

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：23901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21588

研究課題名(和文) 腸骨筋の三次元画像解析技術の開発による腸腰筋解析の高度化

研究課題名(英文) Advancement of iliopsoas muscle analysis by development of 3D image analysis technique of iliac muscle

研究代表者

神谷 直希 (KAMIYA, Naoki)

愛知県立大学・情報科学部・講師

研究者番号：00580945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高齢者の自立歩行機能に関連する腸腰筋を対象とし、腸腰筋を構成する腸骨筋の自動認識および大腰筋と腸骨筋を合わせた腸腰筋全体の三次元自動解析技術の開発に取り組んだ。ここでは、これまでに開発した大腰筋の外形を表す形状モデルに加え、腸骨筋の形状モデルの構築を行った。そして、形状モデルを任意の症例に適用するため、特徴点となるランドマークを解剖学的起始・停止から算出し、ランドマーク間を筋の走行を模した筋線維走行モデルで接続し、筋線維走行モデル上に形状モデルを当てはめ認識を実現した。さらに、認識した骨格筋を筋量だけでなく、テクスチャ特徴により解析する技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused on the iliopsoas muscles, which are the muscles related to the autonomous walking function. We achieved automatic recognition of the iliac muscle constituting the iliopsoas muscle and development of three dimensional automatic analysis technique of the iliopsoas muscle combined with the psoas major and iliac muscle. Here, in addition to a shape model representing the outline of the large psoas muscle developed by our previous study, we also constructed a shape model of the iliac muscle. In order to apply this shape model to arbitrary cases, we first calculate the landmarks as feature points from the anatomical origin and insertion, then, in the muscle fiber direction model modeling the direction of the muscles between the landmarks. Finally, a shape model was fitted on the muscle fiber running model to realize recognition. Furthermore, we developed a technique to analyze recognized skeletal muscles not only by muscle mass but also by texture features.

研究分野：医用画像情報処理

キーワード：腸腰筋 腸骨筋 大腰筋 筋走行モデリング 骨格筋自動認識 骨格筋自動解析

## 1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎えている我が国において、健康寿命の延伸は大きな課題である。特に、高齢者における寝たきり人口の増加は経済的に大きな損失となる。実際、21世紀における国民健康づくり運動(厚生労働省)においても健康寿命延伸の重要性は述べられ、骨格筋量の維持・増進はQoL(QoL: Quality of Life)向上に大きく関わるため、若年層から取り扱う問題として認識されている(引用)。もちろん、成人、高齢者層においても骨格筋の状態把握は重要な問題であり、骨格筋量の正確な計測法は存在せず、重要かつ困難な課題である。

上記のように、骨格筋量の自動計測を考えた場合、以下のような背景がある。まず、我が国では、CT装置が普及しているが、増加する画像情報に対し、診断対象外となる画像領域も増加しており、診断に直接使用されない画像情報の有効活用が望まれている。同時に、コンピュータ支援診断(CAD: Computer-aided Diagnosis)システム開発研究においても、CT装置で撮影された非造影画像を対象とした骨格筋の自動認識は、大腿部においては取り組まれているものの、主要な臓器組織が含まれる腹部や本研究の対象とする深部筋では、我々以外には全く取り組まれていない。

骨格筋の自動認識に関する我々の研究は、科研費特定領域研究“人体の正常構造の自動認識「知的CAD」プロジェクト”に始まる(引用)。同プロジェクトでは、CT画像において、骨格筋の領域は任意の画像断面に必ず描出されることから、画像情報の有効活用を目的として始められた。また、本研究で用いる非造影の体幹部CT画像においては、主要な臓器領域と骨格筋の領域はX線吸収量が類似しているため、画像上の濃淡値は同程度の分布を示す。そのため、他のCADシステムにおいて、骨格筋領域の認識の必要が生じた。

## 2. 研究の目的

我々は、本プロジェクトに先立ち、骨格筋の解剖学的特徴に着目し、骨格筋が付着する骨格や、筋そのものの走行を計算機上に表現し、さらに形状をモデリングする手法による大腰筋の自動認識法を提案した(引用)。ここでは、形状モデリングによる大腰筋と腹直筋の自動認識を実現し、体型の個人差にロバストな骨格筋の認識を実現した。

