

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

神谷直希[†] 周 向荣[†] 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[†]

[†] 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

^{††} 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

^{†††} 岐阜大学医学部附属病院放射線部

^{††††} 岐阜大学医学部附属病院放射線科

^{†††††} 岐阜大学大学院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: [†] kamiya@fjt.info.gifu-u.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筋の外形モデルを用いた大腰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外形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、骨格からの位置情報を利用し、骨格筋の芯線とその紡錘状の外形をモデル化することにより大腰筋の自動認識を行った。本論文では、この方法を腹部の表層部の筋である腹直筋の認識に適用した。腹直筋は体幹部の屈曲や回旋、呼吸などに関与する重要な筋である。本手法は多腹筋形状のモデル化を行い、腹直筋の認識が可能であることを示す。20 症例でモデルを作成し、異なる 20 症例に適用し、平均一致率 86%の結果が得られ、本手法の有効性が確認できた。

キーワード CAD, X 線 CT 画像, 骨格筋, 腹直筋

Development of an abdominal skeletal muscle model and its automated recognition in X-ray CT images

Naoki KAMIYA[†] Xiangrong ZHOU[†] Huayue CHEN^{††} Tatsuro HAYASHI[†] Takeshi HARA[†]
Ryujiro YOKOYAMA^{†††} Masayuki KANEMATSU^{†††,††††} Hiroaki HOSHI^{†††††} and Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University

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

^{†††} Department of Radiology Services, Gifu University Hospital

^{††††} Department of Radiology, Gifu University Hospital

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

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

Abstract We had proposed an automated method of recognizing psoas major muscle in torso X-ray CT images using skeletal positional information and outer shape of its muscle, and confirmed that the method was effective to recognize skeletal muscles, which was based on anatomical landmark recognition and utilization of outer shape. The previous method used the skeletal positional information, centerline of muscle and spindle-shaped model to recognize psoas major muscle. In this paper, we propose this method to recognize the rectus abdominis. The rectus abdominis muscle has an important role about bending, rotation and breathing in torso region. A modeling method of muscle polyventer is developed which is employed to recognize rectus abdominis. Twenty patient cases are used in creating this model and applied to other 20 patient cases to recognition evaluation. We achieved the 86% concordance and confirmed the effectiveness of our proposed technique.

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

1. はじめに

近年の高齢化社会の発展において国民における筋骨格系の疾患、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の二点である。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）に示されている [2]。

また、これらの骨格筋に関する形態の解析、病態の把握は、現在、超音波や MRI を用いて行われているが、これらの目的のために X 線 CT 画像を撮影することはない。しかし、X 線 CT 装置は近年非常に高性能、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のためには非常に有効である。加えて、我々の対象としている骨格筋は人体を取り囲むように存在するため、X 線 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 画像より、計算機によって自動的かつ定量的に骨格筋量等の情報の解析を行うことで画像情報の有効活用が可能となると考える。よって、我々は骨格筋の認識、解析のために撮影されたものではなく、一般に撮影された体幹部 X 線 CT 画像を用いた骨格筋の体積や筋厚の自動計測を目的とした計算機支援診断 (CAD) システムの開発を行う。

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 [3]。これは、計算機による医用画像の支援診断 (Computer-Aided Diagnosis: CAD) を目的としたシステムであり、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、従来我々が行った大腰筋の自動認識に関する手法 [3] を腹直筋へ応用する。本手法の元となる大腰筋の自動認識に関する研究では、解剖学的情報に基づく特徴量を利用し、そこに筋の形状をモデル化した外形モデルを当てはめ、認識を行うものである。また、ここで用いる解剖学的情報とは、筋の骨格へ付着する箇所である起始・停止を特徴点 (ランドマーク: LM) としたものである。本研究では対象範囲を同じ腹部であるが、従来の深層部である大腰筋に対して、表

層部の腹直筋とした。同様に形状モデルも従来の大腰筋は「紡錘形状」であるのに対して、腹直筋は「多腹筋形」と異なる形状のモデル化を行う。本手法により、腹直筋領域の自動認識が可能となり、領域内の CT 値、面積、体積、さらには筋腹等の解析が可能となる。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される。

また、CT 画像を対象としたモデルを用いた腹直筋の三次元的な自動認識方法は未だ報告されていない。

2. 処理手順

今回提案する腹直筋の認識処理手順を図 1 に示す。まず、腹直筋モデルの作成について 2.1 で示し、モデルの適用のための特徴点の認識、芯線の作成について 2.2 で、2.3 以降ではモデルの当てはめと認識について示す。

