

肩甲部における骨格筋モデル構築のための 解剖学的付着位置の自動認識

潟渕 達也[†] 神谷 直希[‡] 周 向榮[†] 加藤 博基^{†‡} 東 華岳^{‡‡}
神谷 あすみ^{†‡‡} 村松 千左子[†] 原 武史[†] 松尾 政之^{‡‡‡} 藤田 広志[†]
[†] 岐阜大学大学院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
[‡] 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
^{†‡} 岐阜大学附属病院放射線科 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
^{‡‡} 産業医科大学医学部第 1 解剖学講座 〒807-8555 福岡県北九州市八幡西区医生ヶ丘 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
^{‡‡‡} 岐阜大学大学院医学系研究科放射線医学分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
E-mail: [†] tatsuya@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし CT 画像上における骨格筋の自動認識手法の一つとして、骨格筋モデルを構築し、モデルを用いた自動認識手法の有効性が示されている。骨格筋のモデルを適切に利用するには、各骨格筋の解剖学的付着位置である起始・停止の認識が重要である。肩甲部においては、我々が既に取り組んだ棘上筋をはじめとして、多くの骨格筋が肩甲骨に付着する。また、肩甲骨は多くの解剖学的特徴を有するが、その形状は複雑である。本研究では、肩甲部における骨格筋の起始・停止部位である解剖学的付着位置の自動認識を行う。13 症例の体幹部 CT 画像より自動認識した肩甲骨を用いて、肩甲棘、烏口突起、上縁、内側縁、上角の自動認識を実現した。今後は認識成功率の高い上角や内側縁を用い、骨格筋認識への応用を目指す。

キーワード 肩甲部, 解剖学的付着位置, 骨格筋, CAD, 体幹部 CT 画像

Automated Recognition of the Anatomical Attachment Location for Constructing the Skeletal Muscle Model in the Scapular Region

Tatsuya KATAFUCHI[†] Naoki KAMIYA[‡] Xiangrong ZHOU[†] Hiroki KATO^{†‡}
Huayue CHEN^{‡‡} Asumi KAMIYA^{†‡‡} Chisako MURAMATSU[†] Takeshi HARA[†]
Masayuki MATSUO^{‡‡‡} and Hiroshi FUJITA[†]
[†] Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University
1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan
[‡] Department of Information Science and Technology, School of Information Science and Technology
Aichi Prefectural University 1522-3 Ibaragabasama, Nagakute-shi, Aichi, 480-1198 Japan
^{†‡} Department of Radiology Service, Gifu University Hospital 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan
^{‡‡} Department of Anatomy, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health
1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 807-8555 Japan
^{†‡‡} Department of Rehabilitation, National Hospital Organization, Higashi Nagoya National Hospital
5-101 Umemorizaka, Meito-ku, Nagoya-shi, Aichi, 465-0065 Japan
^{‡‡‡} Department of Radiology, Graduate School of Medicine, Gifu University
1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan
E-mail: [†] tatsuya@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract The effectiveness of automated recognition method using the skeletal muscle model has been demonstrated, as one of the automated recognition methods of skeletal muscles in the CT images. It is important to recognize anatomical attachment locations of skeletal muscles in order to use the skeletal muscle model. In the scapular region, many skeletal muscles including the supraspinatus muscle which we have already recognized are attached to the scapula. Scapula has many anatomical features, and its shape is complicated. In this study, we achieved automatic recognition of spine of scapula, coracoid process, superior margin, medial margin and superior angle by using scapula of 13 cases which were segmented from CT images. In the future, we will apply the anatomical features with high recognition rates in the skeletal muscle recognition.

Keywords Scapular Region, Anatomical Attachment Location, Skeletal Muscle, CAD, Torso CT Image

1. はじめに

急速な高齢化とともに、生活習慣病およびこれに起因する認知症、寝たきり等の要介護状態になる者の増加が深刻な社会問題となっている[1]。それに伴い、わが国では、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[2]。そこでは、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。このように、高齢化社会の進行とともに、骨格筋の筋量の把握に対する重要度はますます高まっている。

我々のグループでは、これまでに、CT画像における骨格筋の部位別自動認識プロジェクトの一部として、棘上筋の自動認識を実現した[3]。これは、棘上筋の起始、停止といった解剖学的付着位置（Land Mark：LM）を骨格から取得し、その位置情報を用いて構築した骨格筋モデルをあてはめ、対象領域となる筋の認識を行う手法である。ここで、棘上筋の起始は肩甲骨の解剖学的特徴の1つである棘上窩であり、棘上窩の自動認識を行うことで、正確な起始 LM 位置を得ることができた[4]。また、棘上筋と同様に、肩甲部に存在する骨格筋の多くは肩甲骨の各解剖学的特徴に付着する。そのため、肩甲骨の解剖学的特徴を自動認識することで、肩甲部に存在する棘上筋以外の骨格筋の起始、停止の取得が可能である。

