

体幹部 CT 画像における筋の走行モデルに基づく 棘上筋自動認識の初期検討

瀧渕 達也[†] 神谷 直希[‡] 久米 正矩^{†‡} 周 向荣^{†‡} 陳 華岳^{†‡‡} 神谷 あすみ^{†‡‡}

村松 千左子^{†‡} 原 武史^{†‡} 藤田 広志^{†‡}

[†] 岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

[‡] 愛知県立大学情報科学部情報科学科 〒480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522-3

^{†‡} 岐阜大学工学部電気電子・情報工学科情報コース 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{†‡‡} 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{†‡‡} 岐阜大学大学院医学系研究科病態制御学講座解剖学分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{†‡‡} 国立病院機構東名古屋病院リハビリテーション科 〒465-0065 愛知県名古屋市名東区梅森坂 5-101

E-mail: [†] tatsuya@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 棘上筋は腱板を形成する4つの筋群において機能上重要な筋である。本研究では、棘上筋の自動認識手法の初期検討を行う。骨格筋が解剖学的に付着する位置である、起始・停止を自動認識し、その位置情報を用い、筋の走行を取得する。その走行を用い、棘上筋の走行モデルを構築する。走行モデルを用いて、筋に所見の無い8例を用いて実験を行った。医師の指導の下作成した、正解画像との平均一致率は63.0%を得た。本モデルにより、患者間の筋量の個人差や撮影体位の違いにロバストな認識が実現できた。以上より、走行モデルを用いた棘上筋の自動認識は有効であると考えられる。今後は、課題である骨領域の正確な認識を行い、棘上筋領域の認識精度の向上を行う。

キーワード 棘上筋, CAD, 体幹部 CT 画像, 骨格筋

Initial Study of an Automated Recognition Method of the Supraspinatus Muscle Based on a Muscle Direction Model in Torso CT Images

Tatsuya KATAFUCHI[†] Naoki KAMIYA[‡] Masanori KUME^{†‡} Xiangrong ZHOU^{†‡}

Huayue CHEN^{†‡‡} Asumi KAMIYA^{†‡‡} Chisako MURAMATSU^{†‡} Takeshi HARA^{†‡}

and Hiroshi FUJITA^{†‡}

[†] Department of Applied Information, Faculty of Engineering,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1193 Japan

[‡] Department of Information Science and Technology, School of Information Science and Technology
Aichi Prefectural University 1522-3 Ibaragabasama, Nagakute, Aichi, 480-1198 Japan

^{†‡} Informatics Course, Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1193 Japan

^{†‡‡} Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1194 Japan

^{†‡‡} Department of Anatomy, Division of Disease Control, Graduate School of Medicine,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1194 Japan

^{†‡‡} Department of Rehabilitation, National Hospital Organization,
Higashi Nagoya National Hospital 5-101 Umemorizaka, Meito, Nagoya, Aichi, 465-0065 Japan

E-mail: [†] tatsuya@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract The supraspinatus muscle is a functionally important muscle in four muscle groups that constitute the cuff. In this research, we propose an automatic recognition method of the supraspinatus muscle. We determine the muscular direction using the origin and insertion of the supraspinatus muscle, and construct the direction model. The proposed method is applied to eight normal adult CT cases. Recognition result in terms of the average concordance rate was 63.0%. The recognition was possible even in cases with individual variations. Therefore, it is considered that the method is effective for the automatic recognition of supraspinatus muscle. In the future, we will improve the segmentation accuracy of the supraspinatus muscle area by defining the precise skeleton area.