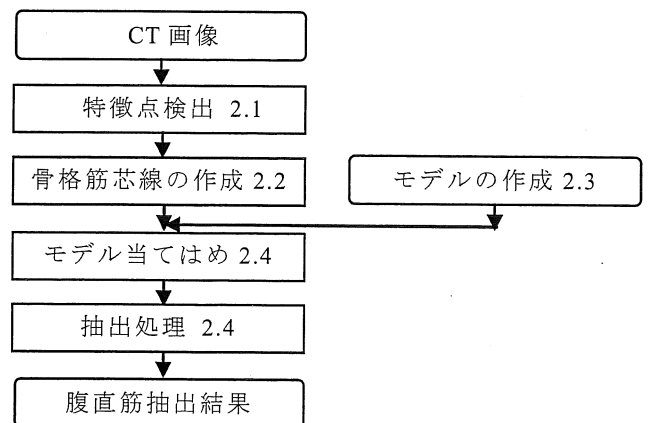


図 1 腹直筋の認識処理の流れ

2.1. 特徴点の検出

前述のとおり、従来法 [3] と同様に解剖学的特徴として骨格筋の起始・停止の認識を行う。本研究の対象とする腹直筋は恥骨稜に起始し、第 5~7 肋軟骨の外側、剣状突起に停止する [4]。本手法では骨格上からこれらの特徴点 (ランドマーク: LM) を自動的に認識する。

認識には林らの手法 [5] により分類された骨格分類画像を用いる。これは、入力した CT 画像から濃淡値により骨格を認識し、その後、それぞれの骨をその接続と体積を利用して分類するものである。

ここでは、起始・停止それぞれにおいて 3 次元上の一点を決定しなければならないため、各骨に対して、①最前面、②最も下側、③最も内側、の順に条件として一点を決定した。①については矢状軸状の前面を意味し、②は人体の縦軸に対する下を、③は水平軸に対して内側を意味する。これは、腹直筋は骨格の表面に

付着し、各筋繊維は腹部中央にまとまって存在するという特徴を示す。ここでは、左右それぞれから起始1点、停止4点の合計10点のLMの認識を行った。

2.2. 骨格筋芯線の作成

2.1 で求めた解剖学的特徴点である LM は腹直筋の骨格上の接続点を表現したことにすぎない。ここでは、追加の特徴として筋線の走行方向を表現するため、起始・停止の対応する LM を接続する。つまり、恥骨稜状の停止1点と第5~7肋骨、剣状突起の4点をそれぞれ接続する。図2に自動認識したLMに対して生成した骨格筋芯線画像を示す。(a)は骨格上のLMを結んだ芯線の3次元画像である。(b)は原画像上に芯線を重ね合わせた結果である。

ここで、腹直筋は起始・停止間の距離が他の筋と比べて長い。つまり、胸部と下腹部を接続する筋であるため、症例間の体型の影響を受けやすい。そのため、起始・停止を接続しただけでは、筋線の走行とならない場合が生ずる。よって、対応する起始・停止を体軸方向に二分する位置に対して、新たなLMを設定する。新たに設定するLMは一意に決定可能であり、さらに体格を表現できるものでなければならない。そのため、本手法では起始・停止の midpoint において、矢状方向のみ座標を調整することで表現した。つまり、midpoint 座標において矢状軸上で前面から探索し、皮下脂肪の最も内側に設定した。これは、人体構造は体表から順に皮下脂肪、筋、内臓臓器または脂肪となっているため、皮下脂肪の最も内側は筋の境界を表現できると考えられるためである。さらに、皮下脂肪自体もCT値により比較的容易に認識可能なため、この走査によるLMの設定の失敗は生じにくいと考えられる。図3に新たに加えたLMを利用した骨格筋芯線画像を示す。図3(b,c)によりmidpointを設定することで体格が考慮されたことが分かる。

