

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23500553

研究課題名(和文)メカニカルなプローブ走査による超音波ボリュームスキャナの開発

研究課題名(英文)Development of ultrasound volume scanner for lower extremity

研究代表者

福岡 大輔(FUKUOKA, Daisuke)

岐阜大学・教育学部・准教授

研究者番号：60321436

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、超音波診断における整形領域の下肢撮影および診断の客観性の向上を目的とし、広範囲な領域が撮影できる機械的プローブ走査機構を備えた超音波ボリュームスキャナの開発と、撮影される超音波画像(Bモード像または、3次元ボリュームデータ)の定量評価を行うための、コンピュータ支援診断システムの開発を行った。

筋力推定のための定量評価システムにおいては、撮影される超音波画像から上下端の筋膜を自動検出後、筋領域を抽出し、画像特徴量としてテクスチャ特徴と筋厚を算出する。筋力の実測値と推定値より回帰モデルを構築し評価を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop an automated volume scanner system and a computer-aided diagnosis system for ultrasound. This study aims to quantify the condition of the muscle from a ultrasound image.

First, the upper and lower fasciae from the ultrasound image are extracted. They are approximated by curves, and the area between the curves is set as a region of interest (ROI). Next, we calculate texture features and muscle thickness from the ROI. We build a regression model of the knee extension strength by combining the texture features, the muscle thickness, and physical features. Finally, we substitute the features calculated from the test data into the regression model, and estimate their knee extension strength.

研究分野：医用画像処理

キーワード：診断システム 超音波検査 コンピュータ支援診断

1. 研究開始当初の背景

超音波診断装置を用いた検査は、非侵襲でかつリアルタイムに体内の情報を取得でき、ポジショニングなど撮影のアプローチに自由度があることから、多くの組織を対象として、質的診断のための検査として利用されている。

しかしながら、従来のハンドヘルドプローブによる超音波装置は他のモダリティに比べ視野が狭く、また、リアルタイムに診断を行う必要があるため、オペレータ（操作者）依存が高く、撮影の再現性と診断の客観性が乏しいと考えられる。広範囲な領域を撮影できるボリュームスキャナ装置の開発と、超音波画像による診断の客観性を向上するためのコンピュータ支援診断システムの開発が望まれている。

特に整形超音波の分野においては、運動器の障害により要支援・要介護の状態やそのリスクが高い状態を示す概念として「ロコモティブシンドローム」が提唱されており、この下肢領域の超音波画像の定量評価が大きな課題となっている。

2. 研究の目的

本課題では、医療用の超音波診断装置における撮影および診断の客観性の向上と、それに伴った医師の診断能の向上をめざしたシステムの開発を目的とする。そのため、広範囲な領域が撮影できる機械的プローブ走査機構を備えた超音波ボリュームスキャナの開発を行い、その有効性の評価を行う。撮影対象は下肢領域として、機械駆動により広範囲（可動範囲 40 cm程度）を撮影し1つのボリュームデータとして再構成可能なスキャナの開発を目的とする。

また、超音波装置により撮影される超音波画像（Bモード像または、3次元ボリュームデータ）の定量評価を行うための、コンピュータ支援診断システムを開発する。本課題においては、下肢領域の整形超音波画像を対象として、ロコモティブシンドローム定量評価システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) ボリュームスキャナの開発

ボリュームスキャナの開発にあたり、プローブをアーク走査し円筒状のスキャナ装置を開発し、超音波ファントム像の撮影を行い、基礎的な検討を行う。また、撮影対象物を自動追跡するための追跡アルゴリズムの開発を行う。

(2) 下肢超音波画像ためのコンピュータ支援診断システムの開発

ロコモティブシンドロームの定量評価をおこなうための超音波画像解析システムを

開発する。ここでは、腓腹筋における羽状角の画像計測システムと、大腿四頭筋の超音波画像を対象とした筋力推定システムを開発する。

① 腓腹筋 US 画像における羽状角画像計測システム

腓腹筋における羽状角の画像計測を、テクスチャ画像特徴量に基づき羽状角の自動解析を行う。超音波画像中の筋領域から同時生起行列(GLCM)を作成し、画像特徴量のコントラストが最小となった変位角度 θ ($-30^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$) を筋繊維の角度 θ_f とした。腱膜の傾斜角度 θ_s を測定し、羽状角 θ_p を $\theta_p = \theta_f + \theta_s$ として算出する。

② 大腿四頭筋 US 画像を対象とした筋力推定システム

Fig.1 に示すように撮影された超音波画像から、画像に含まれるエッジ情報を用いて筋領域を自動抽出し、筋領域の画像特徴量（エントロピー、角二次モーメント、逆差分モーメント）、筋肉の厚み、ヒストグラム情報を算出する。これらの特徴量と、身長などの身体的特徴量を組み合わせ、学習データから膝伸展筋力の回帰モデルを構築し、筋力推定値を算出する。また、システム評価においては、筋力計による筋力の実測値と、超音波画像から自動計測を行った推定筋力値の相関により検証を行う。