Keywords Supraspinatus Muscle, CAD, Torso CT Image, Skeletal Muscle

1. はじめに

超高齢化社会の進行に伴い、健康寿命の延伸が大きな課題となっている。我が国では、2000年より、「21世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）」が厚生労働省（当時の厚生省）により策定された。ここでは、特に、筋骨格系の疾患や障害を対象とした治療と予防が注目されている。治療においては、高齢者の疾患の治療や、リハビリテーションにおいて、筋量の把握が必要である。また、予防においては、主に若年者や中年者を対象とし、将来的な疾患のリスクの低減のため、現状の筋量を把握し、それに基づく数値目標を設定する必要がある[2]。このように、超高齢化社会の進行とともに、骨格筋の筋量に関する情報の把握に対する重要度はますます高まっている。

我々はこれまでに、非造影体幹部 X 線 CT 画像上における骨格筋認識の研究として、側腹筋や大腰筋、腹直筋などの自動認識を実現した[3-4]。これらは、解剖学的位置情報を取得し、取得された位置情報を用いて骨格筋の外形モデルをあてはめ、認識を行うという手法であり、有効性が示されている。

本研究の対象とする棘上筋は、腱板を形成する四つの筋群の一つであり、機能上最も重要な筋である。棘上筋が原因となる疾患には、四十肩、五十肩、肩峰下インピンジメント症候群など多数存在する。現在、棘上筋の評価は、超音波や MRI を用いて行われている[5-6]。しかしながら、その評価法は、画像上から手動により筋量に関する計測を行うものであるため、再現性に課題が残る。

本研究では、非造影体幹部 X 線 CT 画像を用い、棘上筋の定量的な解析のための自動認識の初期検討を行う。ここでは、解剖学的特徴点から、棘上筋の走行モデルを作成し、走行モデルを用いた棘上筋の自動認識を行う。棘上筋の定量的な解析により、原因が解明されていない四十肩や五十肩において、有益な情報を提供できることが期待される。また、本研究の対象とする棘上筋は、肩関節に存在する骨格筋であるため、事前に認識することで、周囲の筋などの認識において、有益な事前情報となると考えられる。

2. 処理手順

体幹部 CT 画像における、筋の走行モデルに基づく棘上筋の自動認識の方法について述べる。処理の流れを図 1 に示す。本研究では、入力画像として、非造影の体幹部 CT 画像と、体幹部 CT 画像から濃淡値により認識された骨格領域を分類した、骨格分類画像[7]を用いる。そして、入力画像から、解剖学的特徴点を自動的に認識し、入力された解剖学的特徴点を基に走行モデルを作成する。その後、走行モデルから、棘上筋の

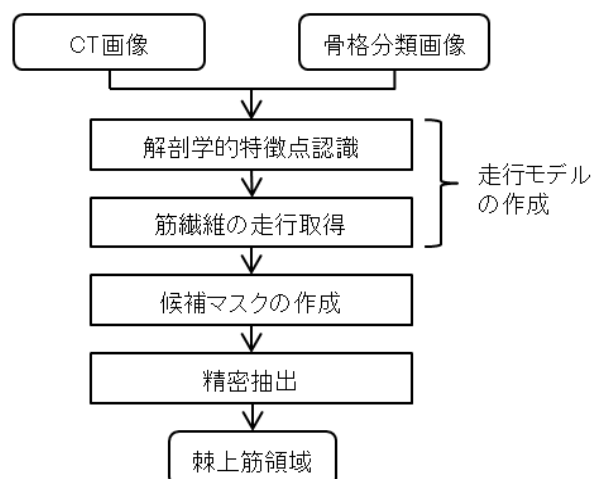


図 1 棘上筋の自動認識の流れ

候補となる領域をマスク画像として作成し、マスク上の領域から濃淡値を用いて棘上筋領域を認識する。

2.1. 解剖学的特徴点認識

棘上筋は、他の骨格筋と同様に、骨格上に付着しており、その付着箇所を起始・停止と呼ぶ。ここでは、後述の筋の走行モデルを作成するために、棘上筋の起始・停止のランドマーク（LM：LandMark）を空間位置情報に基づき、自動的に認識する。

