

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K17132

研究課題名（和文）体表面モニターを用いた、低侵襲・高精度な呼吸管理による新規放射線治療法の開発

研究課題名（英文）Development of new respiratory monitoring technique in radiotherapy with surface monitoring system

研究代表者

齋藤 正英（SAITO, Masahide）

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：80790427

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：放射線治療領域において体表面モニターを用いて体表面位置から体内位置を予測するアルゴリズムの開発に着手した。成果として、Deformable image registration (DIR) を用いて体表面移動のベクトルマップを算出し、体内移動と体表面移動を関連付ける手法を開発することに成功した。また、実際の治療中の予測に用いる体表面モニター自体の精度検証を実施し、臨床使用に十分な精度を有することも明らかにした。さらに、開発した予測アルゴリズムを検証するための複数の駆動系を有する動体プラットフォームの開発にも着手した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

呼吸性移動を伴う臓器に対する放射線治療において、従来は正確な位置把握のために体内に金マーカーを留置したり、X線による被ばくを伴う場合が多かった。本研究はこれらの侵襲的な手技を必要とせず高精度な放射線治療を実現することを目的としている。本研究の成果は、被ばくやマーカー留置を伴わない体表面モニターを用いた呼吸の管理を実現可能にするための一助となり、肺がんなど呼吸性移動を伴う臓器に対する放射線治療の副作用低減および治療率の向上に貢献すると思われる。

研究成果の概要（英文）： We developed an algorithm to predict the tumor position from the body surface position using the optical monitoring devise. As a result, we succeeded in developing a method to calculate the vector map of body surface motion using deformable image registration (DIR) and to relate the body surface motion to the internal tumor motion. We also verified the accuracy of the optical monitoring devise itself used for prediction during actual treatment, and found that it has sufficient accuracy for clinical use. Furthermore, we developed a dynamic platform with two drive systems to validate the developed prediction algorithm.

研究分野：放射線治療

キーワード：放射線治療 肺癌 定位放射線治療 非剛体位置合わせ 動体ファントム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の放射線治療においては、画像誘導放射線治療 (IGRT) が急速に普及し、より正確な患者位置合わせが可能となった。一方で、一般的な IGRT の利用は、CT や X 線透視による被ばくがあり、リアルタイムの患者の監視などの長時間の利用が必要な場合は不向きである。

体表面位置照合に基づく放射線治療 (Surface-guided radiotherapy; SGRT) は近年普及しつつある新規の IGRT 技術のひとつであり、これはレーザーや赤外線による走査機構を有したデバイス (体表面モニター) を用いて、患者体表面を認識することによって実現される。すなわち、検出した患者体表面と、治療計画 CT 画像から再構成した基準体表面を照合することによって、正確な位置合わせを行うというものである。この手法の大きなメリットとして、無被ばく (低侵襲) で高精度な体表面位置照合が可能であることがあげられる。

SGRT は治療前の患者位置合わせに利用する以外にも、治療中の患者体表面監視において有用となりうる。特に呼吸性移動対策に用いることもできると予測されるが、体内の腫瘍位置を直接監視できる方法ではないため、体表 体内位置の関連付けが重要である。この関連付けがうまくいかない患者の場合は、呼吸管理による照射を安全に実施することができない可能性がある。

この問題に対し、研究代表者は、あらかじめ CT 画像などを用いて患者毎に最適な体表面監視位置やその組み合わせを算出しておき、治療時はその位置を、体表面モニターを用いて監視することにより、低侵襲 (無被ばくかつマーカースレス) でかつ従来よりも高精度な呼吸管理が実現できないか考えた (図 1)。

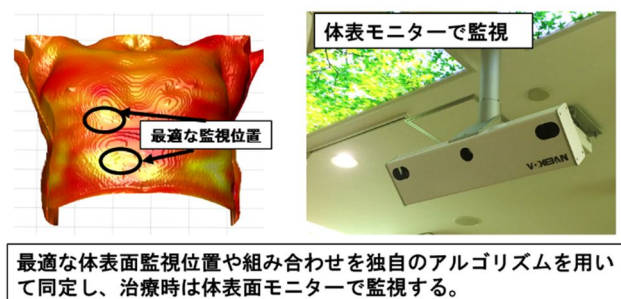


図 1 体表モニターによる治療時の監視

### 2. 研究の目的

本研究では、腫瘍移動を最も良く制御できる体表面位置を独自のアルゴリズムを用いて同定し、体表面モニターを用いた低侵襲 (無被ばくかつマーカースレス) な呼吸管理による新規放射線治療を実現することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 体表移動算出アルゴリズムの開発と過去の肺がん症例の解析

