

G-007

人体解剖画像からの大腿四頭筋内筋繊維組織の抽出

Extraction of Muscle Fiber of Quadriceps femoris on Human Atlas Images

大城 将健[†] 戸崎 哲也[‡]
Ohshiro Shoken Tetsuya Tozaki

1. はじめに

近年の医療技術では、病気や怪我などの理由で劣化した骨と人工骨を取り換える措置を行うケースがある[1]. 人工骨に取り換えた後、症状が改善されているか否かを判断する予後診断では、筋肉の状態を評価することが重要であるとされている. そのため、筋肉の領域を抽出し、その内部にある筋繊維を推定することは、***に有効であると考えられる. 本報告では、人体解剖画像データから大腿部の筋肉領域の取得、及びその内部に存在する筋繊維組織を抽出し、それら筋繊維組織を3次元的に表現する手法について報告する.

2. 手順

ここでは、歩行動作に重要な大腿部の筋肉のうち、大腿四頭筋の大腿直筋、内側広筋、外側広筋、中間広筋に着目し、それらの領域取得と、内部に存在する筋繊維を抽出する. 使用するデータは、図 2.1 に示している NIH が提供する Visible Human Data Set の男性の解剖像で、RGB3 チャンネル、スライス間 1mm、大腿部付近約 400 枚の画像である. 筋肉領域の取得の前処理として、関心領域の限定、グレースケール化、平滑化を行う. ここで、平滑化はガウスの平滑化を用いた.



図 2.1 Visible Human Data Set の画像例

2.1 筋肉領域の取得

大腿部筋肉の取得は、関心領域を手動でトレースし、筋膜に沿って抜き出すことで行う. この作業を左右の大腿直筋、内側広筋、中間広筋、外側広筋に対して行う.

2.2 筋繊維組織抽出

取得した筋肉領域内部の筋繊維組織の抽出を行う. 原画像上では、バイアス成分を含むため、均一なしきい値で筋繊維組織の抽出は困難である. そこで、本研究で大腿直筋、内側広筋、中間広筋、外側広筋内部に微分幾何学を用いて曲率を計算し、この濃度の勾配データを用いて筋繊維組織の抽出を行った.

[†] 神戸市立工業高等専門学校電気電子工学専攻
[‡] 神戸市立工業高等専門学校電気電子工学専攻

筋繊維組織はそれぞれ異なった濃度値を持っており、これらの濃度値を微分幾何学に基づき、4 次元超曲面の曲率を利用して筋繊維組織の抽出を行う. 4 次元超曲面の曲率とは、空間方向に 3 つの軸を持つ 3 次元濃淡画像に、濃度値を第 4 軸目として加えた時の 4 次元空間内における 4 次元超曲面での法曲率のことである. 4 次元超曲面の曲率は 3 つ存在し、これらの曲率に基づき筋繊維組織の濃度値の濃淡を調べる. 第 1 基本式(2.1)と第 2 基本式(2.2)から行列 W を求め、この行列 W の固有値が $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ として与えられる. この固有値が 4 次元超曲面の曲率に相当する.

$$F_1 = \begin{pmatrix} 1 + f_x^2 & f_x f_y & f_x f_z \\ f_y f_x & 1 + f_y^2 & f_y f_z \\ f_z f_x & f_z f_y & 1 + f_z^2 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

$$F_2 = -\frac{1}{D} \begin{pmatrix} f_{xx} & f_{xy} & f_{xz} \\ f_{yx} & f_{yy} & f_{yz} \\ f_{zx} & f_{zy} & f_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

ただし、 $D = \sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}$ であり、ここでは、3 次元濃淡画像における $f(x, y, z)$ での偏導関をそれぞれ $f_x, f_y, f_z, f_{xx}, f_{xy}, f_{xz}, f_{yy}, f_{yx}, f_{yz}, f_{zz}, f_{zx}, f_{zy}$ と表し、3 次元ガウス関数の偏導関数と畳み込みによって計算する. また、ガウス関数の標準偏差を表すパラメータは対象によって変動させる必要がある. 行列 W の固有値 3 つの関係を $|\lambda_3| \leq |\lambda_2| \leq |\lambda_1|$ とすると、それぞれの固有値に対応する固有値ベクトル e_1, e_2, e_3 は互いに直交し、その方向は各固有値から得られる曲率に対応する輝度変化の方向と一致する. 本研究では、固有値の絶対値の大きい順から第 1 曲率、第 2 曲率、第 3 曲率と定義することとする[2].

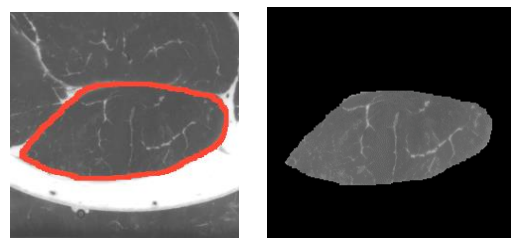
2.3 表示

取得した筋肉、筋繊維を 3 次元的に表現することで視覚的に理解を可能とする. ここでは、ボリュームレンダリングを用いて可視化を行う.