解剖学的に、棘上筋の起始は肩甲骨、停止は上腕骨と定義される。また、棘上筋は構造上、棘上窩に存在するという存在位置特徴から、起始・停止の LM に加え、棘上窩に 3 点の補助 LM を認識する。認識した LM の位置を図 2 に示す。図 2 において、青色の点が追加で認識した補助 LM である。いずれの点も、入力画像である骨格分類画像を用い、その形状特徴から自動的に認識を行う。

2.2. 筋線維の走行取得

ここでは、筋の走行を示す筋線維の走行を模擬的に

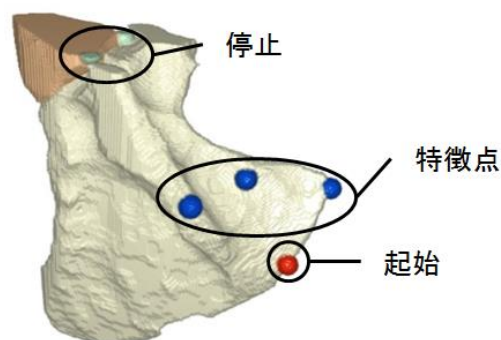


図 2 認識された LM

表現する手法として、上記で認識した起始と停止のLMを、棘上窩の3点のLMを通るように直線で接続する。棘上筋は、肩甲骨上に存在し、腹部やその他の領域の筋と比較し、短い領域であるため、直線による表現で問題は無いと考える。

図3に直線で近似された棘上筋の筋線維の擬似的な走行を示す。また、得られた模擬筋線維の内部を埋めることで、三角錐状の走行モデルを得る。図4に、図3で生成された筋線維の走行から生成された棘上筋の走行モデルを示す。

2.3. 棘上筋候補マスクの作成

得られた走行モデルを用い、棘上筋候補領域を認識する。走行モデルは、直線で近似されているため、棘上窩では、モデルと肩甲骨の間に隙間が生じる。これは、棘上筋領域の未抽出につながるため、この領域を候補領域として走行モデルに加える。よって、体軸断面上で、走行モデルから肩甲骨までの領域を骨の濃淡情報を利用し、走行モデルを拡張する。

その後、棘上筋の上部と下部の領域に分割し、候補領域を認識する。上部では、肩甲骨、第一胸椎、第二胸椎の解剖学的位置情報を用いて棘上筋の存在領域をプレート上の境界として取得する。最後に、その境界内側の領域を存在領域に加え、棘上筋の候補マスクとする。設定された存在領域と得られた候補マスクを図5に示す。一方、下部においては、冠状断面を用い、走行モデルから肩甲骨までの領域を候補マスク領域に加える。

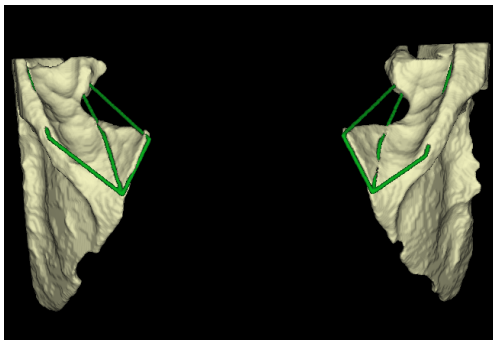


図3 棘上筋の筋線維の走行

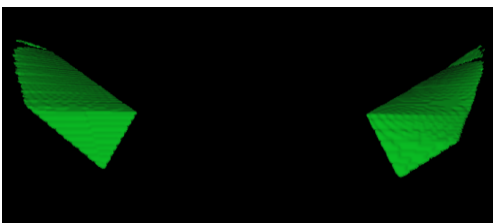
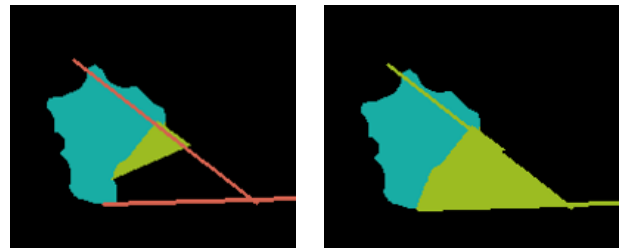