本研究では非剛体位置合わせ技術 (以下 DIR) を用いた体表移動算出アルゴリズムの構築を実施した。同一患者において異なる CT 画像間の DIR を実施し、その際に得られた変形ベクトル場 (以下 DVF) について体表面のみ抽出して使用することで、体表面の各方向の動きを取得することができる。この情報と、体内の腫瘍位置情報を関連づけることによって、体表移動のみから任意の体内位置予測を可能にする。このアルゴリズムは、研究代表者独自のものであり、本研究の実現によって、呼吸管理を必要とする放射線治療や SGRT の発展に大きく寄与する可能性がある。

#### (2) 体表モニターの利用と精度検証、及び検証用の動体プラットフォームの開発

実際の治療時には患者体表面上を体表モニター (レーザー) によって走査することで、体表面輪郭の構築、及び胸腹部全体の呼吸管理が可能である。一方で、体表モニターによる監視と開発したアルゴリズムを利用することによる体内移動制御が精度良く実施されているかを確認するために検証用の動体ファントムを開発する必要がある。動体ファントムは体表移動を制御するための軸と、体内移動を制御するための軸の 2 軸を同一ソフトウェアで制御できるものを構築した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 体表移動算出アルゴリズムの開発と過去の肺がん症例の解析

図2に体表位置同定のアルゴリズムの概要と、それを用いて取得した典型的な体表の動きを示す。1stCTから2ndCTに向けて画像強度に基づくDIRを実施し、取得した体表位置のDVFを抽出することで、各方向の体表移動の数値を得ることを実現した。(論文1)

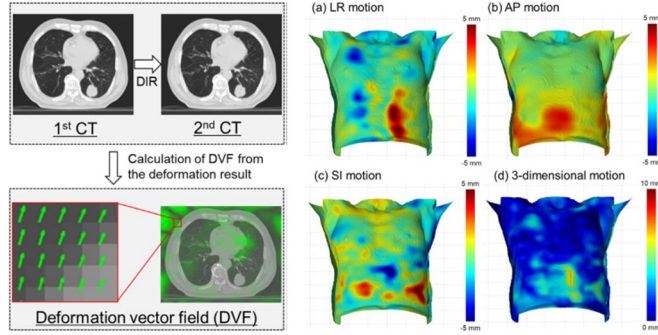


図2 CT画像とDIRを用いた体表移動算出の概要

図3に体表部位(胸部)のセクター区分、図4に実際の早期肺がん症例(息止め下、計40症例、平均年齢80.1歳)から抽出した各セクター区分の体表移動量と体内腫瘍移動量の関連を示す。図4のグラフは縦軸が体内腫瘍の3次元移動量、横軸が体表の3次元移動量を示している。上葉病変(a, b)では体内の呼吸性移動が小さいため、体表が動いても体内に変動が少ないことが分かるが、中葉及び下葉病変(c, d)では体内の移動が大きく、体表の移動に敏感に反応していることが分かる。

今後の研究の展望としては、単純な相関予測以外にも機械学習を用いたさらに高精度な予測アルゴリズムを構築する予定である。これについては、現在、健常ボランティアのMR画像を用いたアルゴリズムの検証を実施中である。