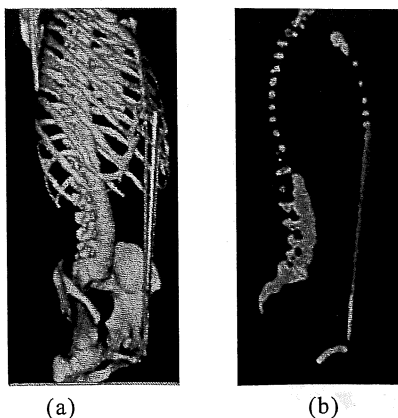


図2 芯線画像 (a)骨格画像上に表示(3-D), (b)原画像と重ねて表示。

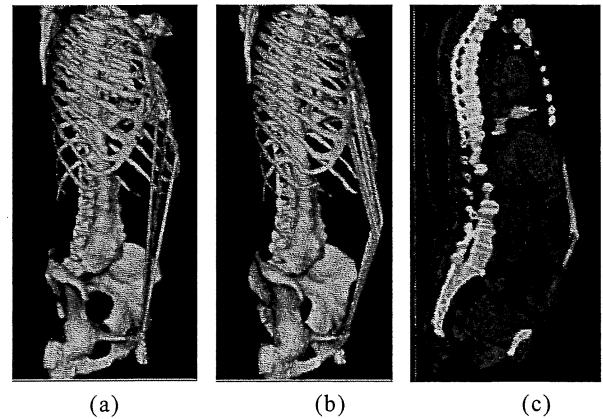


図3 骨格筋芯線画像 (a)起始・停止のみの場合、(b)起始、停止と中点を補正した場合、(c)原画像と重ねて表示。

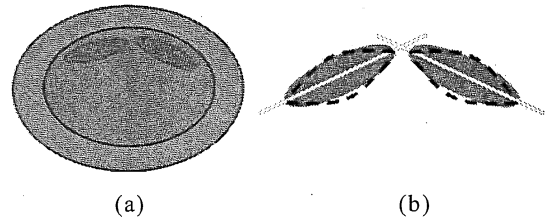


図4 腹直筋モデルの模式図 (a)横断面における腹直筋の形状と位置、(b)腹直筋横断面形状と長軸(白線)に対する二次曲線により近似された輪郭形状(点線)。

2.3. モデルの作成

従来法[3]では紡錘型の形状である大腰筋の外形を二次曲線近似により表現した。本論文で対象とする腹直筋は多腹筋形であり、大腰筋とは異なり比較的平らな形状であり、その横断面の形状は薄い楕円型である[4]。本手法では筋の横断面に対して長軸に対してその形状を二次曲線近似した。図4に腹直筋モデルの模式図を示す。

ここでは、医師による腹直筋の正解画像から手動により骨格筋の筋幅の測定を起始・停止を体軸方向に5分割する箇所において筋厚の計測を行った。筋厚は筋の長軸に対して垂直かつ最も筋の厚み大きい箇所にて測定した。20症例の平均は上部から順に7.71[mm], 8.43[mm], 8.76[mm], 8.11[mm], 8.21[mm]となった。各位置においてt検定を行ったところ、いずれの位置においても統計的有意差はなかった。また、全ての平均は8.15[mm]となった。以上より、本手法では長軸に対して頂点の高さを8[mm]とするような二次曲線で形状をモデル化した。つまり、長軸に対して

$$y = -\alpha x^2 + 8 \quad (1)$$

の二次曲線を腹直筋形状とした。ただし、 α は断面上の筋の外形を、 y は長軸から筋の境界までの距離、 x は長軸のmidpoint(原点)からの距離を示す。

2.4 モデルの当てはめと認識

2.3 で作成したモデルを利用して、未知の症例に対して認識を行う。具体的には各横断面において骨格筋芯線の最も内側と外側を結ぶ直線を長軸とし、その長さを l とする。次に(1)の式を当てはめるため、曲線の傾き α を求める。 α は原点からの距離を利用し、 $(x,y)=(l/2, 0)$ を代入し求める。求まった α を(1)に適用することで、その症例に対応したモデルとなる。

認識処理では各断面に対して上述の処理（長軸を求め、 α を計算）により作成された式で表される境界までの領域内で腹直筋の認識を行う。モデルで表される領域内の構成物は、脂肪（皮下脂肪、内臓脂肪）腹直筋や腸の一部であるため、濃淡値と連結性により比較的容易に認識可能である。図5に腹直筋モデルを示す。(a)は骨格上にモデルを三次元表示したものである。(b)は原画像上の一断面で右腹直筋のみモデルを重ね合わせ、左腹直筋にはモデル作成前の長軸を示した。

