

(続紙 1)

京都大学	博士 (人間健康科学)	氏 名	岸 上 祐 加 子
論文題目	Application of three-dimensional organ models to improve robustness to interfractional anatomical changes in radiotherapy (放射線治療における日間変動に対する堅牢性向上に向けた三次元臓器モデルの応用)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>放射線治療はがんに対する主要な治療法の一つであるが、最大で約 2 か月に及ぶ治療期間中に発生する標的の位置・形状の変動 (以下、日間変動) が問題視されている。日間変動に対しては、それを補償するマージンと呼ばれる領域の設定や計画変更、毎治療前に行う位置照合での対応が一般的である。適切なマージンや計画変更時期の決定には日間変動の正確な解析が必要であるが、組織分解能が低い画像や間欠的なデータ等を用いた報告が大半を占める。また、位置照合では非属人的な方法が求められているが、現状は観察者の目視と手動で行われており、照合精度にばらつきが生じている。そこで本研究では、物体形状を頂点群と三角形メッシュで表現する三次元臓器モデル (以下、3D モデル) を用いて、これらの問題に取り組んだ。</p> <p>日間変動が大きい子宮頸がんに対して放射線治療を施行した 11 症例 (総治療回数: 273 回) を対象とした。計画時及び毎治療時に得られた MR 画像から子宮頸部、体部の輪郭を抽出後に 3D モデルへと変換し、前者を基準モデル、後者を対象モデルと定義した。</p> <p>本研究では、3D モデルを用いた日間変動の三次元評価を行うと同時に、非属人的な位置照合を可能とするアルゴリズムを開発し、以下の成果を得た。</p> <p>(1) マージンと計画変更時期の決定に資する子宮頸部及び体部の MR 画像に基づく三次元日間変動評価</p> <p>基準モデルの外側に存在する対象モデルの頂点と基準モデルとの距離から、右、左、腹、背、頭、尾方向の各マージンを算出した (以下、提案マージン)。各症例の基準モデルに対して提案マージン分拡張した関心領域を作成し、包含される対象モデルの割合 (以下、カバー率) を算出した。従来マージンでも同様の操作を行い、提案マージンの結果と比較した。計画変更時期を子宮頸部の体積変化率を基に定義し、同様の方法で計画変更前後のマージンとカバー率を求めた。提案マージンから作成した関心領域は子宮頸部では 17% 小さくなり、カバー率に有意差も認められなかった ($p = 0.85$)。子宮体部では 27% 大きくなったが、カバー率が 50% 未満の回数は 37 回から 5 回となり、日々のカバー率が向上した。また、計画変更時期として治療 16 回目が決定され、その前後に必要なマージンに大差はなかったことから、計画変更に伴うマージンの縮小は推奨されないことも示唆された。</p> <p>(2) 画像誘導放射線治療における臓器輪郭駆動型自動位置照合アルゴリズム</p> <p>照合時の標的位置を最適化するアルゴリズムを開発した。コスト関数は、基準モデルと対象モデルとの距離を基に定義し、重み付け係数で臓器毎の優先度を設定可能とした。重み付け係数の組み合わせには 3 つのシナリオを用意した。各シナリオで、コストが極小となる位置を最適位置とし、並進及び回転移動量を求めた。算出結果に基づき、並進移動のみ、または並進移動に加えて臨床と</p>			

(続紙 2)

<p>同様の $\pm 3^\circ$ 以内に制限された回転移動を、対象モデルに対して行った。その後、基準モデルから事前に決定した大小 2 種類のマージンを用いて関心領域を作成し、カバー率を求めた。全シナリオで、並進移動は背側、頭側が大きく、過去報告と同様の傾向であった。回転移動はピッチ角が顕著であり、最大で 84.3° であった。これに対して、$\pm 3^\circ$ 以内に制限された回転移動の有無による、カバー率の中央値の差は 1% 以下であった。</p> <p>以上の研究は、3D モデルを用いて日間変動の三次元評価を行うと同時に、簡便で非属人的な位置照合アルゴリズムを開発し、日間変動が大きい子宮頸がんでの有用性を明らかにしたものである。本研究成果は他疾患に対しても適用可能であり、放射線治療における日間変動に対する堅牢性向上が期待される。</p> <p>(論文審査の結果の要旨)</p> <p>放射線治療では、標的の日々の形状変化等 (日間変動) に対応する目的で、マージン設定や位置照合が行われる。正確なマージン設定には、日間変動を精密に解析する必要があるが、不定期に撮影された画像や低画質な画像を用いた二次元解析による報告が大半である。また、位置照合も個人の判断に依るため、照合精度にばらつきが生じる。これらの課題に対処するため、本研究では放射線治療を施行した子宮頸がん 11 症例を対象に、連日撮影された計 273 セットの MR 画像から得られた三次元臓器モデル (3D モデル) を活用した。</p> <p>はじめに、計画日と治療日の変位量から非等方マージンを算出した結果、既報告と比較して子宮頸部で縮小し、体部で拡大することを明らかにした。また、子宮頸部の体積変化率に基づいて変更した計画で日間変動を補償するためには、計画変更前と同程度の非等方マージンが必要であることも明らかにした。</p> <p>次に、計画日と治療日における標的間距離を最小化する位置照合自動化プログラムを作成した。検証の結果、補正方向は既報告と同様の傾向を示した。また、適切なマージンを設定した場合、日間変動への対応は並進補正のみで十分であることが示唆された。</p> <p>以上の研究は、3D モデルを活用した日間変動への対応策を提案し、子宮頸がんでの有用性を明らかにしたものである。本研究成果は他疾患にも応用可能で、放射線治療における日間変動に対する堅牢性向上が期待される。</p> <p>したがって、本論文は博士 (人間健康科学) の学位論文として価値あるものと認める。なお、本学位授与申請者は、令和 6 年 1 月 5 日実施の論文審査とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。</p>

要旨公開可能日: 年 月 日以降