本プロジェクトでは、個人差の大きい骨格筋形状を正規化する手段として、膨大な学習データに基づく腸骨筋の数理解剖モデルを構築し、申請者らの従来研究により有効性が示された、数理解剖モデリングに基づく筋の認識手法の高度化を目的とする。

具体的には、従来は、紡錘形に近似した大腰筋のモデリングを行ったが、本研究では、より複雑な形状である腸骨筋の外形、走行および解剖学的湾曲の計算機上での表現を試

みる。そして、モデリングにより得られた腸骨筋の数理解剖モデルを用い、腸骨筋領域の自動認識を実現する。最後に、腸骨筋と大腰筋の2つの領域を統合した腸腰筋領域として取得し、複数の筋の部位別認識技術を統合した、複数骨格筋の自動解析技術の開発を目的とする。

これまでに述べたとおり、本研究では、社会的な課題である健康寿命の延伸に大きく関わる骨格筋のうち、歩行機能に関連する深部筋である、腸骨筋を対象とする。そして、骨格筋量をボリュームとして全自動で定量的に計測し、複数の関連する筋のモデリングを実現するはじめてのシステムを開発する。本研究は、解剖学の専門医による評価実験を行い、本手法の有効性を評価する。

## 3. 研究の方法

(1) 腸骨筋の筋走行モデルの構築と、走行モデルを用いた腸腰筋認識では、まず、腸骨筋および腸骨筋と骨格に関する解剖学的構造のデータベース(DB)を構築する。具体的には、各CT画像内の画素を解剖学的定義に従って腸骨筋と骨格に分類する。これは、解剖学医の協力のもと、精度の確認と必要な修正を加え、正確な解剖学的構造(腸骨筋と骨の位置、腸骨筋の走行、表面形状)を得る。これらの情報を腸骨筋の数理解剖モデル構築の素材として利用する。そして、骨格と各骨格筋の相対的位置関係に注目し、腸骨筋を識別するための最適な特徴点を骨格構造から取得する方法について検証実験を行う。

腸骨筋の自動認識には、腸骨筋の形状と骨格の接続関係を利用する。そのために、腸骨筋の解剖学的な特徴量を解析し、付着点、筋線維の走行および形状をモデリングする。ここでは、引用文献に挙げた大腰筋の数理解剖学的形状モデルの生成法をもとに、腸骨筋はより形状が複雑なことや、個人差が大きいこと、より汎用的なモデル構築を行う。具体的には、起始・停止の位置に基づく筋線維の走行形状パラメータの決定である。これらのパラメータの決定に基づき、腸骨筋の数式表現による一般化を行う。同時に、形状モデルの初期位置の選別、骨格からのランドマークの自動検出処理も骨上の特徴量と骨格筋の解剖学的付着部位との関係から選定を行う。

ここまでで作成された数理解剖モデルを用い、腸骨筋領域の自動認識手順の開発を行う。具体的には、実験症例において、解剖学的情報に基づいて腸骨筋と骨格の付着部位となるランドマークを選別し、各ランドマークを画像上から検出する手順を開発し、そこに数理解剖モデルを当てはめる。その後、精密抽出により境界部や個人差を吸収する。

(2) 大腰筋と腸骨筋の自動認識に基づく腸腰筋の自動解析では、大腰筋抽出結果と統合し、腸腰筋領域として大腰筋・腸骨筋それぞれの骨格筋量の測定を行う。基本的には画像

上の骨格筋領域の画素数から体積に換算し骨格筋量を計算し、骨格筋の横断面積にとどまらない3次元解析を実現する。また、計算機特有の画像解析として、テクスチャ特徴量を用い、人が目視では判別できない筋特徴が無いかに解析を行う。ここでは、自動認識された筋領域を利用し、Haralickの特徴量を用いたテクスチャ特徴を用いる。同時に、骨格筋だけでなく、骨格筋領域内の脂肪領域の含有量も同時に計測する。

#### 4. 研究成果

(1) 腸骨筋と大腰筋を合わせた腸腰筋モデルを図1に示す。同(a)は筋の走行を示したモデルであり、寛骨から小転子に向けて腸骨筋の走行曲線が示されていることが分かる。また、得られた走行曲線上にそれぞれの筋の形状モデルを当てはめた結果を同(b)に示す。

