

別紙 4

報告番 ー	※ ー	第
----------	--------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 ExacTrac®システムを用いた皮膚マーカースレス乳房照射の
セットアップ方法の開発とその評価
氏 名 丹羽まい子

論 文 内 容 の 要 旨

1. 背景・目的

放射線治療は標的に放射線を集中させると同時に、周囲の正常組織の被ばくを最小限にしなければならぬ。このため、より正確な治療を行うためには放射線治療計画 CT 撮影時と照射時の体位の再現性が重要となる。乳がんへの放射線治療では従来は患者の皮膚に十字状の印を描き、それを指標にセットアップをしていた。一方、その印を治療期間である 5 週間消えないように保持し続けなければならないため、生活の制限や精神的ストレスが患者に生じていた。さらに皮膚の伸縮や動きによって、体内構造物と皮膚の位置関係が変わってしまうというスキンスフトが生じ、セットアップの再現性に限界があった。また Annual Young Survival Coalition (YSC) meeting での調査にて、乳房温存術後照射を受けた女性のうち 70%が皮膚マーカースレスへ嫌悪感を抱いており、78%の女性が皮膚マーカースレスを必要としない別の照射方法があるのであれば、そちらを選択したいとの集計のがされた。そこで近年では皮膚マーカースレスを必要としない surface guided radiotherapy (SGRT) という方法の研究が進みつつある。SGRT では光学式患者ポジショニングシステムを使用して患者の皮膚表面をスキャンし、治療計画時の患者の体表面イメージと合わせこむことで、皮膚の印を必要としないで患者のセットアップを行うことができる。しかし現段階では、印を付けたり、乳房内に金属マーカースレスを植え込まないとセットアップ精度を維持できないとの報告がある。また、光学式患者ポジショニングシステム専用の装置を必要とするが、高額であるため、まだ広くは普及していない。

そこで ExacTrac®システムを乳房照射に適用することを提案する。ExacTrac®システムとは、kV の X 線撮像システムと赤外線カメラによるナビゲーションシステムにより構成され、患者セットアップを従来に比べ高精度かつ短時間に実施することができるシステムである。ExacTrac®システムは幅広い部位の放射線治療に用いることができるため、現在多くの施設に導入されている。しかし ExacTrac®システムは骨の構造を指標にして患者のセットアップを行う為、骨構造の乏しい乳房照射にはこれまでは使われることはなかった。そこで乳房近辺の骨構造を指標としてセットアップを行い、その骨構造と乳房

の位置関係を補正する事により、ExacTrac®システムを乳房照射へ適用する。本研究の目的は、ExacTrac®システムを用いる事によって皮膚マーカを必要としない乳房照射のセットアップ方法を確立し、そのセットアップ精度を明らかにすることである。このセットアップ方法により、皮膚マーカ保持のための生活制限やストレスがなくなり、さらにはスキンシフトに起因するセットアップの不確かさが軽減されることが予想される。

2. 方法

トヨタ記念にて乳房部分切除の乳房温存術後照射を行った患者を対象に①患者の皮膚に印を描きそれを目印にセットアップをする方法(従来法)と、②ExacTrac®システムを用いる事によって皮膚の印を必要としない乳房照射のセットアップ方法(ExacTrac 法)の二つのセットアップ方法を実施しそのセットアップ精度を比較した。本研究での従来法、ExacTrac 法の手順を下に記す。

従来法:4つの皮膚マーカを使用する。技師によって、室内の位置決めレーザーに皮膚マーカを合わせるように患者のセットアップを行い、治療前に乳房を撮影して乳房の輪郭と肋骨の位置関係が治療計画と合っているかを確認してから治療を行う。

