

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23791473

研究課題名(和文)高精度体幹部限定照射のための超音波画像を用いた3次元臓器運動のリアルタイム追跡

研究課題名(英文) Real-time tracking of three-dimensional organ motion using ultrasound images for high-precision irradiation restricted to abdominal

研究代表者

久保田 佳樹 (Kubota, Yoshiki)

群馬大学・重粒子線医学推進機構・特任助教

研究者番号：40583076

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：呼吸同期放射線治療における安全かつ高精度な臓器運動計測法として、超音波画像からの臓器動体の追跡法および臓器動体の定量化法の研究開発を行った。提案手法は、対象物体の長時間の安定した追跡が可能とするために、多数の特徴点を利用した新たな追跡方法を用いた。超音波用動体ファントム画像及び被験者画像を用いた検証により、様々な部位の長時間の安定した追跡が可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：As a safety method for measuring organ motion in respiratory-gated radiotherapy, we studied and developed a quantitative tracking method for organ motion. Our proposed method uses a large number of feature points to achieve a suitable tracking for a long term. The method was validated for moving phantom images and the subject images, and the result showed that our proposed method was possible to track some parts of organ for a long term.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：放射線科学

キーワード：超音波画像 動体追跡 3次元追跡 放射線治療 呼吸同期照射

## 1. 研究開始当初の背景

がん対策基本法の施行を背景に、がん治療法の一つとして放射線治療が拡大しつつある。なかでも粒子線治療では、ブラッグピークの特性を利用して、通常のX線よりもシャープな線量分布を形成可能であり、これによって腫瘍標的に線量を集中させ周辺正常組織への線量を低減できる。

一方、胸腹部の臓器は呼吸によって常に運動している。従来は運動の最大範囲まで照射野を拡大することで照射してきたが、その場合、正常組織も広く照射されることになり、粒子線の線量集中性を活かさない。このような場合、呼吸位相に合わせて特定のタイミングで照射する呼吸同期照射法が研究開発されてきており、粒子線治療に限らず、通常のX線でも体幹部定位放射線治療として広く利用されつつある。

呼吸同期照射では、呼吸位相を検出するために、体表面の呼吸変動をセンサーで検出する間接的手法と、標的近傍に金属マーカを刺入しこれをX線透視で追跡する直接的手法のいずれかが主に利用されている。間接的手法では、体表面の位置変動と実際の標的運動の相関が各患者でどの程度であるかが問題となる。臨床的には、体表面の変動から得られる呼吸波形を数分間にわたって観察すると、ドリフトと呼ばれる波形全体のシフトが観察される場合があり、これが実際の体内臓器の位置変動を反映したものであるかの判断ができない。一方、直接的な手法では、マーカ刺入作業に伴う患者への侵襲性とX線透視による被ばくが問題となるとともに、X線透視装置と照射装置の干渉を避けた機器配置が必要で、既存の装置に簡単には追加しにくい。

従って、放射線照射中の臓器運動のモニタリング方法としては、直接的にリアルタイムで臓器の位置変動を観察できる患者への侵襲性が少ない(マーカレス) X線による余分な被ばくが無く、長時間の連続した観察ができる既存の照射室に導入できる機動性に富んだモニタリング装置、という4点が求められる。

そこで、上記を満たす臓器位置変動のモニタリング法として、診断用超音波画像を用いた研究開発を行う。超音波画像の適用範囲は横隔膜以下の腹部臓器になり、放射線治療の対象としては、肝臓、脾臓、前立腺などの臓器となる。肺は診断用超音波で直接的には観察できないが、横隔膜の運動から推定可能と考えている。本研究では、肝臓を主な対象として、上記の「直接的にリアルタイムで臓器の位置変動を観察」の位置変動の定量化に関する画像処理について研究する。

特に最近の超音波探触子では、3次元のボリュームをリアルタイムで収集可能であり、外部へは直交する2断面の超音波動画画像が出力可能である。本研究では、2断面超音波画像を用いた3次元臓器運動のリアルタイムでの計測の実現を目的とする。