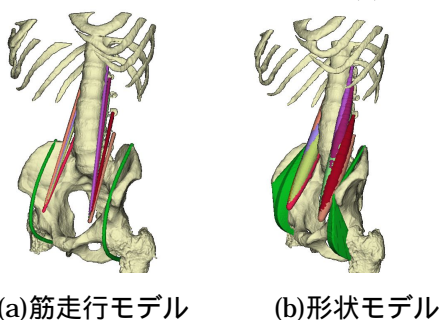


図1 腸腰筋モデル

骨格筋に所見の無い非造影体幹部 CT 画像を用いて本モデルを用いた腸腰筋の認識を行ったところ、モデル単体で平均一致率 73.1% と高い精度を得た。そのため、モデルが初期位置に正しく配置され、筋の走行を表現できていることが分かる。この結果をシードとし、精密抽出することで、それぞれの筋の高精度な認識が実現可能である。

(2) 上記で示した腸腰筋モデルを用いた筋の自動認識結果を用い、腸腰筋の解析を行った。腸腰筋は深部筋であり、髄節レベル L1~L4 に支配される筋となる。ここでは、筋

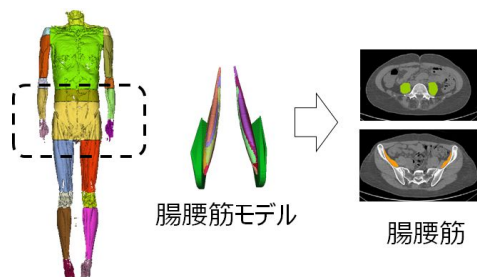


図2 腸腰筋モデルを用いた筋解析

萎縮性側索硬化症 (ALS) の症例と他の筋萎縮を伴う筋疾患群において、筋のテクスチャ特徴に差があるかについて、Haralickの特徴を用いて T 検定を行った。その結果、ALS と他の筋疾患群で腸腰筋の萎縮に伴う画像特徴に統計的な差は見られなかった。これは、

ALS の初期症状は手足の麻痺による運動障害から起こるといふ観点からも妥当な結果と言える。

以上より、本研究は、我が国において広く用いられている CT 画像を対象とし、腸骨筋および大腰筋の自動認識を実現した。これらは、研究の当初の背景で述べた超高齢化社会における骨格筋認識の必要性に対し、数理解剖モデルに基づく部位別解析技術という提案手法により解決を試み、さらに複数の関連する筋の解析に同時に取り組む全く新しい骨格筋の自動解析手法であった。

本研究は医学と工学の融合分野であるため、得られる波及効果は非常に広い。まず、医学分野において、現時点で正確に計測することが不可能であった骨格筋の体積が正確に計測可能となった。これは、本研究の目標である患者の QoL の向上に留まらず、基礎医学分野において、新たな知見が得られる可能性も大いにある。本研究期間では基礎技術の開発にとどまるが、この検証には、研究成果の 2 で示したように、実際の筋萎縮を伴う疾患症例を用い、さらなる検証が必要である。そのためには、筋疾患群と筋解析データの情報が組み合わせられた DB の構築が必要である。さらに、工学的観点からはディープラーニングによる画像セグメンテーション技術が盛んとなっている。そのため、今後、モデルベースの本手法との比較が望まれる。

#### <引用文献>

- 厚生労働省, 21 世紀における国民健康づくり運動, [www.kenkounippon21.gr.jp/](http://www.kenkounippon21.gr.jp/)  
 神谷直希, 周向栄, 原武史, 藤田広志ら, “体幹部 X 線 CT 画像の展開による腹直筋の自動認識法”, 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」第 3 回シンポジウム論文集, pp.159-160, 2006.  
 N. Kamiya, H. Fujita, et al., “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. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

- N. Kamiya, K. Ieda, X. Zhou, M. Yamada, H. Kato, C. Muramatsu, T. Hara, T. Miyoshi, T. Inuzuka, M. Matsuo and H. Fujita, “Automated analysis of whole skeletal muscle for muscular atrophy detection of ALS in whole-body CT images: preliminary study”, Proc. of SPIE Medical Imaging 2017, Computer-Aided Diagnosis, vol.10134, 1013442-1-1013442-6, 査読有, Mar. 2017. DOI:10.1117/12.2251584  
 N. Kamiya, X. Zhou, K. Azuma, C.