ExacTrac 法:ExacTrac®システムによるセットアップでは照射野中心であるアイソセンターが照合画像の中心として用いられる。しかし乳房照射のアイソセンターは乳房中心にあるため、患者の位置決めのための照合画像に、肋骨や肩関節といった呼吸や腕の曲げ伸ばしで変動する骨構造が含まれてしまう。こういった骨構造による位置照合の間違いを防ぐために、仮想のアイソセンターを用いた。仮想アイソセンターには治療計画CTでアイソセンターと同スライス上の椎体を使用した。照射手順は3ステップである。まず患者を寝台に寝かせる。従来法と同じように、体位は仰臥位で両手をブレストボードの上にあげた状態である。ステップ1として、患者をアイソセンター近傍にセットアップする。このステップ1では乳房中心付近にアイソセンターが来るように目視で確認する簡単な位置合わせで十分である。ステップ2では、治療計画CT画像から計算されたアイソセンターと仮想アイソセンターの位置距離をもとに、患者を仮想アイソセンターへと移動する。そして仮想アイソセンターにて、ExacTrac®システムの画像照合による患者のセットアップを行う。2つのkVのX線装置で患者を撮影し、治療計画CTの画像と現在の患者の画像を照合することで、患者のセットアップを行う。仮想アイソセンターでのセットアップ終了後、CT画像から計算されたアイソセンターと仮想アイソセンターの位置距離をもとに患者をアイソセンターへと移動する。

二つのセットアップ方法の比較には、患者透過後の治療用X線ビームデータを利用した。患者透過後の治療用X線ビームから作成された実際の照射結果を表す積算線量画像を、治療計画装置からあらかじめ予測される積算線量画像との比較を行い、その画像の一致率を計算することで、治療計画通りに放射線治療が行われているかを解析した。解析にはGamma解析を用い、従来法とExacTrac 法の患者のGammaパス率の平均と標準偏差を算出した。Phantom実験よりGamma判定基準3%/3mmを本研究の最適値として用いた。

3. 結果および考察

Gamma 解析の結果、Gamma パス率の平均は従来法で $86.0 \pm 10.2\%$ 、ExacTrac 法で $90.9 \pm 6.9\%$ であった。この結果より、本研究で新しく開発した ExacTrac 法は従来法と変わらない精度で実際に患者のセットアップを行うことが明らかとなった。本研究での Gamma パス率は、治療機器起因の誤差と患者起因の誤差を含んでいる。特に、患者の呼吸は照射中にも胸郭が 2.0 ± 0.7 mm 動くことが知られている。積算線量画像での誤差は乳房の辺縁で大きくなったことから、患者の呼吸による誤差の影響が大きいことが示唆される。

従来法の Gamma パス率は、治療の終わりに従って低くなる傾向にあった。これは乳房の変形やスキーンシフトの影響が大きくなっていくためであり、従来法は放射線技師が患者の体を捻って整位するためその影響が大きくなった。また Gamma 解析の結果を照射前の画像と重ね合わせて、線量差の出ている部位を確認することで、次の日の整位に役立てることができた。

さらに乳房の体積が 500 ml 以上、500 ml 以下の 2 グループに分類して Gamma パス率の変化を分析したところ、500 ml 以上のグループの方の Gamma パス率が低い傾向であった。これは大きい乳房の方が、照射による形の変化や毎回の患者セットアップによる乳房のねじれの影響が大きいので、セットアップの再現性が悪くなるためである。従来法では技師が手で患者の体を捻って角度を直すため、この影響は大きくなる。

しかし ExacTrac 法では毎度の治療で、画像照合のための k V 画像撮影として 0.551 mGy の追加線量が照射されるため、このことも考慮して使用されることが勧められる。

4. 結論

本研究で新しく開発した ExacTrac 法は皮膚マーカを必要としない乳房照射のセットアップ方法として、従来法と同等以上のセットアップ精度を誇ることが証明された。

ExacTrac®システムは現在多くの施設に導入されているため、この ExacTrac 法が皮膚マーカを必要としない乳房のセットアップ方法の一つとして、広く広がることが期待される。