図4 棘上筋の走行モデル



(a) 存在領域 (b) 候補マスク

図5 存在領域面による候補マスク

2.4. 棘上筋領域の精密抽出

ここでは、上記の候補マスクを用い、原画像において、マスク領域と重なる領域において、濃淡値により認識を行う。これを初期領域とする。その後、得られた領域の端点を、筋の境界となる骨格、もしくは脂肪や腱の境界部まで拡張する。以上のように得られた領域を棘上筋領域とする。

3. 実験

本研究では、 512×512 [pixel]、スライス枚数862-1031[slice]で構成される非造影体幹部X線CT画像を使用する。棘上筋に所見の無い、40歳から71歳の8症例に対して、棘上筋の自動認識を行った。

評価には、Jaccardの類似係数を用い、一致率、再現率、適合率を算出する。ここで、医師の指導により半自動で作成した画像を正解画像とし、評価に用いる。

4. 結果

8症例における一致率、再現率、適合率の平均はそれぞれ63.0%、69.5%および87.8%であった。図6に、体軸断面における認識結果の一例を示す。左上が上部、右上と左下が中部、右下が下部における棘上筋の認識結果である。また、赤色が正解画像と認識結果が一致した画素を、同様に緑色が過抽出、青色が未抽出画素を示す。

5. 考察

本研究では、肩甲骨や、胸椎の解剖学的特徴点を認識し、これらの位置情報を用い、筋の走行モデルを作成した。その後、肩甲骨の形状による個人差を考慮した候補マスクを作成し、棘上筋領域の認識に利用した。それにより、人体が傾いている症例や、棘上筋の上部が撮影されていない症例のような、撮影時における差異のある症例においても、平均値と同程度の認識率で認識が実現できた。認識した棘上筋領域と、正解画像との平均一致率は63.0%であったが、認識率の分散は低く、安定した認識が実現できた。このことから、筋の走行モデルに基づく棘上筋自動認識は有効であると考えられる。

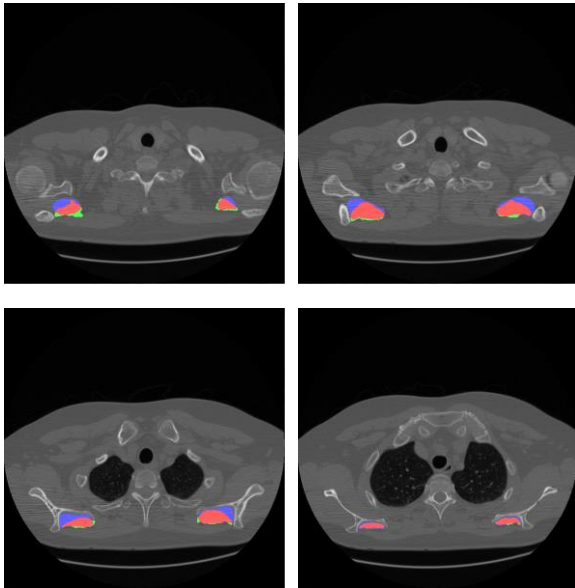
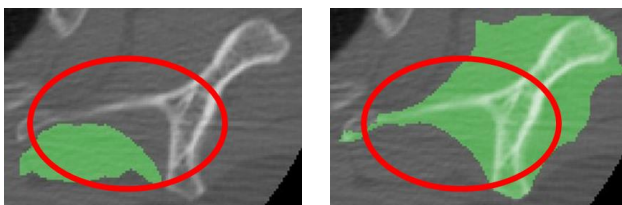