4. 研究成果

(1) ボリュームスキャナの開発

ハンドヘルドプローブをメカニカルに走査し撮影するための円筒状の水浸式ボリュームスキャナ（直径 200mmx 可動範囲 350mm）を開発し、駆動機構の動作検証を行うため、ファントム像を用いた撮影実験を行った。また、対象物を追跡し撮影するため、Mean-Shift 法を用いた追跡撮影機能を開発した。

(2) 下肢超音波画像ためのコンピュータ支援診断システムの開発

ロコモティブシンドロームの定量評価を目的としたコンピュータ支援診断システムを開発した。開発したシステムでは腓腹筋の超音波画像を対象とした筋力推定システムと、

① 腓腹筋 US 画像における羽状角画像計測システム

109 枚の画像に適用し自動測定した羽状角と、熟練者が超音波画像上で計測した羽状角との相関を評価した結果、相関係数 $r=0.78$ となり良好な結果が得えられた[文献⑧]。また、3次元ボリュームデータを対象とした解析システムを開発した[文献③]。s

② 大腿四頭筋 US 画像を対象とした筋力推定システム

筋力推定のための回帰モデルを構築し、実験データ 168 例を用いて Leave-one-out 法に

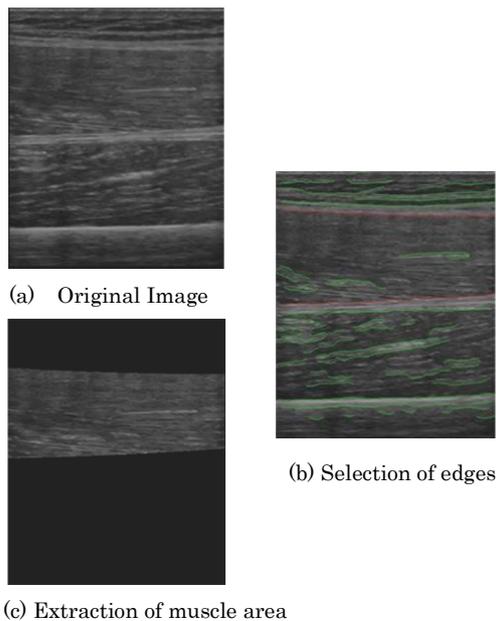


Fig.1 Extraction of muscle area

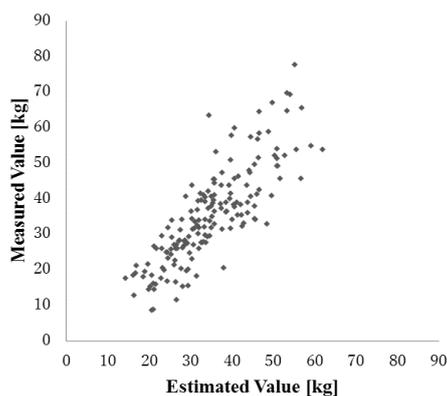


Fig.2 Relationship between the measured value and estimated value. The correlation coefficient value was 0.79.

よる実験を行った結果, Fig. 2 に示すように, 実測値と推定値の相関係数は $r = 0.79$ となった. この結果から, 本システムによって高い精度で膝伸展筋力の推定が行える可能性が示唆された[学会発表②].

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)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Hiroki Murakami, Tsuneo Watanabe, Daisuke Fukuoka, Nobuo Terabayashi, Takeshi Hara, Chisako Muramatsu, Hiroshi Fujita, Development of estimation system of knee extension strength using image features in

ultrasound images of rectus femoris, Proc. SPIE 9790, Medical Imaging 2016: Ultrasonic Imaging and Tomography, 査読無, 9790(979012), 2016, PP.1-6, DOI:10.1117/12.2214843

- ② Tsuneo Watanabe, Nobuo Terabayashi, Daisuke Fukuoka, Hiroki Murakami, Hiroyasu Ito, Toshio Matsuoka, Mitsuru Seishima, A Pilot Study to Assess Fatty Infiltration of the Supraspinatus in Patients with Rotator Cuff Tears: Comparison with Magnetic Resonance Imaging, Ultrasound in Medicine and Biology, 査読有, Vol.41, No.6, 2015, pp.1779-1783, DOI:10.1016/j.ultrasmedbio.2015.01.013
- ③ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原 武史, 藤田広志, ロコモティブシンドローム定量評価のための腓腹筋の3次元画像解析, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, MI2012-75(112(411)), 2013, pp.69-72, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009727706>
- ④ Tsuneo Watanabe, Masao Takemura, Masao Sato, Ayako Sekine, Daisuke Fukuoka, Mitsuru Seishima, Katsuji Shimizu, Toshio Matsuoka, Quantitative analysis of vascularization in the finger joints in patients with rheumatoid arthritis using three-dimensional volumetric ultrasonography with power Doppler, Clinical Rheumatology, 査読有, Vol.31 No.2, 2012, pp.299-307, DOI: 10.1007/s10067-011-1811-5
- ⑤ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原 武史, 藤田広志: ロコモティブシンドロームの定量評価とその画像解析手法の開発, 電子情報通信学会技術報告 MI 医用画像, 査読無, Vol.111 No. 389, MI2011-133, 2012, pp.311-314, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10031093601>