3. 実験と結果

本研究で使用した原画像は、 512×512 [pixel]、スライス枚数 834-1009[slice]で構成される非造影体幹部 X 線 CT 画像である。空間分解能は約 0.6[mm]、濃度分解能は 12[bit]である。

体幹部 X 線 CT 画像 20 症例において大腰筋の自動認識を行った。評価は医師の指導のもと作成した手入力画像を正解画像とし、正解画像抽出結果の体積を比較し、一致率により評価を行った。正解画像の領域を A、

認識結果の領域を B としたとき、 $\frac{A \cap B}{A \cup B}$ により評価を行った。平均一致率は 86%（最大 92%、最小 78%、標準偏差 6.44%）を得た。誤抽出は主に起始付近と停止付近の未抽出であった。図6に原画像と認識結果の一例を示す。

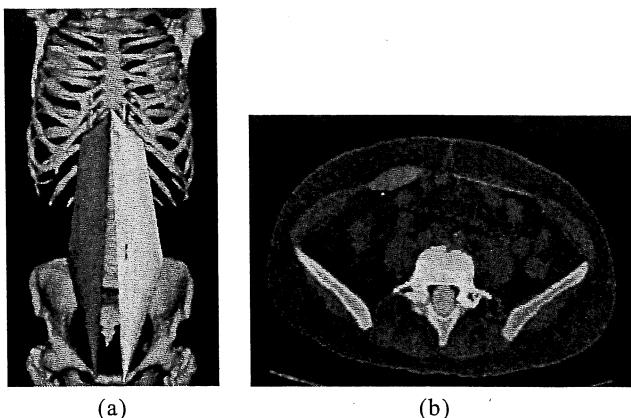


図5 腹直筋モデル (a)三次元表示、(b)原画像と重ねて表示（左：腹直筋モデル、右：筋の長軸）

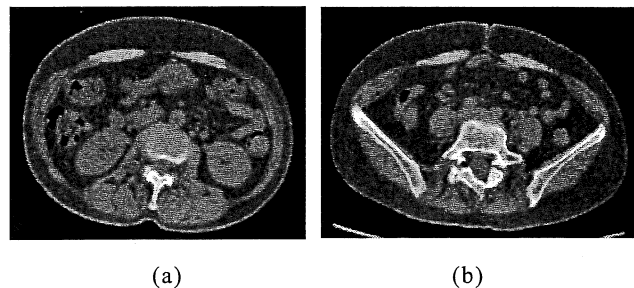


図6 腹直筋認識結果 (a)肋骨最下端の断面、(b)臍断面

4. 考察

20 症例において平均 86%の一致率を得た。本手法ではモデルの有効性を判断するためにモデル外の領域に対する認識処理を行っていない。それにも関わらず比較的高い一致率を得たことは、本手法の2つの仮定が有効であったと考えられる。それは、筋の起始・停止を結ぶ直線が筋の走行を示すということと、筋の形状は筋断面の長軸に対して二次曲線で表現可能な2つである。起始・停止周囲の未抽出は長軸が短くなるため、モデル曲線の α の値が小さくなってしまったためと考えられる。これは、解剖学的な起始・停止は点ではなく面で骨格と接続されるため、起始・停止を領域で認識することにより改善が可能であると考えられる。

5. むすび

X 線 CT 画像における腹部骨格筋モデルの作成と、認識法の初期的実験として腹直筋のモデルを構築し、一致率により評価を行った。筋の解剖学的な位置情報の利用と、筋の外形を二次曲線という少ないパラメータによる式で表現することで未知の症例に対しても比較的高い一致率を得ることができ、本手法の原理的な有効性が示唆されたといえる。

今後の課題として、本手法で得られた領域の周辺組織を認識し、未抽出領域の認識率の向上があげられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金および厚生労働省がん研究助成金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，2006.
- [2] 健康・体力づくり事業財団，健康日本 21，2008.
- [3] 神谷直希，周向荣，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”，信学技法，Vol.107, No.220, pp. 23-27, 2007.
- [4] W.Lahle, H.Leonhardt, W. Platzer, 解剖学アトラス第三版，文光堂，2003.
- [5] 林達郎，周向荣，原武史，藤田広志，横山龍二郎，桐生拓司，星博昭，“体幹部 X 線 CT 画像における自動的な骨格の構造認識手法の開発”，第 25 回日本医用画像工学会大会，OP3-4，2006.