

皮下脂肪領域の除去による CT 画像の仮想展開と腹直筋領域の自動認識

神谷 直希[†] 村松 千左子^{††} 周 向榮^{††} 陳 華岳^{†††} 原 武史^{††}
星 博昭^{††††} 藤田 広志^{††}

[†]豊田工業高等専門学校 情報工学科 〒471-8525 愛知県豊田市栄生町 2-1

^{††}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

^{††††}岐阜大学大学院 医学系研究科 腫瘍制御学講座 放射線医学分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

E-mail: [†] n-kamiya@toyota-ct.ac.jp

あらまし 我々はこれまでに、非造影体幹部 X 線 CT 画像から骨格の位置情報と骨格筋の形状モデルを用いた骨格筋の自動認識手法を提案し、解剖学に基づく特徴点の検出と骨格筋の形状モデルは骨格筋の自動認識に有効な手法であると確認した。従来法では、人体を仮想的に切り開いた展開画像上において、骨格から取得した骨格筋の付着箇所をランドマークとして認識し、ランドマークから得られる位置情報を元に形状モデルを当てはめ、骨格筋領域の自動認識を行った。しかしながら、腹部のような体格の差異による表面形状が大きく異なる部位では、認識精度にばらつきが生じた。本研究では、この展開画像生成法を改良した。ここでは、患者間で差異が大きく、体格に大きな影響を与える皮下脂肪領域を事前に除去し、生成した展開画像を腹直筋の認識に適用した。腹直筋に所見のない 10 症例に本手法を適用し、平均一致率 89%の結果が得られ、本手法は多腹筋形状のモデル化および、腹直筋の認識に有効であることが確認できた。

キーワード CAD, X 線 CT 画像, 骨格筋, 腹直筋

Automated Recognition of the Rectus Abdominis Muscle in CT Images Based on a Virtual Image-unfolding Technique by the Removal of the Subcutaneous Fat Region

Naoki KAMIYA[†] Chisako MURAMATSU^{††} Xiangrong ZHOU^{††} Huayue CHEN^{†††}
Takeshi HARA^{††} Hiroaki HOSHI^{††††} and Hiroshi FUJITA^{††}

[†]Department of Information and Computer Engineering, Toyota National College of Technology 2-1 Eisei, Toyota, Aichi 471-8525 Japan

^{††}Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

^{†††}Department of Anatomy, Division of Disease Control, Graduate School of Medicine, Gifu University

^{††††}Department of Radiology, Division of Tumor Control, Graduate School of Medicine, Gifu University

E-mail: [†] n-kamiya@toyota-ct.ac.jp

Abstract We had proposed an automated method for recognizing skeletal muscle in torso X-ray CT images using skeletal positional information and shape model of its muscle, and confirmed that the method was effective in recognizing the muscles. The previous method recognized the muscle's connecting points on the virtually unfolded image of the human body as landmarks and fitted a shape model based on the positional information obtained from the landmarks, to recognize the muscle region automatically. However, there was a variation in recognition accuracy at the site where the surface shape is greatly different depending on the difference in physique such as an abdominal region. In this paper, we have improved the virtual image-unfolding technique. The proposed method removed the subcutaneous fat area beforehand because of its significant difference by physique between patients, and applied the remaining regions for recognition of the muscle. We applied this methodology to 10 patients with no evidence of abnormalities to the rectus abdominis muscle. We achieved the 89% concordance with manual segmentation and confirmed the effectiveness of the muscle polyventer shape modeling and recognition.

