以上、線量誤差±3%を許容値とした場合、ヘリカル照射におけるPass率は、-25mmのボークス厚の減少があると95%を下回り、線量誤差は、同様に-25mm以上の変化があると線量誤差は3%を超えて線量の許容範囲を超える。また、ダイレクト照射におけるPass率は-15mmのボークス厚の減少があると95%を下回り、線量誤差は同様に-15mm以上の変化があると、線量誤差は3%を超えて線量の許容範囲を超える。

本研究の結果から、ヘリカル照射においては20mm以上の体厚変化、ダイレクト照射では10mm以上の体厚変化があれば、線量と線量分布の許容値を超えるため、再治療計画を行う必要があると考えられる。

体厚変化以外に、体重変化から再計画のタイミングを計る場合、Ogawaの式より身長165cm、体重65Kgを基準として計算すると、体重10Kgの減少で20mm、体重5Kgの変化で10mmの体厚変化となる。この体重変化も再治療計画の必要性の判断に有用であると考えられる。

また、Chowらの報告では、VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) と固定多門照射 (7門) を用いた腹部に対する照射において、体厚の変化が線量分布に与える影響をシミュレーションしているが、体厚20mmの減少があると、VMATでは6%の線量誤差があり、固定多門照射では8%の線量誤差があったと報告しており、今回の検討においてもヘリカル照射はダイレクト照射に比べ体厚変化の影響が出にくい結果となり、VMATやヘリカル照射のような回転系のIMRT技法のほうが、固定多門照射やダイレクト照射のような固定照射IMRT技法より体厚変化の影響を受けにくいことが示唆された。

本研究では体厚変化は腹側のみの変化についてのみ考えたが、臨床では体輪郭の変化は複雑なものと考えられる。またターゲットとなる腫瘍は呼吸によりわずかながらも移動している為、これらの要因も線量分布に与える因子となると考えられるため、一概に体厚変化だけで治療再計画のタイミングを計るのは困難と考えられるが、治療再計画の目安の一つになると考えられる。

【結論】

臨床では照射中の患者の呼吸により体厚の変化は起きており、照射中の腫瘍の動きによって線量分布の変化が起きており、また治療期間中の腫瘍の増大または縮小によっても線量分布が変化することを念頭に置く必要があるものの、今回のファントム研究の結果からヘリカル照射においては体厚変化が20mm以上の変化、ダイレクト照射では10mm以上の変化が見られた場合、線量の許容誤差を超えてしまう為、治療再計画を考慮する必要性があると考えられる。