

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

名和 寛文* 渡邊 恒夫* 福岡 大輔** 寺林 伸夫*** 原 武史* 藤田 広志*

*岐阜大学大学院医学系研究科 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

**岐阜大学教育学部 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

***岐阜大学医学部 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

E-mail: *nawahiro@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 近年、運動器の障害により要介護リスクが高い状態を表すロコモティブシンドロームが提唱されている。そのため、簡便かつ定量的に筋肉を評価する方法が求められるが、その方法は確立されていない。本研究では、より定量的な評価を行うために腓腹筋の3次元超音波画像から羽状角を自動測定する方法を提案する。まず、上下の腱膜を曲面近似することにより決定し、それらの上下膜に挟まれた領域を筋繊維領域として抽出した。つぎに、筋繊維領域から筋繊維を抽出し、3次元フーリエ変換を行ってパワースペクトルを算出した。また、パワースペクトルの周波数成分を大きい成分のみに限定し、その領域の慣性主軸の回転角を筋繊維の角度として求めた。最後に、下腱膜の曲面から接線の平均角度を算出し、筋繊維の角度と接線の平均角度を足し合わせることで羽状角を求めた。本手法で測定した羽状角と2次元超音波画像から測定した羽状角との比較実験を行った結果、0.79の相関係数を得た。

キーワード ロコモティブシンドローム、腓腹筋、羽状角、3次元フーリエ変換、3次元超音波画像

3D image analysis of gastrocnemius muscle for quantitative evaluation of the Locomotive syndrome

Hirofumi Nawa* Tsuneo Watanabe* Daisuke Fukuoka** Nobuo Terabayashi***

Takeshi Hara* Hiroshi Fujita*

* Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan

** Faculty of Education, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193 Japan

*** School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan

E-mail: *nawahiro@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract In recent years, A word to describe the state of requiring care and high-risk condition by musculoskeletal disorders as “Locomotive syndrome” has been proposed. Therefore, the methods for quantitative and easy evaluation of muscle have been required, but the method has not been established. In this study, we propose a method for automatic measurement of the pannation angle obtained by 3D-ultrasound images for the more quantitative evaluation of muscle. First, we determined the top and bottom aponeurosis by approximation of curvilinear surface and extracted the area between those top and bottom aponeurosis as the muscle-fiber area. Second, after we extracted muscle fiber from the muscle-fiber area, power spectrum was calculated by 3D-Fourier transform. In addition, we limited the frequency range of the power spectrum only to the large frequencies and considered the angle of rotation of principal axis of moment in the limited area as the angle of the muscle fiber. Finally, we calculated the mean angle of a line tangent to the curvilinear surface of the bottom aponeurosis and determined pannation angle by adding the mean angle of the tangential line and the angle of the muscle fiber. As a result, the correlation coefficient between the angles measured by this method and by the 2D-ultrasound images was 0.79.

Keywords Locomotive syndrome, Gastrocnemius muscle, Pannation angle, 3D-Fourier transform, 3D-ultrasound image

1. はじめに

近年、高齢者による運動器障害が増加している。それを踏まえ、運動器障害による要介護の状態や要介護リスクの高い状態を表す新しい概念として「ロコモティブシンドローム」が提唱されている。

ロコモティブシンドロームの要因となる運動器障害には、運動器自体の疾患と運動器機能不全の2つがある。運動器機能不全とは、主に筋力の低下や持久力の低下などが当てはまる。本研究では、運動器機能不全の原因の一つである筋力の低下に注目した。

筋力を推定する方法として、超音波装置などで筋肉の状態を画像化し評価する方法がある。筋肉を撮影した超音波画像からは、筋力と相関があるとされる羽状角(腱膜と筋繊維の成す角度)を確認することができ、主に2次元超音波プローブで撮影した1枚の画像から羽状角を測定する。しかし、2次元超音波プローブによる撮影画像は、筋肉の局所的な断面のみを描出しているため、全体的な筋肉の情報を得ることが出来ない。そこで、筋肉の内部構造を広範囲かつ立体的に描出できる3次元超音波プローブによる撮影が注目されるが、それらの3次元画像の解析や研究は行われていない。