図 6 各断面における認識結果

一致率が 6 割程度にとどまった原因として、棘上筋と肩甲骨の境界面における未抽出が挙げられる。図 8 に認識結果の拡大図を示す。図 7 より、骨格分類画像において、棘上筋領域に相当する部位が肩甲骨領域として誤認識されていることが分かる。これは、入力画像である骨格分類画像は、体幹部に存在するすべての骨格の自動分類を目的としているため、一つの骨格に着目した場合、その構造や特徴は必ずしも正確ではないためである。これには、棘上筋が付着する肩甲骨領域の正確な認識を行うことにより、棘上筋領域の認識率の向上が可能であると考えられる。

また、一致率低下のもう一つの原因として、棘上筋の上部における過抽出も挙げられる。これは、棘上筋が上腕骨に付着する箇所であり、他の筋や腱を誤抽出しているためである。解剖学的に棘上筋は、体軸方向において、肩甲骨の上部を越えない位置に存在するという定義がある。しかし、本研究で用いる体幹部 CT 画像は、上肢を挙上し撮影するため、この解剖学



(a) 認識した棘上筋領域 (b) 骨格分類画像における肩甲骨領域

図 7 肩甲骨上部における未抽出領域の検討

的定義を用いるためには、肩甲骨の角度を正規化する必要がある。これにより、棘上筋の上部における過抽出を減少させることが可能であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、体幹部 CT 画像を用いた走行モデルに基づく棘上筋自動認識の初期検討を行った。肩甲骨や、胸椎の解剖学的位置情報を用い、棘上筋の筋線維の走行モデルを作成し、認識に利用した。8 症例において、認識結果と正解画像との平均一致率は 63.0%であった。症例間において、筋量や撮影時の個人差が大きいデータであったが、同程度の認識率であり、安定した認識が実現できた。これは、筋の走行モデルに基づく棘上筋自動認識法の有効性が示唆されたと言える。

今後は、棘上筋と肩甲骨の境界部における未抽出や、棘上筋上部における過抽出を解決するため、正確な肩甲骨領域の認識や、肩甲骨の作動を考慮した認識手法の開発が必要である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省研究費補助金（新学術領域研究 26108005）および JSPS 科研費（若手研究(B) 15K21588）により行われました。

文 献

- [1] 内閣府, 平成 26 年度版高齢社会白書, 2014.
- [2] 厚生労働省, “21 世紀における国民健康づくり運動 (健康日本 21),” 2014.
- [3] 神谷直希, 周 向栄, 陳 華岳, 原 武史, 藤田広志, 横山龍二郎, 兼松雅之, 星 博昭, “体幹部 X 線 CT 画像における骨格の位置情報を用いた側腹筋と大腰筋の自動認識,” 信学技報, vol.107, no.220, pp.23-27, Sept. 2007.
- [4] 神谷直希, 周 向栄, 陳 華岳, 林 達郎, 原 武史, 横山龍二郎, 兼松雅之, 星 博昭, 藤田広志, “X 線 CT 画像における腹部骨格筋モデルの作成と自動認識,” 信学技報, vol.109, no.197, pp.31-34, Sept. 2009.
- [5] 片寄正樹, 萩野利彦, 宮本重範, 寒川美奈, 菅靖司, 菅原誠, “超音波画像を用いた棘上筋の厚さの評価,” 理学療法学, vol.20, no.1, p.86, Apr. 1993.
- [6] 酒井清司, 阿部由美子, “MRI による断裂棘上筋の委縮性変化の評価: 非断裂患者の加齢性変化との比較,” 肩関節, vol.23, no.2, pp.277-279, Jul. 1999.
- [7] X. Zhou, T. Hayashi, H. Chen, T. Hara, H. Fujita, R. Yokoyama, M. Kanematsu, and H. Hoshi, “Automated Segmentation and Recognition of the Bone Structure in Non-contrast Torso CT Images Using Implicit Anatomical Knowledge,” Proc. SPIE vol.7259, no.72593S, doi:10.1117/12.812945, Feb. 2009.