Keyword CAD, X-ray CT images, skeletal muscle, rectus abdominis muscle

1. はじめに

近年の超高齢化社会において筋骨格系の疾患、障害が増加している。筋骨格系において重要な要素は、形態の解析と病態の把握である。まず、形態の変化は、筋が使われないことにより痩せ、機能が低下する廃用性萎縮を解析することが必要である。つぎに、病態の把握では、治療と予防の二点が重要とされる。治療では具体的に廃用性萎縮を伴った高齢者への治療や治療後の経過観察、リハビリテーション等において筋量に関する情報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、現状の筋量を把握し、筋量の少ない症例に対し運動指導等を行うことにより将来的な廃用性萎縮のリスクを低減する必要がある。このように、高齢化社会において高齢者のみならず若年者、中年者も含めた包括的な対策の必要性が内閣府の白書[1]、21世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）[2]や厚生労働省が展開する国民運動「Smart Life Project」に示されている[3]。

これらの骨格筋に関する形態の解析、病態の把握は、主に超音波やMRIを用いて行われており、一般にCT画像を用いることはない。しかし、CT装置は近年高機能、高性能化しており、腫瘍などの微細な構造の早期発見や転移性病変の発見には非常に有効である。加えて、本研究の対象とする骨格筋は人体全域に存在するため、CT画像上の任意の領域に必ず含まれる。よって、病変検出等で撮影したCT画像を用い、計算機により自動的かつ定量的に骨格筋量等の解析を行うことで、画像情報の有効活用が実現可能と考える。

我々は既に体幹部X線CT画像に対する骨格筋の自動認識システムを開発してきた[4]。これは、計算機による医用画像の支援診断を目的とした(Computer-Aided Diagnosis: CAD)システムであり、定量的な人体情報の自動取得、解析を行うものである。

本研究では、既に我々が実現した骨格筋の自動認識手法のうち、人体を仮想的に二次元平面に切り開いた画像である仮想展開画像を用いた腹直筋の自動認識[5]における仮想展開画像の生成法を改良する。従来法では、解剖学的位置情報を仮想展開画像上から取得し、取得された位置情報を用い、骨格筋の外形モデルを当てはめ、認識を行うものであった。この展開画像上における解剖学的位置情報の取得は安定的に実現されたものの、体格差の違いに起因する認識結果への影響に課題があった。本研究では、腹部骨格筋において皮下脂肪領域が体格に大きな影響を与えることから、皮下脂肪領域を考慮した展開画像の生成法を示し、腹直筋の認識へ適用する。本手法により、頑健性の高い腹直筋領域の自動認識が実現でき、認識された領域内のCT

値、面積、体積、筋腹等の解析が可能となると考える。これらの情報は、腹直筋の機能である、体幹部の屈曲や回旋、呼吸、さらに、腹圧を加える機能による排便、分娩、咳などの多岐にわたる関連の解析への応用も期待できる。

また、モデルに基づく骨格筋の自動認識に関する研究はMRIを用いて行われているが[6, 7]、非造影CT画像を対象とした腹直筋の三次元的な自動認識方法は前述の我々の手法以外には未だ報告されていない[5, 8]。

2. 処理手順

今回提案する皮下脂肪領域の除去によるCT画像の仮想展開に基づく腹直筋の認識処理手順を図1に示す。まず、皮下脂肪領域の除去による仮想展開画像の生成法を2.1で示し、解剖学的特徴の認識と認識された特徴量を利用した腹直筋領域の認識法について2.2以降で述べる。本研究では、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[9]を入力画像に用いる。

2.1. 皮下脂肪領域の除去による仮想展開画像の生成

従来の仮想展開画像は、体軸方向に人体の輪郭上を体表から順に内側に追跡し、二次元表面上への座標変換により実現していた[5]。これは、体表からの距離が正規化されるため、展開により得られた画像上において、骨格等の部位が特定されている場合に、その位置情報の利用において有効であった。一方で、展開画像上における骨格筋の認識においては、体表から骨格筋