3. 結果

3.1 関心領域の抜き出し

図 3.1 に大腿四頭筋の抜き出し例を示す.



(a) 抜き出し過程 (b) 大腿直筋

図 3.1 大腿四頭筋の抜き出し過程

この手法を、大腿四頭筋それぞれに適用し、関心領域を抜き出きだした. 任意に境界をトレースして抜き出して

いるが、この後、筋膜周辺である境界を縮退処理して除去したためこの手法でも問題なかった。図 3.2 に取得した筋肉領域の 3 次元表示を示し、画像中の青色は大腿直筋、赤色は中間広筋、黄色は内側広筋、緑色は外側広筋である。

3.2 筋繊維組織抽出

図 3.3 に筋繊維抽出の例を示す。これは、左が大腿直筋、右が内側広筋のあるスライスでの処理結果である。(a)は原画像を、(b)は曲率算出後の第 1 曲率を、(c)は、しきい値を設定して抽出した結果である。ここでしきい値には、大腿直筋は 0.2, 内側広筋は 0.15, 中間広筋は 0.15, 外側広筋は 0.2 と設定した。領域内の濃度が高い陰影が抽出されていることが確認出来る。

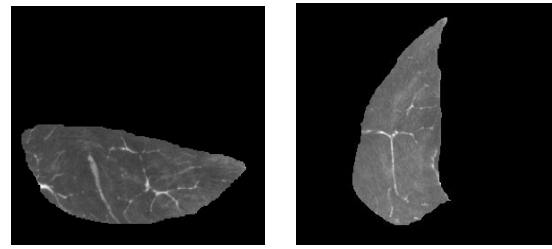
図 3.4 には、抽出された各筋肉領域内の筋繊維組織を合成して表示した例を示す。(a)は左足前面から、(b)は左足を内側から観察した様子である

4. 考察

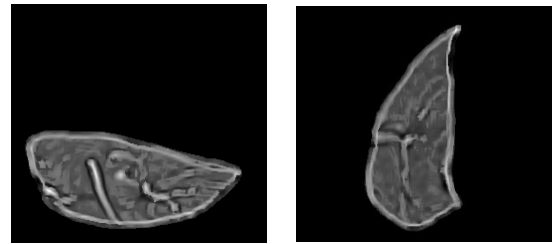
本研究では、人体解剖像から大腿部の大腿四頭筋に着目して研究を進めた。筋繊維組織の抽出に 4 次元超曲面曲率を導入することで、関心領域における筋繊維組織の濃度の勾配データを得ることができた。これを基に閾値を設定して筋繊維組織の抽出を行うことで、筋繊維組織の 3 次元表現が可能となった。今後は、CT 等の他のモダリティを研究対象とし、診断支援のための指標として精度を上げる予定である。

参考文献

- [1] 佐野茂夫, “第 13 回 骨粗しょう症性脊椎骨折”, <<http://www.sekitsu.com/9specialist/sp013-html/>>, (平成 28 年 1 月 25 日参照).
- [2] 戸崎哲也, 千田道雄, 山根登茂彦, “4 次元超曲面に基づく FDG-PET からの異常陰影抽出と解析”, 神戸高専研究紀要第 48 号(2010).



(a) 原画像



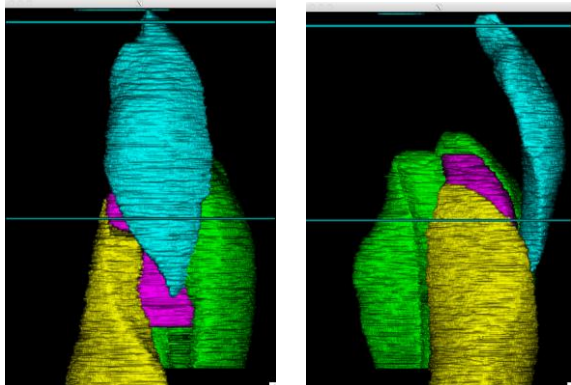
(b) 曲率画像



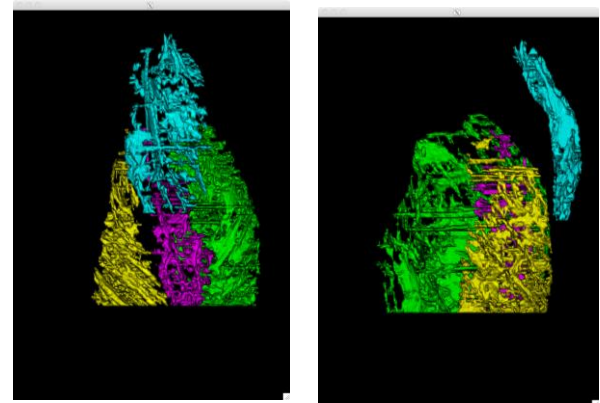
(c) 抽出画像

① 大腿直筋 ② 内側広筋

図 3.3 筋繊維組織抽出例



(a) 左足前面 (b) 左足内側
図 3.2 取得した筋肉領域の 3 次元表示画像



(c) 左足前面 (d) 左足内側
図 3.4 筋繊維組織の 3 次元表示結果