

氏 名	さわ だ あきら 澤 田 晃
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第 3993 号
学位授与の日付	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	画像誘導による放射線治療の高精度化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 丸 橋 晃 教授 伊 藤 秋 男 教授 平 岡 真 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はがんの放射線治療フローにおける治療精度に係わる中心的諸課題を解決し治療の高精度化を実現するために行った画像情報処理技術の改良・開発応用の結果をまとめたものであって、5章からなっている。

第1章は緒論であり、本研究の背景、放射線治療の歴史、放射線治療の高度化、本研究の目的および意義、および本論分の構成を説明している。特に放射線治療の高度化については、現在までに研究開発されてきた病巣への線量集中性を高める治療法である密封小線源治療、原体照射法、定位放射線照射、強度変調放射線治療、重荷電粒子線治療およびホウ素中性子捕捉療法に関する有用性と課題を整理し説明している。

第2章は胸部X線画像における肺腫瘍陰影の検出に関する研究、すなわちがん集団検診における膨大なデータの短時間処理における誤診断の問題を解決することを目的とした画像処理に関する研究について論じたものである。診断に使用されるX線単純撮影において骨部領域と軟部領域とを透過したX線のエネルギースペクトルは異なり、同一の通過するフィルタの前後のこれらの強度分布には相違が生じる。この差異を利用して両者の差分を行って得られるエネルギー差分画像では骨部領域が除去されたものが得られる。このエネルギー差分画像と従来から使用されている画像に対し3種のフィルタを用いて肺腫瘍陰影検出能(検出個数評価および面積率評価)をFROC解析により評価し、最適な検出法としてエネルギー差分画像を本研究において開発した多重解像度フィルタの組み合わせを提案している。

第3章では照射制度に大きな影響を与える治療時の患者の位置決め自動化に関する画像情報処理の新しい提案を評価しその有用性を明らかにしている。この課題は照射精度と線量集中性が高度になればなるほど重要性がますますものであり、現状においては最も高度な陽子線治療の実際を対象として論じている。本提案はエッジ画像の2値画像相関を用いるもので、位置決め用X線画像のエッジ画像に対して併進量と回転量をパラメータとして、正規化2値画像相関値が最大となるときの条件を位置決め量とするものである。臨床データに対する実験を行い、本位置決め法の有効性を示すとともに、エッジ抽出性能を変化させたシミュレーション画像を用いた評価により本法がエッジ抽出精度に対するロバスト性を十分有することを明らかにしている。

第4章ではX線治療を対象として、超音波診断画像を用い、照射時の病巣の呼吸性移動に対して非侵襲かつ実時間に病巣をモニタリングし、照射のタイミングを制御する手法についての研究成果をまとめている。腫瘍の呼吸性移動についての治療計画時における照射領域の設定はその移動量を考慮したマージンを含めて行われている。このため、正常組織への照射が余病併発の可能性として問題となっている。これに対して、X線照射治療装置、3次元位置センサ、3次元超音波診断装置および画像処理装置のシステムを開発し動態ファントムを用いた原理実証実験を行い、制御可能移動距離をミリメートルオーダー以下とすることが可能であることを示した。このことにより、実時間的な腫瘍モニタリングが可能となり従来に比べて少ないマージンの治療領域の設定が可能であることをあきらかにしている。

第5章は結論であり上記の研究内容の要旨をまとめたものである。特にがん罹患率の上昇と高齢化の進行という社会的状

況を背景に「きらないメス」としての放射線治療への期待が本研究の背景にあることに言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は放射線治療の高精度化を目的とし、放射線治療の成否に決定的な重要性をもつ治療前の病巣の有無判定とその位置、照射時の患者体位及び病巣の照射中の呼吸性（周期的）移動についての情報の画像処理技術開発に関してまとめられたものである。放射線治療においては、正常組織への線量の極小化とがん病巣への高線量付与（線量集中照射）が前提であり、このため、多様な診断画像情報を利用した線量投与配分計画とそれに基づく高精度の照射が不可欠である。しかしながら、臓器・組織は三次元的に複雑な配置構造をとり、しかもそれらは絶えず移動状態にある。診断画像情報から病巣に関する偽情報を除去し的確な照射体位を決定し、経時的に変動する人体各部情報をリアルタイム的にフィードバックし高精度に照射を制御する課題は困難ではあるが不可避免的に緊要の課題である。本論文はこのような課題を解決するため、がん組織の存在認識法、患者の照射体位の自動位置決め法ならびに移動臓器のリアルタイムの位置情報取得とそれに基づく同期照射法について研究しその成果をまとめたものであり、得られた知見は以下の通りである。

- 1) がん治療において最も重要視されている肺がんについて、偽画像情報を除去し微小病巣診断の正審率を高める肺腫瘍自動描出手法を開発した。骨組織と軟部組織ではX線との各種相互作用比率が異なることにより画像に用いられる透過X線のエネルギースペクトルには差異が生じ、その強度分布は一樣厚の吸収板の透過前後で異なるものとなる。この原理を利用し、銅吸収板の前後にセットしたイメージングプレートにより2種の画像を得、差分画像（エネルギー差分画像）を処理する多重解像度フィルタ法を開発し、従来の方法よりすぐれた肺腫瘍の自動描出能であることを確認している。
- 2) 患者の体位の同一性の確保（位置決め）のため、Canny edge filterにより二値画像化した骨エッジ画像に膨張処理をほどこしリハーサル画像（線量投与配分計画用画像から与えられる）と照射直前の画像を比較し、並進量と回転量をパラメータとする評価アルゴリズムを開発し、それらの相関値が最大となる条件を移動量とする位置決め法を提案しその有効性を明らかにしている。また、本手法のロバスト性についても検証し、本法が放射線治療患者数の増大という社会的ニーズにマッチするものであることも明らかにしている。
- 3) 呼吸性移動を最大の移動量として経時的に変化し続けている病巣に局限した照射を実現するため、腫瘍をリアルタイムで捕捉する三次元超音波診断をベースとする間歇的照射システムを開発し、製作した動体ファントムを用いその有効性を明らかにしている。現状で用いられている手段の多くが腹壁の変化を測定対象とする間接的捕捉法であり、これらに対する本制御手法の優位性を明らかにしている。

以上のように、本論文は放射線治療を速やかに高精度化し、がん治療法としての放射線治療の有効性を確実にするとともに増大するその社会的ニーズに応える革新性を有する技術を提供するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年2月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。