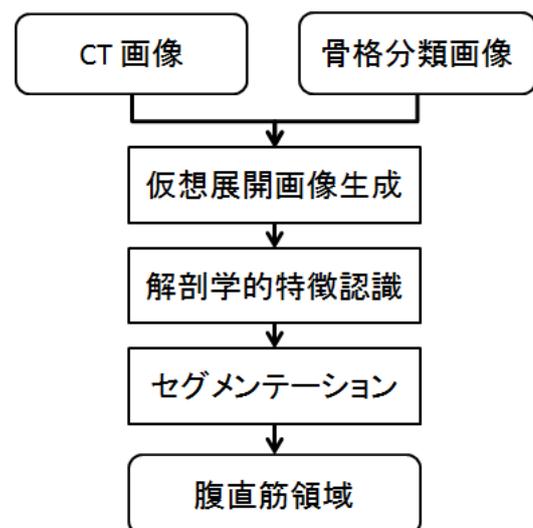


図1 CT画像の仮想展開に基づく腹直筋領域の自動認識処理の流れ

までの距離値は展開前と変化しないため、腹部において脂肪量の個人差が原因となり、腹直筋認識に活用できているとは言い難かった。これは、従来法の展開画像では、LM の認識には有効なものの、モデルの当てはめにおいて、個人差に影響を受けることを意味する。

そこで、本手法では、展開画像の生成前に皮下脂肪領域を認識し、除去することで、展開画像を用いた骨格筋認識における体格の影響を軽減する。ここでは、原画像から濃淡値を用いて脂肪領域の認識を行い、皮下脂肪と皮下脂肪より外側に存在する皮膚領域の除去を行う。脂肪領域は腹直筋を含む骨格筋領域と比較し、分布が異なるため、比較的容易に認識可能である。

皮下脂肪と皮膚領域が除去された原画像を用いて従来法[5]と同様に二次元平面上に仮想的に切り開いた展開画像を生成する。図2に生成した展開画像を示す。従来法と比較し、体表から皮膚、皮下脂肪、骨格筋領域と階層構造をなす人体において、皮下脂肪領域の除去により、骨格筋の表面を基準に展開された画像が得られたことがわかる。

2.2. 解剖学的特徴の認識

本研究で用いる解剖学的特徴には、腹直筋の接続箇所(空間位置)、筋線維の走行および存在領域を用いる。

まず、腹直筋の接続箇所は解剖学的に定義される骨格上の起始・停止を用いる。腹直筋の起始・停止は、恥骨料に起始し、第5～第7肋軟骨に停止すると定義されている[9]。ここでは、前節において得られた展開画像上において、濃淡値により骨格を認識し、入力画像の1つである骨格分類画像それぞれの骨格を特定し、起始・停止の特徴点の位置をランドマーク(LM)として認識する。この認識されたLMは解剖学的な付着点であるため、腹直筋認識の位置情報として利用する。

