

論文要約

平成13年入学

医歯学総合研究科 先進治療科学専攻

研究分野 放射線診断治療学分野

氏名 有村 健

【タイトル】

陽子線治療における早期乳癌に対するハイブリッド式乳房固定システムの実用性研究

【序論および目的】

肺癌、肝臓癌、前立腺癌などの一部の病態では、放射線治療の高精度化に伴い、根治的照射が可能になったが、乳癌における放射線治療の役割は、術後照射などの補助療法、或いは除痛などを目的とした緩和療法に留まり、根治的照射に耐えうる高精度な乳房固定技術は存在しなかった。

乳房は胸郭外に位置し、重力や呼吸の影響を受けやすい臓器である。仰臥位では視認性や体位保持に優れるが、乳房が側方に流れ、肺や心臓に近接するため、放射線による障害のリスクが高まる。一方、腹臥位では乳房が胸壁から離れるため、肺や心臓に対するリスクは低減できるが、長時間の体位保持が難しく、呼吸や体動の影響を受けやすい。また個体差や加齢変化への対応も高精度化を困難にしている。

仰臥位と腹臥位のそれぞれの利点を取り込み、陽子線を用いた高精度な乳房照射に耐えうる新しい乳房の固定装置を開発し、女性ファントムを用いて実用性を検証した。

【材料および方法】 開発した乳房固定装置（HyBIS：Hybrid Breast Immobilization System）は次の6つの装置群で構成される。①全身固定システム、②体位反転装置、③フォトスキャンシステム、④乳房カップ装着装置、⑤乳房カップ保持具、⑥専用ストレッチャーである。それぞれの特徴や使用方法について、固定の手順に沿って説明する。

まず、①上で患者（ここでは女性ファントム）を仰臥位に設置し、備え付けのベルトと吸引式バッグを用いて患側乳房以外を固定する。次に①を②に移動させ、任意の角度（腹臥位～斜位）に体位を変換する。本法における固定に最適な角度は、乳頭中心を通る鉛直線に対し、乳房が左右対称になる角度である（ $140\sim 180^\circ$ ）。③で取得した写真を元に乳房の3Dモデリングを行い、乳頭孔や支持棒、曲率調整などの処理を行った後、3Dプリンターを用いて樹脂製のカップを作成する。水に濡れると粘着力を失う素材を内張りしてカップは完成する（カップ製作の所要日数5日）。④にカップを装着し、乳頭孔の中心と乳頭中心を鉛直線上に揃えた後、カップを垂直に持ち上げ、乳房に押し当て密着させる。その後、装置と支持棒を切り離し、患者を仰臥位へ戻す。最後に、⑤を用いてカップの支持棒を専用寝台に連結すると、乳房の固定は完成する（乳房固定の所要時間20分）。⑥は、治療台一体位反転装置間の移動や全身の固定、カップの保持などの作業に用いる。

上記に加え、乳房の位置精度検証を目的とする女性ファントムを開発し、女性乳房（60歳想定）の性状および形状変化、呼吸による胸郭の多様な動きを再現した。さらに5mm大のX線不透過マーカ

一を乳房内にそれぞれ 13 個ずつ埋め込み（ほぼ等間隔に乳頭直下 1 個，内側 6 個，外側 6 個），乳房の各部位における正確な位置や動きを検証できるようにした。

東芝製自走式 4DCT を用いて，HyBIS が如何に乳房の動きを抑制するかについて検証した．CT の撮影条件はスライス厚 2 mm／ピッチ 1.2 で，安西製呼吸同期システム(AZ-733V)を用いて同期させ，1 呼吸サイクルを 10 相に分割し，それぞれ 2 mm 厚で再構成した．ファントムの呼吸設定（移動距離／テンポ）はそれぞれ 15 mm／17 bpm (beats per minute)とした。

さらに，呼吸性移動を行わない状態での乳房固定の再現性（10 回）とカップの厚み（3 mm）によるビーム飛程の影響を調べた。

【結 果】

HyBIS を用いて乳房を固定した場合と HyBIS を用いなかった場合における乳房内マーカーの平均移動距離±SD（前後方向／頭尾方向／左右方向／3D 移動）は，それぞれ $2.7 \pm 1.7 / 0.3 \pm 0.5 / 0.9 \pm 0.8 / 3.1 \pm 1.6$ ， $5.5 \pm 2.9 / 0.6 \pm 0.8 / 0.5 \pm 0.4 / 5.6 \pm 2.9$ (mm)であり，呼吸に伴う乳房の動きは，HyBIS を用いることにより，特に前後方向および 3D 移動において有意に抑制された（それぞれ $p=0.014, 0.007$ ）。

またマーカー群を乳頭に近い内部群（7 個）と乳頭から離れている外部群（6 個）に分けた検討では，それぞれの平均移動距離±SD（前後方向／頭尾方向／左右方向／3D 移動）は，内部群では $2.5 \pm 1.0 / 0.6 \pm 0.5 / 0.7 \pm 0.5 / 2.7 \pm 1.1$ ， $6.0 \pm 2.5 / 0.6 \pm 0.8 / 0.5 \pm 0.2 / 6.1 \pm 2.5$ (mm)，外部群では $2.9 \pm 2.4 / 0.0 \pm 0.0 / 1.2 \pm 1.0 / 3.4 \pm 2.1$ ， $4.9 \pm 3.5 / 0.7 \pm 0.8 / 0.5 \pm 0.6 / 5.1 \pm 3.4$ (mm)であり，HyBIS は，特に乳頭に近い領域の前後方向および 3D 移動に対し，有意に抑制した（それぞれ $p=0.020, 0.017$ ）。

初期のポジションにおける乳房内マーカーの平均移動距離±SD（前後方向／頭尾方向／左右方向）は，それぞれ $0.0 \pm 0.1 / 0.0 \pm 0.1 / 0.0 \pm 0.2$ (mm)であり，良好な再現性が確認された。

また，カップ厚だけビーム飛程が短くなることが確認され，ビームに乳頭孔が入る場合は，カップの厚み分（本研究では 3 mm）のマージンを考慮する必要がある。

【結論および考察】

我々は，女性ファントムを用いた HyBIS の実用性研究を行い，下垂乳房の形状が仰臥位でも維持され，呼吸性移動に対する抑制効果があることを示した。

乳癌に対する放射線治療の局所制御率の低さは，低い固定精度とリスク臓器への接近に伴う線量不足に起因すると考え，リスク臓器から腫瘍を引き離し，安全に高線量の照射を可能にする高精度な乳房固定法の開発を行った。

固定精度の検証には，通常，X 線透視装置や CT などが用いられるが，被曝が避けられないため，倫理的配慮およびリスク回避の観点から，女性ファントムを作成し，検証に用いた。

胸郭の振幅 15 mm は，深呼吸レベルの大きな呼吸性移動を想定したものであり，実際の臨床では，より良好な呼吸性移動に対する抑制効果が期待される。

本研究はファントム実験であり，個体差や加齢変化，月経周期に伴う乳腺の変化など，人体での乳房の多様性に対する HyBIS の有用性については，検証されていない。しかしながら，カップの素材や厚み，曲率調整などにより，柔軟に対応できると考えている。