## 2. 研究の目的

体幹部の放射線治療では、より高精度な照射を実現するために、対象となる腫瘍及びその周辺の臓器運動、特に呼吸運動を見極めた上で照射することが重要になる。臓器運動の計測手法としては、体表面の変動と実際の標的運動の相関を仮定した間接的計測法があるが、呼吸波形と臓器運動の相関の再現性に不確定さの問題がある。また、標的の近傍に金属マーカを刺入してX線透視で標的運動を追跡する直接的計測法では、患者へのマーカ刺入の侵襲性および放射線被ばくの問題がある。そこで本研究では、肝臓およびその周辺臓器を主な対象に、呼吸同期照射に用いる新たな直接的計測法として、診断用超音波画像を用いた臓器運動の定量化法を提案する。非侵襲かつ被ばくもなく、また機動性の高い超音波装置を用いて、臓器の3次元運動を定量化することを本研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究計画では、放射線治療の呼吸同期照射時に使用可能な臓器運動の定量化法の研究開発および臨床現場への導入を想定している。初年度では3次元トラッキングアルゴリズムの構築を目標とする。まず3次元超音波画像から肝臓の3次元モデルを生成し、そのモデルと肝臓断面の変位情報を用いた3次元トラッキング法の研究開発について行う。実験では肝臓の呼吸運動を模擬した超音波用ファントムを用い、トラッキングアルゴリズムの評価と改良を行う。

次年度では、提案手法の臨床導入を目指し、医師によって撮影された被験者の超音波画像を用いて、動態トラッキングの評価を行う。また、臨床利用を想定したリアルタイムで使用可能なソフトウェアの開発も行う。さらにこのソフトウェアについて臨床的試験を行い、その評価と改良を行う。全ての実験でのアルゴリズムの評価及び改良は、工学的・臨床のそれぞれの専門家の意見を頂くことで行う。

## 4. 研究成果

呼吸同期放射線治療における安全な臓器運動計測法として、超音波画像からの3次元臓器動体の追跡法および臓器動体の定量化法の構築を目的として本事業を開始した。まず3次元動体追跡法を確立する前に、1断面の超音波画像からの動体追跡アルゴリズムに(2次元動体追跡法)について開発した。本方法では、ROI(Region of Interest)によってターゲット位置を選択し、更にROIの移動にはオプティカルフローの一手法であるPiramidal Lucas Kanade法をベースにした多数特徴点追跡法を用いることで安定した追跡を実現した。提案手法においては、超音波用動体ファントムを用いた撮影した画像において、その有効性を検証した。さらに、

「放医研 臨床研究 10-014」において撮影した被験者画像において、同時に測定した呼吸センサー変位と比較することで、その有効性を検証した。結果として、複数の被験者の多種類部位（胆のう、静脈など）において、約5分間の安定した動体追跡を実現した(Fig. 1)。

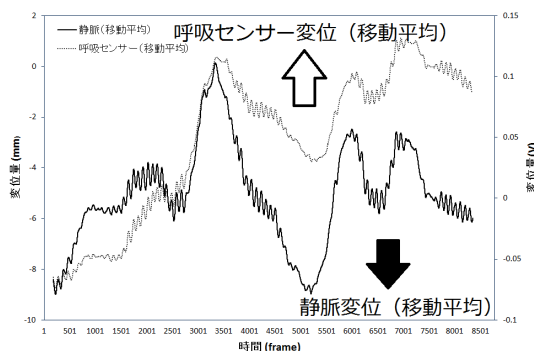


Fig. 1 呼吸センサー変位と静脈変位

次に、2次元動体追跡法をベースとした、超音波2断面画像を用いた3次元動体追跡アルゴリズムを開発した。この方法は、予め保存した2断面画像及び1断面追跡情報より、仮想的な3次元ボリュームを生成し、このボリュームデータを用いてそれぞれの2断面での対象ターゲット位置を検出する方法である。この方法については、同時に開発を行った超音波用3次元動体ファントムを用いて撮影した画像により、3次元動体追跡のその有効性を検証した。結果として、水中でのファントム動体においては長時間の安定した3次元追跡が可能であることが示された(Fig. 2)。