次に、認識されたLMを接続し、筋線維の走行を模した仮想的な骨格筋芯線を得る。図3に展開画像上に

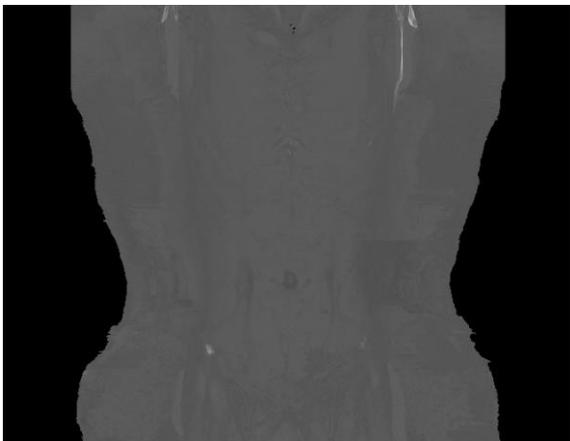


図2 皮下脂肪領域の除去により得られた展開画像

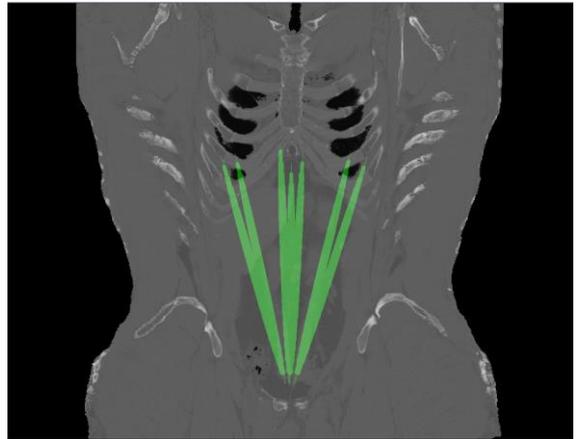


図3 仮想展開画像上における骨格筋芯線

重ねあわせて表示した骨格筋芯線を示す。次節ではこの芯線により限定された位置情報を用い、腹直筋領域の認識を行う。

2.3. 腹直筋領域のセグメンテーション

前節において設定された筋線維の走行を模倣する芯線は、腹直筋の概形の空間的な広がり表現されていると考えることができる。ここでは、展開画像の各スライスにおいて、芯線の存在領域をスプライン曲面補間により閉領域であるマスク領域として取得し、腹直筋存在領域を示す腹直筋形状モデルとする。図4に生成した腹直筋形状モデルを示す。各スライスにおいて、この形状モデルで示された領域内の濃淡値情報を用い、腹直筋領域のセグメンテーションを行う。

3. 実験と結果

本研究で使用した原画像は512×512[pxel]、スライス枚数834-1009[slice]で構成される非造影体幹部X線CTが雑である。空間分解能は0.625[mm]、濃度分解能は12[bit]である。

体幹部X線CT画像10症例において腹直筋の認識を

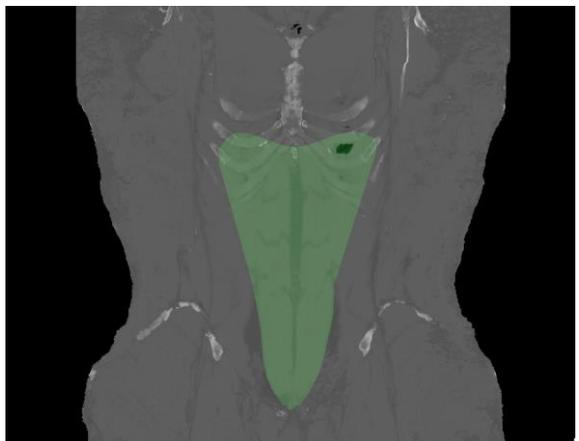


図4 骨格筋芯線を包含する領域

行った。10 症例は腹直筋領域における疾患は存在しない症例である。評価は医師の指導のもと作成した画像を正解画像とし、抽出結果との一致率により評価を行った。平均一致率は 89%であり、症例間における一致率の分散は 5.2%と良好な結果を得た。図 5 に認識結果の一例を示す。同様に図 6 に認識結果の 3 次元表示を 2 つの角度から示す。

4. 考察

10 症例の限られた DB ではあるが、平均一致率 89%と比較的高い認識結果を得た。図 5 より、矢状面において、体表の脂肪量に関わらず、頭尾方向の腹直筋が認識されていることがわかる。同様に、横断面においても左右の腹直筋領域がそれぞれ認識されていることがわかる。また、図 6 に示された 3 次元表示より、複数の腱画を有する腹直筋の多腹筋形状が確認できる。正解画像との相違は腹直筋上部の肋軟骨への付着部に現れており、本手法では薄い腱膜を含んで認識しており、正解画像上には含まれないためと考えられる。

5. むすび

皮下脂肪領域を考慮した仮想展開画像の生成法と仮想展開画像の腹直筋認識への応用を示した。従来法の展開画像では複雑な人体の位置情報が二次元平面に正規化され、骨格筋と骨格間の相対位置情報の利用に有効であったが、本手法では、患者間の体格差も低減され、分散の小さい頑健な手法となったと考えられる。