本研究では、肩甲部における棘上筋やそれ以外の肩甲骨に付着する骨格筋の自動認識の高度化を目指し、肩甲骨の解剖学的特徴の自動認識について初期的な実験を行う。棘上筋以外の骨格筋を自動認識すること、棘上筋領域と隣接する骨格筋領域の区分が可能となり、棘上筋の認識精度の向上も実現可能と考えられる。

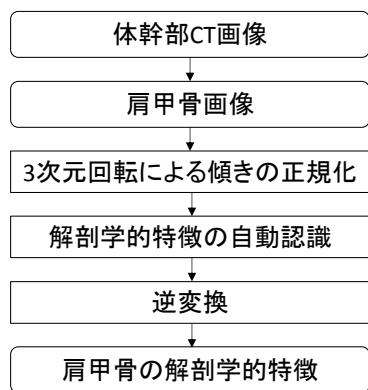


図1 筋の解剖学的付着位置自動認識の流れ

2. 処理手順

入力画像として、体幹部 CT 画像から自動認識された肩甲骨画像を用いる[5]。しかし、体幹部 CT 画像は腕を挙げた姿勢で撮影されるため、腕の挙上に連動して肩甲骨は回旋し、位置や傾きが全症例で異なる。そのため、はじめに、体幹部 CT 画像上の肩甲骨の傾きを正規化する。その後、肩甲骨の位置特徴や形状特徴を用い、各解剖学的特徴の自動認識を実現する。図1に処理の流れを示す。

2.1. 肩甲骨の傾きの正規化

ここでは、CT 画像の横断面における横軸を左右軸、縦軸を前後軸、冠状面における縦軸を上下軸とする。肩甲骨の傾きの正規化を行うためには、これらの3軸における回転を行う。

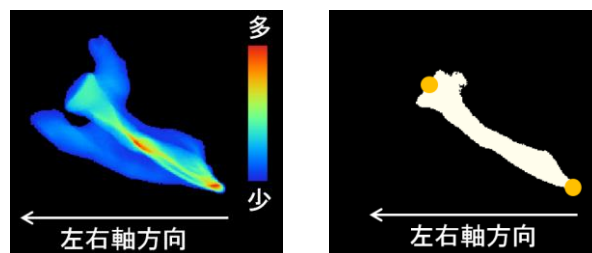
まず、左右軸、前後軸まわりの回転をそれぞれ行う。回転の中心は肩甲骨の最内側の点とし、その点と最下部の点が上下軸と平行になるように回転を行う。

次に、上下軸まわりの回転を行う。まず、横断面における肩甲骨の傾きを検出するために、肩甲骨の各横断面において、重なり合う座標の累積分布を表す2次元画像を作成する。作成した2次元画像を図2(a)に示す。そこから、頻度の平均値をしきい値とし、2値化した画像を作成する。2値化した画像を図2(b)に示す。これによって、肩甲骨が扁平な骨である特徴を利用し、頻度の少ない突起部分を削除することで、横断面における大まかな肩甲骨の傾きを得ることが可能である。2値化画像から最内側と最背側の中点、最外側と最腹側の中点の2点を認識し、この2点を結ぶ直線と左右軸がなす角度を、横断面における肩甲骨の傾きとする。この角度が全症例で同一となるように上下軸まわりの回転を行う。

このようにして傾きの正規化を行った肩甲骨と、正規化を行う前の肩甲骨の比較画像を図3に示す。

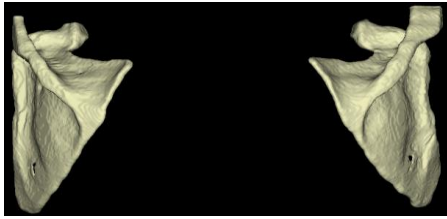
2.2. 肩甲骨の自動認識

肩甲骨の解剖学的特徴の自動認識として、最初に肩甲骨の自動認識を行う。肩甲骨は、肩甲骨の背側面に存在する扁平な突起先端の面である。肩甲骨の認識に

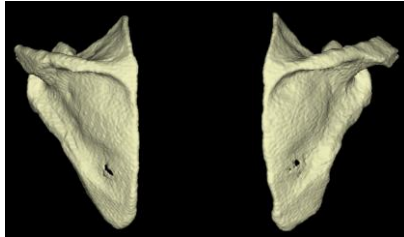


(a) 各横断面における座標の累積分布 (b) 頻度の平均値による累積分布画像の2値化

図2 横断面における傾きの検出の概要



(a) 正規化前の肩甲骨



(b) 正規化後の肩甲骨

図3 肩甲骨の傾きの正規化

は、棘上筋の起始 LM を取得するために認識した棘上窩を用いる。これは、肩甲棘を含む突起の付け根が、棘上窩の窪みから検出可能であるためである。

まず、各矢状面における棘上窩の極小値を取得し、そこから近似直線を導出する。導出した近似直線の例を図4に示す。導出した近似直線を、突起と突起以外の肩甲骨の境界線とし、背側の領域を抽出する。しかし、抽出した領域には突起部分以外の領域も含むため、opening 処理を行い、突起領域と過抽出領域の連結部を削除する。その後、最大領域を取得することで突起領域を抽出する。最後に、突起領域の最上部と最背側の認識し、最上部より背側、最背側より上部を抽出し、得られる突起先端の面を肩甲棘とする。

2.3. 烏口突起の自動認識

烏口突起は、肩甲骨の外側部に存在する嘴状の突起である。烏口突起の認識には、まず、肩甲上神経の通り道である肩甲切痕の位置を取得する必要がある。肩甲切痕が存在する横断スライスより上方の領域を抽出し、最も外側かつ背側の領域を取得し、これを烏口突起とする。

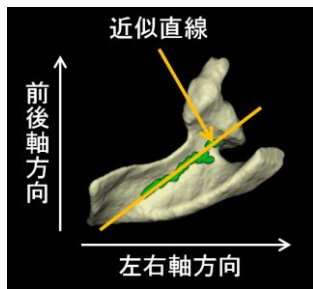


図4 肩甲棘認識時に棘上窩上から導出された近似直線

2.4. 上角の自動認識

上角は、肩甲骨の内側上方に存在する頂角である。上角の認識には、烏口突起と同様に肩甲切痕を取得し、それより上方の領域を抽出する。その後、最内側の領域を上角領域として抽出し、その最上部を上角とする。

2.5. 上縁の自動認識

上縁は、肩甲骨の背側面と肋骨面を区分する3つの境界線の内の1つであり、肩甲骨上方に存在する。ここでは、前述の上角領域の各横断面における外側を上縁として認識する。

2.6. 内側縁の自動認識

内側縁は、上縁と同様に3つの境界線の内の1つである。境界線の中で最も長い縁で、脊柱とほぼ平行するが、少し内側に凸の曲線を描く。内側縁は肩甲骨の内側に存在するため、肩甲骨の各横断面における内側を内側縁として認識する。

3. 実験

本研究では、 512×512 [pixel]、スライス枚数 802-1031[slice]で構成される非造影体幹部 X 線 CT 画像から自動で認識された 13 症例の肩甲骨画像を用い、肩甲骨の有する解剖学的特徴の認識を行う。認識対象は、肩甲棘、烏口突起、上角、上縁および内側縁である。

肩甲骨の解剖学的特徴の自動認識の評価には、目視評価を用いる。対象の解剖学的特徴領域を取得できた症例を成功、未抽出や過抽出が存在する症例を失敗とする。また、肩甲骨は左右一対で存在するため、左右の肩甲骨でそれぞれ評価を行う。

4. 結果

13 症例の肩甲骨における自動認識した各解剖学的特徴領域を図5に、各特徴の認識成功率を表1に示す。図5は上段左から順に肩甲棘、烏口突起、上角、下段

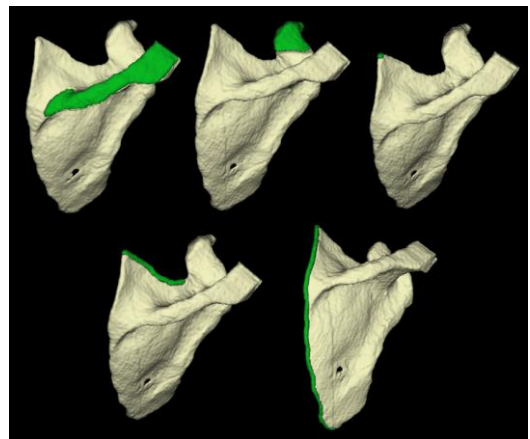


図5 自動認識した解剖学的特徴

表 1 認識対象である各特徴の認識成功率

	成功 [症例]	失敗 [症例]	成功率 [%]
肩甲棘	15	11	57.7
烏口突起	19	7	73.1
上角	26	0	100.0
上縁	21	5	80.8
内側縁	26	0	100.0

表 2 本研究で認識した各特徴に付着する骨格筋解剖学的特徴

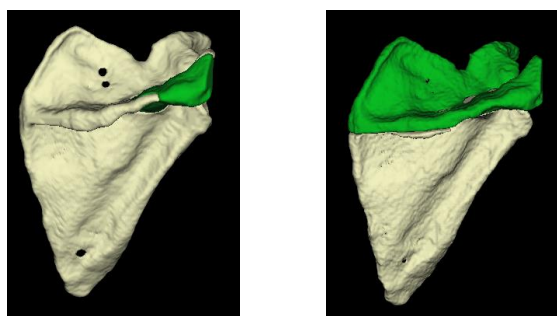
解剖学的特徴	骨格筋
肩甲棘	僧帽筋, 三角筋
烏口突起	烏口腕筋 上腕二頭筋, 小胸筋
上角	肩甲挙筋
上縁	肩甲骨骨筋
内側縁	肩甲挙筋, 大菱形筋 小菱形筋, 前鋸筋

左から上縁, 内側縁となっている。また, 本研究では, 骨格筋の解剖学的付着位置として各解剖学的特徴を自動認識したため, 各特徴に付着する骨格筋との対応を表 2 に示す。

5. 考察

本研究では, まず, 体幹部 CT 画像より自動で認識された肩甲骨の傾きの正規化を行った。この正規化は全症例において成功した。左右軸, 前後軸まわりの回転を行うために認識した 2 点は, 肩甲骨の傾きにバラつきがあっても容易に認識でき, 上下軸まわりの回転を行うために認識する点に関しても同様である。そのため, 本研究で用いた 13 症例以外の症例においても, 肩甲骨の傾きの正規化を実現できると考えられる。

肩甲骨の解剖学的特徴の自動認識では, 肩甲棘, 烏口突起および上縁の認識において, 失敗症例が存在した。肩甲棘では, 突起領域を抽出する際に opening 処



(a) 肩甲棘

(b) 烏口突起

図 6 解剖学的特徴の自動認識における失敗症例

理を行う。しかし, 突起部分の厚みが薄い場合には, 突起自身が複数の領域に分離してしまうために, 未抽出領域が存在した。このような失敗症例においては, 形状特徴を用いた認識処理が必要であると考えられる。また, 烏口突起および上縁では, 肩甲切痕の位置を正確に取得できない症例が課題である。そして, 肩甲切痕を境界として烏口突起と上縁は区分される。そのため, 肩甲切痕の正確な位置を取得することで, 烏口突起および上縁の認識成功率の向上が可能である。

最後に, 骨格筋認識の実現には, 骨格筋の起始, 停止の位置情報が必要である。表 2 に示す骨格筋の認識した解剖学的付着位置は, 肩甲骨上に付着する起始または停止の一方である。そのため, 他の骨に存在する付着位置についても同様に認識が必要である。

6. まとめ

本研究では, 肩甲部における骨格筋の解剖学的付着位置である起始, 停止として, 肩甲骨の解剖学的特徴の自動認識を実現した。本手法で自動認識を実現した特徴は肩甲棘, 烏口突起, 上角, 上縁および内側縁であり, 認識成功率はそれぞれ 57.7[%], 73.1[%], 100.0[%], 80.8[%], 100.0[%]であった。また, これらの解剖学的特徴に付着する骨格筋には, 僧帽筋や三角筋などが存在する。

今後の課題として, 肩甲骨の解剖学的特徴の認識精度の向上および肩甲骨以外のもう一方の付着位置を認識し, 本解剖学的付着位置を用いた骨格筋認識の実現が挙げられる。

謝 辞

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 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 27 年度版高齢社会白書, 2015.
- [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] 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, “体幹部 CT 画像における精密認識された肩甲骨の形状特徴に基づく棘上筋自動認識法の改良”, 第 34 回日本医用画像工学会予稿集, PP38, pp. 1-3, 2015.
- [4] 瀧渕達也, 神谷直希, 周向荣, 加藤博基, 東華岳, 神谷あすみ, 村松千左子, 原武史, 藤田広志, “体幹部 CT 画像における棘上窩の認識に基づく棘上筋の解剖学的特徴点認識法の改良”, 平成 27 年度日本生体医工学会東海支部大会予稿集, pp. 23, 2015.
- [5] 神谷直希, 周向荣, 陳華岳, 神谷あすみ, 村松千左子, 原武史, 藤田広志, “肩甲骨の精密構造認識法の開発”, 第 34 回日本医用画像工学会予稿集, PP39, pp. 1-4, 2015.