本研究では、腓腹筋を3次元超音波プローブによって撮影した3次元超音波画像から、立体的な筋繊維構造を3次元フーリエ変換を用いて認識することで、羽状角の測定を行った。また、それらの測定結果を評価するため、2次元超音波画像から測定した羽状角との比較実験を行った。

2. 方法

2.1. 使用画像

本研究で使用する3次元超音波画像(図1)は、下肢の腓腹筋を3次元超音波プローブ(ASU-1013)を用いて撮影した画像である。撮影時には、立位状態で下腿に超音波プローブを当て、腓腹筋内側頭遠位筋腱移行部から、筋繊維の走行が確認できる位置で3次元スキャンを行い、腓腹筋を撮影している。また、2次元超音波プローブによる撮影も同時に行なった。5人の20代の被験者の腓腹筋を撮影しており、計5つの画像である。また、画像サイズは640×440×56-66[pixel]であり、8bitグレースケール画像である。入力画像の例を図1に示す。

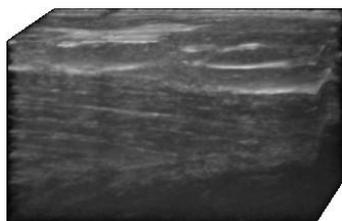


図1 入力画像の例

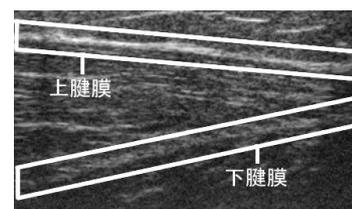
2.2. 筋繊維領域の抽出

本実験で使用した画像においては、筋繊維は図2(a)に示すように上腱膜(上膜)と下腱膜(下膜)の間に描出される。この筋繊維領域を決定するため、画像を上下に分割し、上膜と下膜をそれぞれ決定する処理を行う。

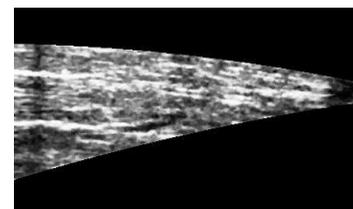
まず、前処理として、メディアンフィルタを用いてごま塩状の信号を削除した後、ヒステリシス平滑化処理を用いて、局所的な変動ノイズの削除を行った。また、ヒストグラム平坦化処理とウィンドウ処理を行い、コントラストを改善した。

上膜の決定は、各スライスにおいてCannyフィルタを用いて上膜のエッジを抽出した後、エッジ上に近似点を等間隔で取り、曲面近似を行うことで決定した。また、下膜の決定は、下膜より下部分の低エコー領域を抽出した後、領域上部に近似点を等間隔に取り、曲面近似を行うことで決定した。

上下膜を近似曲面により決定した後、上下膜の近似曲面に挟まれた領域を筋繊維領域とし、図2(b)に示すように領域の抽出を行った。



(a) 上腱膜, 下腱膜の位置



(b) 筋繊維領域の抽出結果

図2 筋繊維領域の抽出

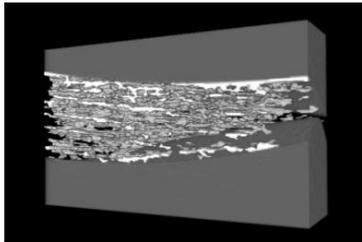
2.3. 羽状角の測定

3次元超音波画像から羽状角を自動測定するため、筋繊維の平均角度と下膜の平均角度を求め、羽状角の測定を行う。

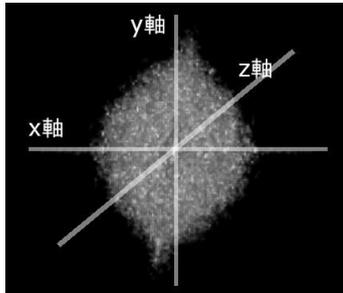
一定方向に勾配を持つ画像のフーリエ変換後のパワースペクトルは、その画像の勾配方向に対応する角度の周波数成分が強調される。そこで、本研究では、パワースペクトルを大きい成分のみの周波数成分に限定し、限定した領域のモーメント主軸を算出することで筋繊維の角度を求めた。

まず、筋繊維領域上において白く明瞭に描出されている領域が抽出されるように2値化を行い、その領域

を筋繊維とした。筋繊維の抽出結果を図 3(a)に示す。つぎに、筋繊維を抽出した画像を 3次元フーリエ変換し、パワースペクトル画像を作成した後、周波数成分が大きい成分のみに限定し、その限定領域が画素全体の 4%の割合となるようにした。図 3(b)は、周波数成分を限定した場合のパワースペクトルの 3次元表示であり、限定領域が垂直方向より右に傾いていることが分かる。



(a) 筋繊維の抽出結果



(b) 周波数成分を限定したパワースペクトルの 3次元画像とその座標系

図 3 パワースペクトルの周波数成分の限定

つぎに、周波数成分を限定したパワースペクトルの傾きを求めるため、限定した領域から慣性行列を作成し、固有ベクトルを算出する。このとき、慣性行列は 2次中心モーメントによって定義される対称行列である。また、慣性行列の固有ベクトルは、図 3(b)の抽出領域の慣性主軸を x, y, z 軸と同軸方向に変換する式 (1)のような回転行列 R となる。よって、原画像の座標系を図 4のように定義した場合、 $x'-y'$ 軸における筋繊維の角度 $\theta_{x'y'}$ は、 z 軸回りの回転角 λ として表され、 $x'-z'$ 軸における筋繊維の角度 $\theta_{x'z'}$ は、 y 軸回りの回転角 θ として表される。

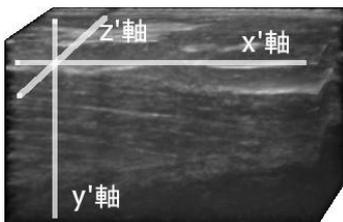


図 4 原画像の座標系

$$R = \begin{bmatrix} \cos\lambda\cos\theta & \sin\lambda & -\cos\lambda\sin\theta \\ -\sin\lambda\cos\theta & \cos\lambda & (\sin\lambda)^2 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (1)$$

最後に、下膜曲面をスライスごとに曲線近似を行い、曲線の接線の角度を等間隔に 15 点算出した後、それらの角度を平均することで下膜の平均角度を求めた。また、式(1)の回転行列から算出した筋繊維の角度 $\theta_{x'y'}$ と、下膜の平均角度を足し合わせることで羽状角を求めた。

3. 結果と考察

3次元超音波画像に本手法を適用し、羽状角 θ_p の測定を行った。また、 $x'-z'$ 軸における筋繊維の角度 $\theta_{x'z'}$ においても測定を行った。2次元超音波プローブで撮影した画像においては、文献[1]による羽状角測定ツールを用いて羽状角 θ_{2p} の測定を行った。それぞれの測定結果を表 1 に示す。また、 θ_p と θ_{2p} のグラフを図 5 に示す。

表 1 羽状角と $\theta_{x'z'}$ の測定結果

	θ_p [°]	$\theta_{x'z'}$ [°]	θ_{2p} [°]
画像 1	17.3	0.33	13.0
画像 2	15.2	0.36	13.0
画像 3	15.6	0.96	14.6
画像 4	10.9	-0.29	10.1
画像 5	16.0	-0.98	15.2