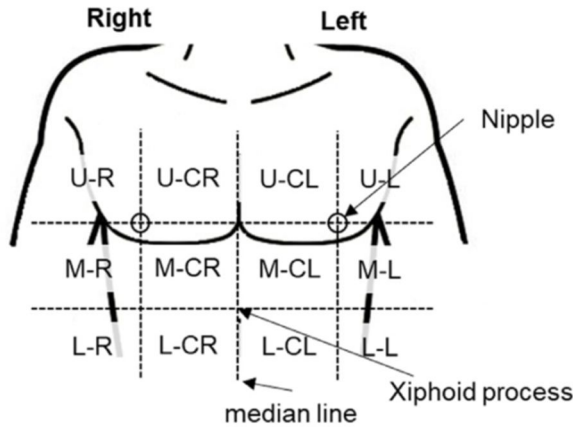


図3 体表部位のセクター区分

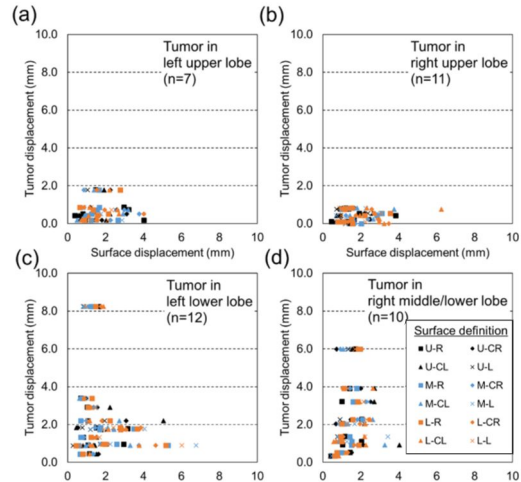


図4 体表-体内腫瘍移動量の関連

##### (2) 体表モニターの利用と精度検証、及び検証用の動体プラットフォームの開発

体表モニターの利用については、主に胸部領域(左乳房)に関して実際に臨床で呼吸管理に使用した経験を学会で報告した(学会発表1,2)。また、それ以外の部位に対する利用についても人体ファントムを用いて基礎的検証を実施し、体表モニターの認識精度は並進軸では1mm以内、回転軸では1度以内と良好であったことを学会で報告した(学会発表3)。

検証用ツールとして構築した動体プラットフォームを図5に示す。本ファントムは体表と体内の動きを再現するために2つの駆動系を有しており、それぞれの駆動部を頭尾方向、左右方向、腹背方向の3軸に対して、ソフトウェアに読み込んだ任意の呼吸の波形通りに動かすことが可能である(学会発表4, 学会演題登録済)。将来展望として、本ファントムを用いたシステム全体の検証を実施することが期待される。

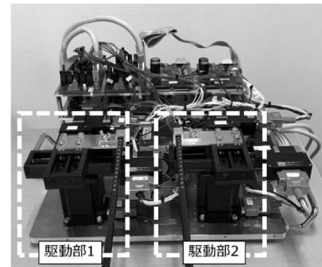


図5 動体プラットフォーム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saito Masahide, Sano Naoki, Kuriyama Kengo, Komiyama Takafumi, Marino Kan, Aoki Shinichi, Maehata Yoshiyasu, Suzuki Hidekazu, Ueda Koji, Onishi Hiroshi	4. 巻 46
2. 論文標題 New method for measurement of chest surface motion in lung cancer patients: Quantification using a technique of deformable image registration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Dosimetry	6. 最初と最後の頁 111 ~ 116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.meddos.2020.09.001	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Masahide Saito, Naoki Sano, Hidekazu Suzuki, Koji Ueda, Takafumi Komiyama, Kan Marino, Shinichi Aoki, Yoshiyasu Maehata, Ryo Saito, and Hiroshi Onishi
2. 発表標題 Deep inspiration breath-hold irradiation for left side breast cancer using a new combination of respiration monitoring device and optical body surface monitoring system
3. 学会等名 The 7th Japan-Taiwan Radiation Oncology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Saito, N. Sano, H. Suzuki, K. Ueda, T. Komiyama, K. Marino, S. Aoki, Y. Maehata, R. Saito, K. Yoshizawa, K. Ashizawa, and H. Onishi
2. 発表標題 Deep Inspiration Breath-Hold Irradiation for Left Side Breast Cancer Using a New Combination of Respiration Monitoring Device and Optical Body Surface Monitoring System
3. 学会等名 ASTRO's 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田 幸治、齋藤 正英、鈴木 秀和、芦沢 和成、佐野 尚樹、大西 洋
2. 発表標題 3次元体輪郭計測装置における体表面位置認識精度についての基礎的検討
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会 第32回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 正英、川上、秀之、鈴木、秀和、佐野、尚樹、鈴木、俊博、大西、洋
2. 発表標題 3軸動作可能な2駆動系を有する動体検証用プラットフォームの開発
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会 第34回学術大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関