617 超音波画像を用いた筋線の自動抽出 (第3報)

Muscle fiber Contour Extraction on Ultrasound Image (The 3rd Report)

○ 田嶋 章敬 (芝浦工大) 木原 朝彦 (芝浦工大) 正 小山 浩幸 (芝浦工大)

正 山本 紳一郎 (芝浦工大) 正 米田 隆志 (芝浦工大)

Akinori TAJIMA, Tomohiko KIHARA, Hiroyuki KOYAMA, Shin-ichiroh YAMAMOTO, Takashi KOMEDA
Shibaura Institute of Technology, Fukasaku307, Saitama-shi, Saitama

Key Words: Muscle fiber, Ultrasound image, Contour extraction

1. はじめに

近年, 超音波診断装置を用いることにより筋が活動している様子を非侵襲かつリアルタイムに測定することが可能となった. 筋活動の解析には関節角度や筋電などが用いられてきたが筋線維を画像として直接観測することで, 筋線維長や筋線維の伸張速度などを新たな評価項目として用いる研究が進められている. 筋の超音波画像の解析については, 筋膜や腱膜, 筋線維を目視により判別し筋線維の長さなどを算出する方法が採られる. これらは全て手作業であり膨大な時間を要するうえに精度に欠けるという欠点がある.

本研究では筋の活動している様子を撮影した超音波画像から, 筋線維を自動抽出し筋の挙動を定量化する解析ソフトを開発することを目的とした.

2. 自動抽出ソフト

これまでに, 筋の超音波画像を自動で解析するソフトの開発を行った. Fig.1 は踝関節を背屈させながら前脛骨筋の動作を超音波診断装置 AplioSSA-77A(東芝)を用いて撮影した動画うちの1フレームである.

Fig.1 Ultrasound image of muscle

Fig.1 のようなデータから, 筋膜・腱膜・筋線維の抽出を行うために分離度フィルタを用いる⁽¹⁾. 例えば膜を抽出する分離度フィルタは Fig.2(a)に示すような形状をしており2つのそれぞれの領域に属する画素の輝度値からどれだけ2つの領域が異なるかを算出するものである. Fig.2(b)のように膜が領域1に覆われる場合には領域2の部分に背景の黒い画素が集合するため分離度が高くなり膜が抽出される. 筋線維は膜に比べて細く斜めに写っている. そのため筋線維に対してはサイズが小さく, 領域1と2を斜めに配置した形状のものを用意する.

フィルタ処理の後に2値化やラベリングを行い, 膜(筋膜と腱膜)および筋線維は Fig.3 のように抽出される. 膜は太い実線, 筋線維は細い実線で表現されている. また, 全てのフレームについて抽出を行った後, 隣り合うフレーム同士で

距離が小さい線同士を対応付けることで時間方向に筋線維を追跡している.

以上で筋線維の画像上の位置や移動量を算出できるようになる. Fig.3 には多数の筋線維が抽出されているがその中の1本について筋線維の時間ごとの変位を算出すると Fig.4 が得られる. 変位を算出するためには, まず Fig.3 において太い実線と細い実線の交点を算出する. これは筋線維と2本の膜の交点を求めることと同じ意味を持つ. そしてこの交点の変位が筋線維の変位である.

Fig.1 で示した筋の超音波画像をフレーム順に見ると画像上で右方向に筋が動いている. 筋線維の変位は画像上の座標値から算出しているため Fig.4 に示すように変位が増加していることは実際の筋の動作を定量的に表しているものと考えられる.

Fig.2 Separability filter

Fig.3 Result of analysis

Fig.4 Displacement of muscle fiber

3. 伸張反射への適用

前述した自動抽出ソフトを用いて伸張反射時の筋活動を計測したデータについて検討を行った。伸張反射とは筋が急激に伸張されたときに元の長さを維持しようと筋が収縮する反応のことである⁽²⁾。

3.1 解析するデータについて

伸張反射が顕著に見られる筋として足の後ろ側にある外側腓腹筋が挙げられる。この筋の超音波画像は Fig.5 に示すようなものである。前脛骨筋(Fig.1)よりも膜や、筋線維が見えにくい。

伸張反射は非常に速い運動である。これを捉えるために 130[Hz]の測定周波数で筋の超音波画像を採取し、1 回の試行で得られる画像は 80 フレーム程度になる。今回は、再現性等を考慮して 20 回の試行を行い、80 フレーム×20 試行=1600 フレームのデータを取得した。

Fig.5 Lateral gastrocnemius

3.2 解析結果の妥当性

伸張反射が起こっているとき筋線維長は時間軸に沿って Fig.6 のように変化するとされている。筋線維が伸張しているときはつまり筋線維が動いているときであり、筋線維の変位を時間軸にそって見た場合も Fig.6 と似たような特徴のグラフが得られると考えられる。これを確かめるために伸張反射を撮影した超音波画像 80 フレーム分について手作業での解析を試みた。その結果 Fig.7 が得られた。

Fig.6 Muscle fiber length

Fig.7 Result of manual analysis

Fig.7 は筋線維の変位を表したものである。値が負になっている点では筋線維が画像上で左側に移動しており、正の値をとる点では右に移動していることを表している。Fig.6 のように何回か振動した後に収束する傾向が見られるので伸張反射時の筋の動作をかなり高い割合で再現した解析データと考えられる。

3.3 自動抽出ソフトの改良

自動抽出ソフトで同様に伸張反射を撮影した超音波画像の解析を試みた。

この際、抽出成功率を上げるために今回取得した 1600 枚の筋の超音波画像うち、最初の 1 枚目を解析するときだけ筋膜・腱膜の位置や筋線維の角度などの情報を手作業で入力する方式とした。この情報を元に分離度フィルタの形状を決定して解析することで筋線維の抽出成功率は 100%となった。

改良を加えた自動抽出ソフトで伸張反射を撮影した超音波画像 80 フレーム分について解析を行ったところ時系列での筋線維の変位として Fig.8 を得た。手作業での解析結果 (Fig.7) と比べると変位が振動しているという点では一致している。しかし筋線維と筋膜・腱膜との交点がそれぞれ逆の方向に変位している点が異なっている。

抽出された筋線維をフレーム順に調べたところ隣り合うフレーム間で角度が少しずれていることが確認された。この角度的なずれが筋線維と膜との交点に影響を与えていることが考えられる。Fig.8 を見る限り自動抽出ソフトはこの点をクリアできていない可能性があるといえる。

Fig.8 Result of automatic analysis

4. おわりに

伸張反射時の筋の運動について取得した超音波画像を用いて手動・自動での解析を行った。その結果伸張反射を解析するには抽出した筋線維に含まれる小さな誤差が結果に大きく影響することが確認された。今後は抽出した筋線維が実際に筋の超音波画像に写っている筋線維と確実に一致するような改良が必要である。

参考文献

- 1) 丹野寧 他： 超音波画像を用いた筋線維の抽出，第 17 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集，pp.149-150，2005
- 2) 熊谷貴宏： 超音波法を用いた伸張反射感受性の計測 - 下肢筋における筋線維の伸張と伸張反射応答の関係 -，第 17 回バイオエンジニアリング学術講演会講演論文集，pp.413-414，2005