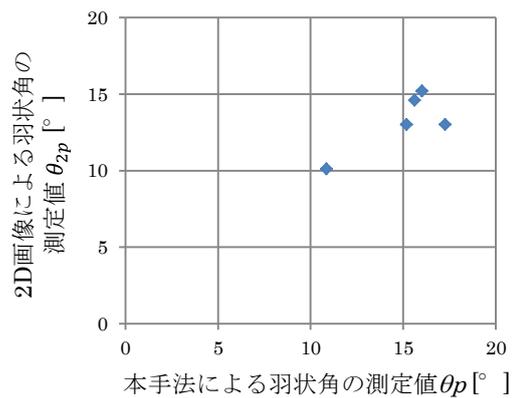


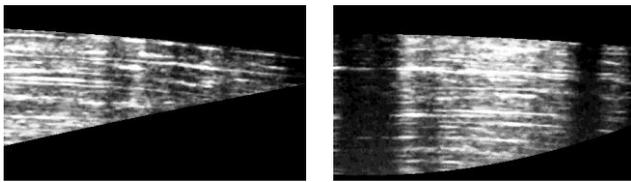
図 5 θ_p と θ_{2p} との比較グラフ

本手法で測定した羽状角 θ_p と 2次元超音波画像から測定した羽状角 θ_{2p} との相関係数は 0.79 となった。また、 $x'-z'$ 軸における筋繊維の角度 $\theta_{x'z'}$ は、全ての画像において 1°以下であったことから、本研究で使用した超音波画像は、筋繊維の走行角度と平行に 3D スキャ

ンされた画像であると考えられる。

本研究で使用した3次元超音波画像では、局面近似した下膜形状が2次元超音波画像の下膜形状とほぼ同じ形状となるスライスと、大きく異なるスライスが存在した。3次元超音波画像の全スライスの下膜形状が、2次元超音波画像の下膜形状とほぼ同じ形状の場合においては、 θ_p と θ_{2p} との角度差は生じず、下膜形状が大きく変化する場合においては、角度差が大きくなる傾向にあった。

図6に下膜形状の変化例、図7に図6に対応する2次元プローブで撮影した画像を示す。2次元プローブによる撮影では、腓腹筋の付け根部分の中央断面のみを撮影しているが、3次元プローブによる撮影では、左右に広い範囲での撮影を行なっている。そのため、腓腹筋の丸みを帯びた形状を考慮すると、腓腹筋の左側、中央、右側における各スライスの下膜形状は、それぞれ変化すると考えられる。また、各画像の撮影位置の誤差や、個々による腓腹筋形状の違いなどの影響もあり、撮影画像によっては、図6(a), (b)のように、中央部分のスライスと右側部分のスライスの下膜形状に大きな違いが生じると考えられる。



(a)中央部分のスライス (b)右側部分のスライス

図6 下膜形状の変化例

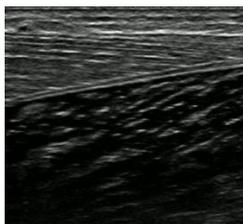


図7 図6に対応する2次元プローブで撮影した画像

4. まとめ

本研究では、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を行い、3次元超音波画像から羽状角を自動測定する手法を提案した。また、それらの測定値を評価するため、2次元超音波画像から測定した羽状角との比較実験を行った。その結果、本手法で測定した羽状角と2次元超音波画像から測定した羽状角との相関係数は0.79となった。

今後の課題としては、3次元超音波画像から測定し

た羽状角と、筋力などの筋肉の評価値との比較実験を行い、測定値の有用性を評価する必要がある。また、体積や体積あたりの高エコー領域の割合など、3次元超音波画像特有の新たな評価値の検討も必要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々に感謝の意を表します。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究21103001及び基盤研究(C)23500553)によって行われました。

文 献

- [1] 名和寛文, 福岡大輔, 渡邊恒夫ほか, “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,” 信学技報, vol.111, no.389, pp.311-314, Jan.2012.
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所, “主要国の65歳以上人口割合,” 人口統計資料集, 2011.
- [3] 厚生労働省, “主な年齢の平均余命,” 簡易生命表, 2010.
- [4] 堀 修, “領域処理,” デジタル画像処理, 奥富正敏(編), pp.192-195, (社)CG-ARTS 協会, 東京, 2004.
- [5] 若原卓, “超音波検査(US) US(Bモード)がもたらす情報,” INNERVISION, vol.27, no.3, pp.41-43, Mar.2012.
- [6] I.M.P. Arts, S. Pillen et al, Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adult, Muscle Nerve, vol.41, no.1, pp32-41, January 2010.
- [7] M.V. Narici and C.N. Maganaris, Adaptability of elderly human muscles and tendons to increased loading, J.Anat, vol.208, no.4, pp433-443, April 2006.
- [8] M.V. Narici, C.N. Maganaris, N.D. Reeves et al, Effect of aging on human muscle architecture, J Appl Physiol, vol.95, no.6, 2229-2234, July 2003.