[学会発表] (計 13 件)

- ① Hiroki Murakami, Tsuneo Watanabe, Daisuke Fukuoka, Nobuo Terabayashi, Takeshi Hara, Chisako Muramatsu, Hiroshi Fujita, Development of estimation system of knee extension strength using image features in ultrasound images of rectus femoris, SPIE Medical Imaging 2016, 2016.2.27-3.3, San Diego(USA)
- ② 村上大樹, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原武史, 藤田広志, 大腿四頭筋の超音波画像における特徴量を利用した膝伸展筋力推定システムの開発, 第34回日本

- 医用画像工学会大会, 2015. 7. 31-8. 1, 金沢
- ③ Tsuneo Watanabe, Nobuo Terabayashi, Daisuke Fukuoka, Hiroki Murakami, Tamotsu Yabumoto, Sohee Shin, Hiroyasu Ito, Toshio Matsuoka, Mitsuru Seishima, Quantitative Assessment of the Quadriceps Femoris Muscle for Early Detection of Musculoskeletal Disorder using Ultrasonography, AIUM(American Institute of ultrasound in medicine), 2015. 3. 21-25, Florida(USA)
- ④ 猿渡遙介, 福岡大輔, 渡邊恒夫, 伊藤亜子, 原 武史, 藤田広志, 手根管症候群の定量評価のための超音波画像解析, 第171回 医用画像情報学会, 2015. 2. 7, 横浜
- ⑤ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原 武史, 藤田広志, ロコモティブシンドローム定量評価のための腓腹筋の3次元画像解析, 電子情報通信学会 医用画像研究会(MI), 2013. 1. 24-25, 沖縄
- ⑥ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原武史, 藤田広志, ロコモティブシンドローム定量評価のための腓腹筋の画像特徴解析, 第168回 医用画像情報学会, 2013. 2. 8, 大阪
- ⑦ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原 武史, 藤田広志, ロコモティブシンドロームの定量評価のための画像解析法の開発, 第31回日本医用画像工学会, 2012. 8. 4-5, 札幌
- ⑧ 名和寛文, 渡邊恒夫, 福岡大輔, 寺林伸夫, 原 武史, 藤田広志, ロコモティブシンドロームの定量評価とその画像解析手法の開発, 電子情報通信学会医用画像研究会(MI), 2012. 1. 19-20, 沖縄
- ⑨ Sato M, Takemura M, Shimizu K, Watanabe T, Fukuoka D, Shinohe R, Shinohe Y, Three-dimensional power doppler sonographic evaluation of finger joints in patients with rheumatoid arthritis, EULAR Congress 2012, 2012. 6. 6-9, Berlin (Germany)
- ⑩ Norimitsu Shinohara, Daisuke Fukuoka, Naoki Kamiya, Yusuke Yamane, Takeshi Hara, Tokiko Endo, Hiroshi Fujita, Comprehensive Quality Assurance and Control Method for Ultrasound Beginners, Radiological Society of North America(RSNA) 2011, 2011. 11. 27-12. 2, Chicago(USA)
- ⑪ Masaki Matsusako, Junji Shiraishi, Daisuke Fukuoka, Takeshi Hara, Hiroyuki Abe, Akira Yamada, Shintaro Mori, Katsutoshi Sugimoto, Takuya Matsumoto, Xiangrong Zhou, Chisako Muramatsu, Hiroshi Fujita, Get Higher AUC. A Real-time ROC Software for

- Interpretation Training, Radiological Society of North America(RSNA) 2011, 2011. 11. 27-12. 2, Chicago(USA)
- ⑫ Chisako Muramatsu, Daisuke Fukuoka, Etsuo Takada, Takako Morita, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Tokiko Endo, Information Fusion of Whole Breast Ultrasonography and Breast MRI, Radiological Society of North America(RSNA) 2011, 2011. 11. 27-12. 2, Chicago(USA)
- ⑬ 岡田俊明, 福岡大輔, 原武史, 村松千左子, 高田悦男, 遠藤登喜子, 森田孝子, 藤田広志, 乳腺超音波画像におけるコンピュータ支援診断システムに関する研究, 第54回自動制御連合講演会, 2011. 11. 19-20, 豊橋

〔図書〕(計2件)

- ① 佐藤正夫、武村正男、渡辺恒夫、福岡大輔、志水克時, 超音波三次元イメージングを用いた関節リウマチ手指関節内血流数量化の試み, 別冊整形外科 No. 62 運動器疾患の画像解析, 188-193, 南江堂, 2012
- ② 福岡大輔 (分筆担当): 実践医用画像解析ハンドブック, オーム社, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福岡 大輔 (Daisuke FUKUOKA)
岐阜大学・教育学部・准教授
研究者番号: 60321436

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし