

アトラスに基づく胸鎖乳突筋自動認識手法の全身 CT 画像への適用

家田 皓将[†] 神谷 直希[‡] 周 向荣[†] 山田 恵^{†‡} 加藤 博基^{‡‡} 村松 千左子[†]
原 武史[†] 三好 利治^{†‡‡} 犬塚 貴^{†‡} 松尾 政之^{‡‡‡} 藤田 広志[†]

[†] 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

[‡] 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

^{† ‡} 岐阜大学大学院医学系研究科神経内科・老年学分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{‡ ‡} 岐阜大学附属病院放射線科 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{† ‡ ‡} 岐阜大学医学部附属病院放射線部 〒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放射線医学分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

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

あらまし 本研究では、筆者らが従来提案した、CT 画像における胸鎖乳突筋の自動認識法を全身 CT 画像に適用する。ここでは、体幹部 CT 画像では限定されていた、胸鎖乳突筋全域を対象とする。従来法と同様に、アトラスを用い、胸鎖乳突筋の平均形状を取得する。従来法における位置合わせを改良し、体軸方向の撮像範囲を考慮する。そのため、アトラスの体軸方向の中間部における位置合わせでは、胸鎖乳突筋の体表側における輪郭情報を用いる。骨格筋に所見のある全身 CT 画像 10 症例における平均一致率は 60.3% となり、胸鎖乳突筋の初期領域の取得に成功した。

キーワード ALS, CAD, 全身 CT 画像, 骨格筋, 胸鎖乳突筋

Application to whole CT images of automated recognition method of sternocleidomastoid muscle using atlas-based method

Kosuke IEDA[†] Naoki KAMIYA[‡] Xiangrong ZHOU[†] Megumi YAMADA^{†‡}
Hiroki KATO^{‡‡} Chisako MURAMATSU[†] Takeshi HARA[†] Toshiharu MIYOSHI^{†‡‡}
Takashi INUZUKA^{†‡} Masayuki MATSUO^{‡‡‡} and Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

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

^{† ‡} Department of Neurology and Geriatrics, Division of Neuroscience, Graduate School of Medicine,
Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

^{‡ ‡} Department of Radiology Service, Gifu University Hospital 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

^{† ‡ ‡} Radiology Service, Gifu University Hospital 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

^{‡ ‡ ‡} Department of Radiology, Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

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

Abstract The purpose of this research is to apply our previous method of automated recognition of a sternocleidomastoid muscle in torso CT images to whole-body CT images. While the imaging range of torso CT images was limited to the lower sternocleidomastoid muscle, whole sternocleidomastoid muscle is targeted in whole-body CT images. As with the previous method, we construct the average shape of the sternocleidomastoid muscle using the atlas. We improved the previous method on the alignment of the atlas to consider the extended imaging range. Therefore, the atlas is aligned using the outline shape of the sternocleidomastoid muscle. As a result, the average concordance rate was 60.3% using 10 cases of whole-body CT images with abnormalities in the skeletal muscles. We successfully recognized the major area of the sternocleidomastoid muscle well.

Keywords ALS, CAD, Whole CT image, Skeletal muscle, Sternocleidomastoid muscle

1. はじめに

筋萎縮性側索硬化症(ALS)は、その進行により、随意筋が萎縮し、呼吸困難・嚥下障害などの機能障害につながる。このALSは、根本的な治療法が開発されていない。しかしながら、薬物治療により、ALSの進行を遅らせることは可能である。しかし、早期のALSは他の筋疾患との鑑別が難しく、確定診断による治療は困難である。同様に、ALSの検査方法は多岐にわたり、除外診断が主な検査方法となるため、ALSを積極的に診断するための画像検査法は未だ確立されていない[1]。

ALSを対象とした画像診断に関する研究として、超音波画像を使用し、ALS患者の舌の線維束性収縮を検出する手法があり、その検出感度の高さが報告されている。また、超音波検査は四肢筋においても線維束性収縮の検出において、高い感度が得られる可能性があり、今後の発展が期待されている[2]。

我々はこれまでに、ALS患者の全身CT画像を用い、全身骨格筋の大域認識・区分化を実現し、ALSの画像解析の可能性を示した[3]。しかし、ALSの症状として、特定の骨格筋部位にこわばりや圧痛が発生する報告がある[4]。そのため、ALSに関連する骨格筋の部位別自動認識を行い、その後の筋解析につなげる必要がある。筋の部位別解析では、既に我々が、体幹部CT画像を用い、表層部や深部筋の一部で実現した[5]。

本研究では、全身CT画像を用い、ALSとの関連が示唆される筋の一つである胸鎖乳突筋の自動認識を行う。胸鎖乳突筋は、頸部において最大領域の骨格筋部位であり、人体の体表側に位置している。筆者らは、体幹部CT画像を用い、胸鎖乳突筋の下部領域に対し、自動認識を実現した[6]。ここでは、筆者らが従来提案した体幹部CT画像における胸鎖乳突筋下部領域の認識手法を全身CT画像に適用し、全身CT画像においては、胸鎖乳突筋の全域が描出されるため、胸鎖乳突筋の全領域の自動認識の実現を目的とする。

2. 方法

2.1. 自動認識手順の概要

胸鎖乳突筋の認識手順を図1に示す。本研究では、全身CT画像を用いるため、体幹部CT画像を用いていた従来研究[6]と比較し、体軸の撮像範囲が異なる。そのため、認識手順において従来法を改良する。詳細は各節において説明する。はじめに、医師が確認のもと、筆者らが作成した胸鎖乳突筋の正解領域を用い、胸鎖乳突筋の形状モデルとなるアトラスを生成する。次に、

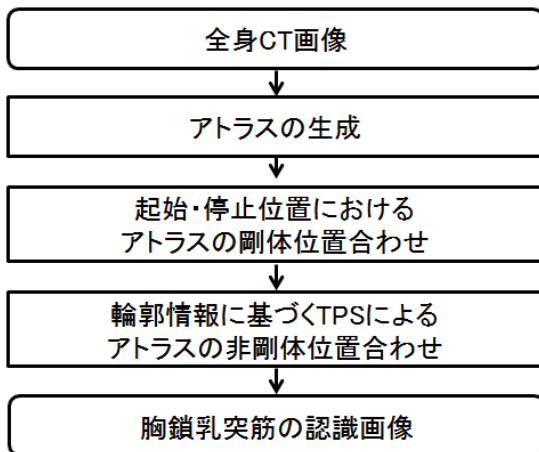


図1 胸鎖乳突筋の自動認識の流れ

胸鎖乳突筋の解剖学的付着部位である起始位置として胸骨頭を、停止位置として側頭骨乳様突起・後頭骨上項線を基準にアトラスの剛体位置合わせを行う。その後、体軸方向の中間部において、胸鎖乳突筋候補領域の体表側の輪郭情報を用い、アトラスの非剛体位置合わせを行い、その後の認識に用いる。

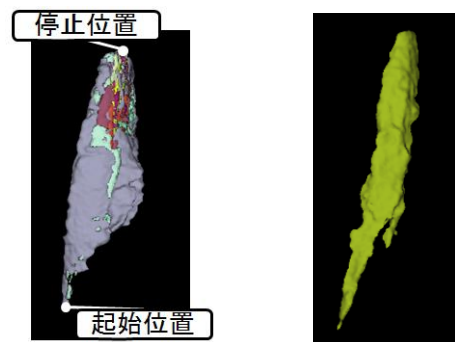
2.2. アトラスの生成

胸鎖乳突筋の形状モデルとなるアトラスの生成を行う。そのためには、正解領域の移動・回転により、正解領域の基準位置への位置合わせが必要となる。体幹部CT画像を用いた従来研究では、骨格分類画像[7]を用い、胸鎖乳突筋が付着する骨格部位を自動的に認識し、基準としてアトラスの位置合わせに使用した。本研究では、位置合わせには、手動で入力した起始・停止位置のランドマーク(LM: LandMark)を用い、正解領域を移動・回転し、基準位置への位置合わせを行う(図2(a))。ここでは、アトラス法による手法の妥当性を検証するため、LMは手動で入力したが、LMの認識は様々な手法が検討されており[8]、今後の検討課題である。本研究では、上記の位置合わせの結果において、9症例中6症例以上の領域が重なる画素を胸鎖乳突筋のアトラスとする(図2(b))。

2.3. 解剖学的付着点に基づくアトラスの剛体位置合わせ

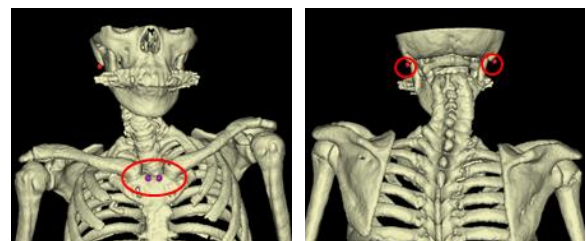
次に、胸鎖乳突筋の解剖学的付着点を基準にアトラスの剛体位置合わせを行う。従来法では、骨格分類画像による骨格の位置情報により、アトラスの位置合わせの基準となる起始・停止位置の自動認識が可能であった。本研究では、前節と同様に、剛体位置合わせの基準には、手動入力した起始・停止位置のLMを用いる。図3に、起始・停止のLMをそれぞれ赤丸で示す。

まず、アトラスの上端と停止のLMが一致するようにアトラスの平行移動を行う。次に、アトラスの下端と起始のLMが一致するように、アトラスの回転を行い、アトラスの剛体位置合わせを実現する(図4)。



(a) アトラスの重ね合わせ (b) アトラス

図2 剛体位置合わせによるアトラスの生成



(a) 起始位置 (b) 停止位置

図3 胸鎖乳突筋の解剖学的付着点



(a) 人体前面部 (b) 人体背面部

図 4 アトラスの剛体位置合わせ

2.4. 輪郭情報に基づく TPS によるアトラスの非剛体位置合わせ

前節のアトラスの剛体位置合わせでは、胸鎖乳突筋の筋量や形状、傾きなどの個体差が十分に吸収できない。特に、人体の体軸方向の中間部では、真の領域と配置されたアトラスの位置の誤差が大きい。そのため、アトラス中間部において、横断面の 1 スライスを用い、アトラスの剛体位置合わせを行う。ここでは、胸鎖乳突筋が体表側に存在することから、体表側の候補領域における輪郭情報を使用する。そして、剛体位置合わせ後におけるアトラスの輪郭に LM を配置し、Thin-Plate Splines [9](以後 TPS)を用い、アトラスの非剛体位置合わせを行う。

まず、アトラスの体軸方向の中間部において横断面の 1 スライスを選択する。次に、濃淡情報を用い、骨格筋領域を認識する(図 5(a))。その後、sobel フィルタを用い、骨格筋の輪郭を得る。そして、輪郭の最大領域を選択し、胸鎖乳突筋候補領域の輪郭を取得する(同(b))。同様の処理をアトラスに適用し、アトラスの体表側の輪郭を取得する。その後、アトラスと胸鎖乳突筋候補領域の輪郭情報を用い、位置合わせを行う。ここでは、アトラスの重心から 20×20 [pixel] の範囲を設定する。範囲内においてアトラスの平行移動を行い、体表側のアトラスの輪郭と胸鎖乳突筋候補領域の輪郭



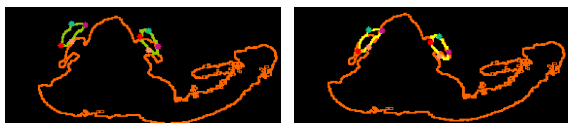
(a) 大域的な骨格筋領域 (b) 骨格筋の輪郭線

図 5 胸鎖乳突筋候補領域の輪郭線の取得



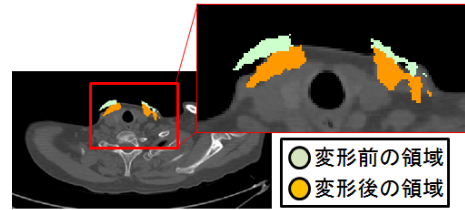
(a) 輪郭の面積を探索 (b) 剛体位置合わせ後

図 6 輪郭情報によるアトラスの剛体位置合わせ

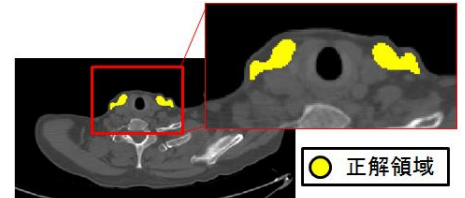


(a) 剛体位置合わせ前 (b) 剛体位置合わせ後

図 7 TPS における LM の設定



(a) TPS による変形前後のアトラス



(b) 胸鎖乳突筋の正解領域

図 8 TPS による位置合わせの結果

の一致する面積が最大となる位置にアトラスを平行移動する(図 6)。その後、剛体位置合わせ前後のアトラスの周辺に 4 点の移動 LM を設定し、手動入力した起始・停止位置に固定 LM を設定する(図 7)。LM を基準にアトラスに TPS を適用し、アトラスの非剛体位置合わせを実現する。TPS 法の適用前後におけるアトラス領域を図 8(a)に、胸鎖乳突筋の正解領域を同(b)に示す。

3. 実験

実験には、全身 X 線 CT 画像 10 症例を用いる。画素数は 512×512 [pixel]、スライス枚数は 1929~2433[枚]、空間分解能は $0.820 \sim 0.977$ [mm] \times $0.820 \sim 0.977$ [mm] \times 0.625 [mm]である。実験対象には、骨格筋に所見のある CT 画像を用いた。具体的には ALS、腰部脊柱管、頸椎症、首下がり、高 CK 血症と診断された症例である。その中には、ALS が 5 症例、腰部脊柱管狭窄症が 2 症例含まれている。

評価には、Jaccard の類似係数を用い、医師の指導により生成した正解画像との一致率、再現率、適合率を評価する。

4. 結果

10 症例における一致率、再現率、適合率の平均はそれぞれ 60.3%、71.1%、80.7%であった。図 9 に良好な認識結果の一例を示す。体軸方向において、図 9(a)が上部、同(b)が中部、同(c)が下部であり、同(d)が 3 次元表示による胸鎖乳突筋の認識結果である。また、緑色が正解画像と認識結果が一致した画素を、同様に赤色が過抽出、水色が未抽出画素を示す。

5. 考察

10 症例における平均一致率は 60.3%であり、胸鎖乳突筋の初期領域を良好に認識した。しかし、図 10(a)に示すように、人体内部領域において過抽出が存在する。これは、胸鎖乳突筋の人体内部領域では、隣接する骨格筋との濃淡値の差が小さく、境界が不明瞭なためである。これは、胸鎖乳突筋の体表側の輪郭の形状を利用し、内部の骨格筋との境界を認識する必要がある。また、図 10(b)のように胸鎖乳突筋の下部領域に未抽出が存在する。胸鎖乳突筋の下部領域は個体差が大きいので、アトラスを用いた形状モデルでは、下部領域の個体差に対応できないためである。そのため、点分布により胸鎖乳突筋表面の統計形状モデルが構築可能な、point distribution model(PDM)等により、モデル

文 献

- [1] MC. Kiernan, S. Vucic, BC. Cheah, MR. Turner, A. Eisen, O. Hardiman, JR. Burrell and MC. Zoing, “Amyotrophic lateral sclerosis,” *Lancet*, vol.377, no.9769, pp.942-955, Mar.2011.
- [2] S. Misawa, Y. Noto, K. Shibuya, S. Iose, Y. Sekiguchi, S. Nasu and S. Kuwabara, “Ultrasonographic detection of fasciculations markedly increases diagnostic sensitivity of ALS,” *Neurology*, vol.77, no.16, pp.1532-1537, Oct.2011.
- [3] 家田皓将, 神谷直希, 周 向荣, 山田 恵, 加藤博基, 東 華岳, 村松千左子, 原 武史, 藤田広志, “全身 CT 画像における全身骨格筋認識のための TPS 法に基づく体腔認識の検討”, *信学技報*, vol.115, no.218, MI2015-55, pp.35-38, Sep.2015.
- [4] T. Yamaguchi, T. Matsuki, “咀嚼筋活動の異常と関連疾患”, *顎機能誌* vol.10, pp.19-24, Dec.2003.
- [5] 神谷直希, “体幹部非造影 CT 画像における骨格筋の全自動認識 -現状と将来像-”, *医用画像情報学会誌*, vol.31, no.2, pp.32-35, 2014.
- [6] K. Ieda, N. Kamiya, X. Zhou, C. Muramatsu, H. Chen, T. Hara and H. Fujita, “Automated recognition method of lower sternocleidomastoid muscle using atlas based method for its nonrigid deformation and anatomical alignment in torso CT images: preliminary study”, *Proceedings of International Forum on Medical Imaging in Asia 2015*, PS.1-430, pp.430-434, Jan.2015.
- [7] X. Zhou, T. Hayashi, M. Han, H. Chen, T. Hara, H. Fujita, R. Yokoyama, M. Kanematsu, 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.
- [8] S. Hanaoka, Y. Masutani, M. Nemoto, Y. Nomura, S. Miki, T. Yoshikawa, N. Hayashi, K. Ohtomo, “Semiautomatic segmentation of whole-spinal vertebrae in CT volumes by multiatlas method: accuracy improvement by using anatomical landmark position information”, *Int. J. of CARS* 9(suppl.1), pp.S299-300, Jun.2014.
- [9] F. L. Bookstein, “Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel.*, vol.11, pp.567-585, Jun. 1989.

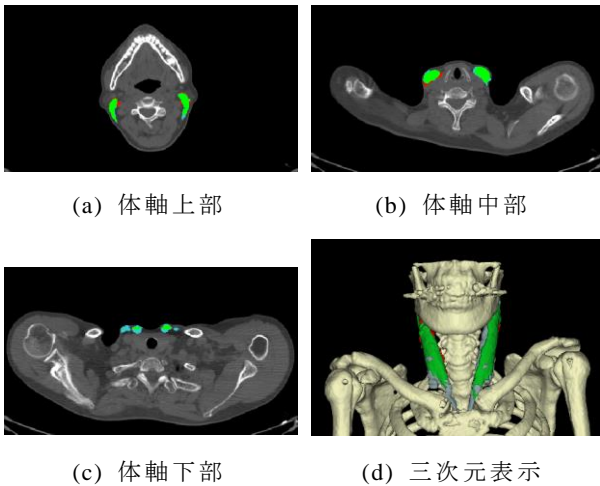
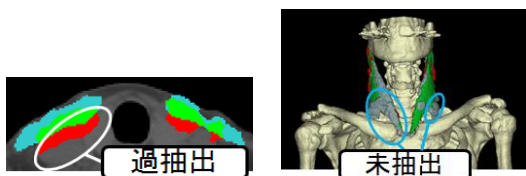


図 9 胸鎖乳突筋の認識結果



(a) 人体内部の過抽出 (b) 体軸下部の未抽出

図 10 認識結果の未抽出・過抽出領域

の高度化を行い、未抽出領域を低減する必要がある。

また、従来研究である体幹部 CT 画像における胸鎖乳突筋 20 症例の一致率は 65.4%であった。本研究の一致率と同程度ではあるが、さらなる検討が必要である。これは、全身 CT 画像では、胸鎖乳突筋の撮像範囲が広範となったため、未抽出・過抽出領域の増加が考えられる。

6. まとめ

本研究では、体幹部 CT 画像におけるアトラスに基づく胸鎖乳突筋自動認識法の全身 CT 画像へ適用した。従来法と比較し、胸鎖乳突筋全体のアトラスを生成し、起始・停止位置におけるアトラスの剛体位置合わせや輪郭情報に基づくアトラスの非剛体位置合わせを行い、自動認識を実現した。10 症例における認識結果と正解画像との平均一致率は 60.3%であった。全身 CT 画像には、骨格筋に所見のある症例を用いており、筋量や筋の形状に個体差のあるデータではあったが、従来研究と同程度の認識率で初期領域の取得が実現できた。そのため、アトラスに基づく胸鎖乳突筋の自動認識法の可能性が示唆されたと言える。

今後は、アトラスの構築手法の改良や胸鎖乳突筋内部の隣接する骨格筋との境界の認識手法を考案し、認識精度の向上を目指す。さらに、ALS 症例における胸鎖乳突筋の部位別解析の有用性について議論する。

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。