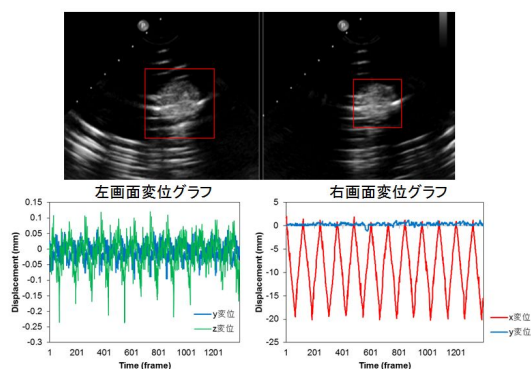


Fig. 2 ファントム2断面変位

しかし、被験者画像においては、対象ターゲットの3次元位置が画像上からはみ出してしまう場合には、本提案手法の性質上、追跡が困難であるという問題も明らかになった。また、長時間の安定した3次元追跡を実現するためには、3次元的に対象部位全体の撮影が可能で超音波プローブの選択や、構造的に全体の撮影が可能で対象部位の選択が必要であることが分かった。今後これらの問題の解決法について検討しつつ、臨床実現を目指したい。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 9件)

Y. Kubota, E. Urakabe, T. Kanai, and S. Minohara, “A study of three dimensional tracking method for organ motion on two cross-sectional ultrasound images”, Jpn. J. Med. Phys., Vol. 33, pp. 39, 2013

Y. Kubota, A. Matsumura, E. Urakabe, T. Kanai, S. Minohara, and T. Nakano, “Three-dimensional tracking method for organ motion on two cross-sectional ultrasound images: phantom study,” Third International Conference on Real-time Tumor-tracking Radiation Therapy with 4D Molecular Imaging Technique, 2013

Y. Kubota, A. Matsumura, M. Fukahori, S. Minohara, H. Nagahashi, H. Imada, S. Yasuda, T. Kanai, and T. Nakano, “A study of three-dimensional tracking method for organ motion on diagnostic ultrasound images,” The 31<sup>st</sup> Sapporo International Cancer Symposium, 2012

Y. Kubota, A. Matsumura, H. Imada, S. Minohara, H. Nagahashi, M. Fukahori, S. Yasuda, “A study of tracking for organ motion on diagnostic ultrasound images. Comparing abdominal organ motion with boy surface displacement,” Jpn. J. Med. Phys., Vol. 32, pp. 102, 2012

宮崎 悠樹, 青木 工太, 長橋 宏, 久保田佳樹, 蓑原 伸一. “逐次学習を用いた超音波画像における頑強な追跡,” 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, No. D-16-8, Mar. 2012

宮崎 悠樹, 青木 工太, 長橋 宏, 久保田佳樹, 蓑原 伸一. “逐次学習を用いた超音波画像における長時間の臓器動態定量化,” 画像電子学会 第260回研究会 予稿集, 2012

蓑原伸一, 久保田佳樹, 今田浩史, 松村彰彦, 深堀麻衣, 安田茂雄, “4次元超音波画像による腹部臓器動体モニタリングシステムの開発,” 日本放射線腫瘍学会第25回学術大会報文集, pp. 243, 2011

久保田佳樹, 松村彰彦, 今田浩史, 蓑原伸一, 長橋宏, 深堀麻衣, 安田茂雄, “診断用超音波画像を用いた臓器運動の追跡法の研究,” 日本放射線腫瘍学会第24回学術大会報文集, pp. 166, 2011

久保田佳樹, 蓑原伸一, 今田浩史, 安田茂雄, 長橋宏, “診断用超音波画像を用いた臓器運動の定量化: ファントムを用いた機能評価,” 第101回医学物理学学会学術大会報文集, Vol. 31, pp. 223, 2011

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

久保田 佳樹 ( KUBOTA YOSHIKI )  
群馬大学・重粒子線医学推進機構・特任助教  
研究者番号：40583076

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：