今後の課題として、より大きな症例データベースにおいて手法を適用し、本手法の有効性を検証する必要がある。また、他の表層筋においても同様の手法により認識が実現可能か検討する必要がある。

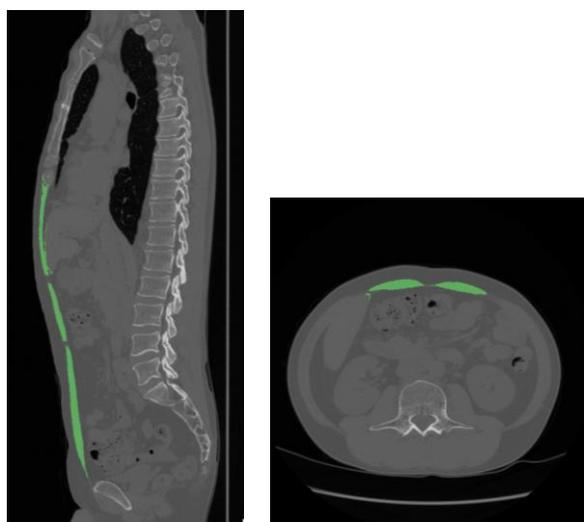


図 5 各断面における認識結果

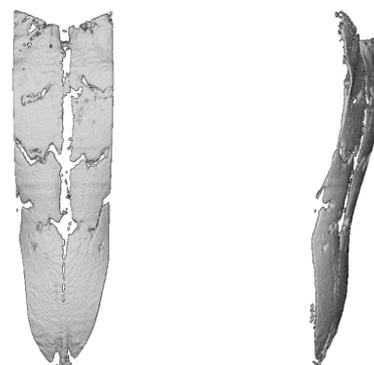


図 6 認識結果の 3 次元表示

謝 辞

本研究を進めるにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々に感謝の意を表します。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 21103001) および内藤科学技術振興財団研究助成により行われました。

文 献

- [1] 内閣府編，高齢社会白書，内閣府，2012.
- [2] 健康・体力づくり事業財団，健康日本 21，2008.
- [3] 厚生労働省編，Smart Life Project，厚生労働省，2012.
- [4] N. Kamiya, X. Zhou, H. Chen, C. Muramatsu, T. Hara, R. Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, and H. Fujita, "Automated segmentation of psoas major muscle in X-ray CT images by use of a shape model: Preliminary study," Radiological Physics and Technology, vol.5, no.1, pp.5-14, 2012.
- [5] N. Kamiya, C. Muramatsu, X. Zhou, H. Chen, R. Yokoyama, T. Hara, M. Kanematsu, H. Hoshi and H. Fujita, "Model-based approach to recognize the rectus abdominis muscle in CT images by use of a virtually image-unfolding technique", Proc. of International Forum on Medical Imaging in Asia, no.47, 2012.
- [6] B. Gilles, N. Magnenat-Thalmann, "Musculoskeletal MRI segmentation using multi-resolution simplex meshes with medial representations," Medical Image Analysis, vol.14, no.3, pp.291- 302, 2010.
- [7] L. Scheys, D. Loeckx, A. Supaepen, P. Suetens, I. Johnkers, "Atlas-based non-rigid image registration to automatically define line-of-action muscle models: a validation study," Journal of Biomechanics, vol.46, no.7, pp.767-772, 2009.
- [8] N. Kamiya, X. Zhou, H. Chen, C. Muramatsu, T. Hara, and H. Fujita, "Model-based approach to recognize the rectus abdominis muscle in CT images", IEICE D, (in press).
- [9] X. Zhou, T. Hayashi, M. Han, 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, 2009;7259, 72593S. doi:10.1117/12.812945.
- [10] R. Drake, W. Vogl, and A. W. M. Mitchell, "Gray's anatomy for students," Churchill Livingstone, 2005.