Muramatsu, T. Hara and H. Fujita, "Automated recognition of the ilioc muscle and modeling of muscle fiber direction in torso CT images", Proc. of SPIE Medical Imaging 2016, Computer-Aided Diagnosis, vol.9785, 97853K-97853K-4, 査読有, Mar. 2016. DOI:10.1117/12.2214613

〔学会発表〕(計 8 件)

N. Kamiya, E. Asano, X. Zhou, M. Yamada, H. Kato, K. Azuma, C. Muramatsu, T. Hara, T. Miyoshi, T. Inuzuka, M. Matsuo and H. Fujita, "Segmental recognition of skeletal muscle in whole-body CT images and its texture analysis using skeletal muscle models", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.12, Supplement 1, S275, June. 2017.

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, "全身 CT 画像における ALS の早期鑑別診断のためのテクスチャ解析を用いた骨格筋解析の初期検討", 医用画像情報学会 (MI)平成 28 年度春季(第 177 回)大会, (2017.1.28), 九州大学.

神谷直希, 家田皓将, 周向荣, 山田恵, 加藤博基, 東華岳, 村松千左子, 原武史, 三好利治, 犬塚貴, 松尾正之, 藤田広志, "全身 CT 画像における腸腰筋モデルを用いたテクスチャ解析に基づく ALS の自動鑑別の初期検討", 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2016-86)(2017-01), vol. 116, no. 393, pp. 61-62, Jan.2017.

N. Kamiya, X. Zhou, H. Kato, K. Azuma, C. Muramatsu, T. Hara and H. Fujita, "Composite recognition of the iliopsoas muscle based on the muscle direction modeling in CT images", 18th International Workshop on Computer-Aided Diagnosis, Special Session: Hot Topics in CAD, (2016.6.23), Heidelberg Convention Center, Germany.

H. Fujita, N. Kamiya, K. Ieda, M. Yamada, C. Muramatsu, X. Zhou, T. Hara, H. Chen, D. Fukuoka, H. Kato, M. Matsuo and T. Inuzuka, "Function integrated diagnostic assistance based on multidisciplinary computational anatomy: automated analysis of intramuscular fat tissue", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.11, Supplement 1, S168-169, June. 2016.

N. Kamiya, K. Ieda, X. Zhou, M. Yamada, C. Muramatsu, T. Hara and H. Fujita, "Automated Analysis of Intramuscular Fat Tissue in the Lower Limbs with a Case of Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) in Whole-body CT Images", 日本放射線技術学会 第 72 回総会学術大会予稿集, p.185, Apr. 2016.

神谷直希, 周向荣, 村松千左子, 原武史, 加藤博基, 東華岳, 横山龍二郎, 姜慧研, 松尾政之, 藤田広志, "大腰筋と腸骨筋の筋走行モデルに基づく腸腰筋認識の初期検討", 電子情報通信学会技術研究報告(MI2015-111)(2016-01), vol.115, no.401, pp.183-186, 2016.

N. Kamiya, H. Kato, X. Zhou, C. Muramatsu, T. Hara, H. Fujita and H. Chen, "Composite recognition of the iliopsoas muscle based on the muscle direction modeling in CT images", Proceedings of International Workshop on Advanced Image Technology, paper2A-4, pp.6-7, Jan. 2016.

〔図書〕(計 1 件)

S Hanaoka, N. Kamiya, Y Sato, et. al., Springer Japan, Understanding Medical Images Based on Computational Anatomy Models. In Computational Anatomy Based on Whole Body Imaging, Part: Contributor, 3.3 Skeletal Muscle pp.165-171, Jun. 2017.

〔その他〕

愛知県立大学神谷直希研究室  
<http://www.ist.aichi-pu.ac.jp/~n-kamiya>

6. 研究組織

(1)研究代表者

神谷 直希 (KAMIYA, Naoki)  
愛知県立大学・情報科学部・講師  
研究者番号: 00580945

(2)研究協力者

藤田 広志 (FUJITA, Hiroshi)  
原 武史 (HARA, Takeshi)  
周 向荣 (ZHOU, Xiangrong)  
村松 千左子 (MURAMATSU, Chisako)  
東 華岳 (CHEN, Huayue)  
家田 皓将 (IEDA, Kosuke)