

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：33801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500520

研究課題名(和文) 硬結内包皮膚ダミーを用いた触診技術向上支援システム

研究課題名(英文) Palpation technique education system using the muscle nodule dummy

研究代表者

磯貝 香 (ISOGAI, Kaoru)

常葉大学・保健医療学部・教授

研究者番号：00549496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：筋触診シミュレータを製作するために、ヒト臀部の機械的特性を計測した。この特性を模擬するために、内部に挿入する布生地枚数を変化させた8種類のウレタンモデルを製作した。そして、これらのモデルとヒト臀部組織との触察感の類似性を臨床家に評価してもらった。さらに、臨床家がイメージしている筋硬結の性状について調査した。その結果、臨床家はヒト臀部組織と応力-ひずみ特性が似たモデルを類似したモデルとして選んだ。よって、モデルの機械的特性を調節する我々の方法は、ヒト臀部組織の触察感を模擬するモデルの製作に効果的であった。また、筋硬結の平均的サイズは、約長さ31 mm、幅16 mm、厚さ19 mmであった。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of developing the muscle nodule palpation simulator, we measured the hardness of the human gluteal tissues. And, we manufactured eight types of urethane dummy models that differed in the number of rubber layers and the included fabric sheets. Then, ten practicing therapists evaluated the urethane models in terms of the similarities with the actual human gluteal region. Furthermore, we investigated the size and the mechanical properties of the muscle nodule which the clinicians imagine. As a result, the therapists preferentially selected a few models whose stress-strain characteristics were close to those of the human gluteal tissues. So, our method of tuning the hardness property of the models was effective in forming a urethane dummy that presents the haptic sensations experienced from palpating the actual human gluteal tissue. And, the average size of muscle nodule was about 31 mm in length, about 16 mm in width, and about 19 mm in thickness.

研究分野：理学療法学、触覚学

キーワード：皮膚皮下組織 筋 応力-ひずみ特性 筋硬結 触診 徒手の理学療法

### 1. 研究開始当初の背景

腰痛や肩こりに代表される筋筋膜性疼痛症候群では、筋内に存在する帯状あるいは結節状のしこり（以下、筋硬結）がその症状の原因であるとされている。徒手理学療法は、筋硬結に物理的刺激を加えることで、これらの症状の改善を図ろうとするものである。したがって、如何に正確に筋硬結を探り当てることが治療効果に大きく影響してくる。しかし、触診による筋硬結の評価は検者間再現性に欠けると報告されている。

### 2. 研究の目的

筋硬結の評価は、能動的に力を加えることによる、触察感の異なる部分の探索と生体反応の確認とによって行われる。したがって、検査者によって触診時の力の加え方が異なっていたら、筋硬結評価の再現性は望めない。この問題を解決するために、我々は触診時に加えられる力の分布、量及び方向（触察分布力ベクトル）を定量化し、これをリアルタイムにフィードバックするシステムの開発を目指すこととした。また、このシステムを用いることによる触診技術の教育効果を確認することとした。

### 3. 研究の方法

筋に加えられた触察分布力ベクトルを生体内で計測することは難しい。そこで我々は、生体内に筋硬結が存在している状態を模擬した人工物（筋硬結触診シミュレータ）を製作し、それが力を受けて変形する様子を観察することで触察分布力ベクトルを計測できるシステムの開発を目指すこととした。筋硬結触診シミュレータは、生体の皮膚皮下組織と筋それぞれの機械的特性を模擬した皮膚皮下組織モデルと筋モデルとの2層からなり（皮膚皮下組織筋モデル）、その筋モデルの中に臨床で遭遇する機会の多い筋硬結の性状を模擬した筋硬結モデルを埋め込んだ構造とすることとした。しかし、生体を体表から圧迫したときの皮膚皮下組織と筋それぞれの機械的特性を同時に計測した報告は見あたらない。また、モデルの材料の候補であるウレタンやシリコンからなる均一成形成物では、生体の皮膚皮下組織及び筋の非線形弾性を模擬することが難しいことが判明している。そこでまず、生体の皮膚皮下組織と筋の機械的特性を明らかにすること、その機械的特性を模擬した皮膚皮下組織筋モデルを開発すること、そのモデルの触察感の生体との類似性を評価すること、そして皮膚皮下組織筋モデルに埋没させる筋硬結モデルの性状を明らかにすることとした。なお、本研究は常葉大学研究倫理委員会の承認を受けて行った。

#### (1) 皮膚皮下組織と筋の機械的特性の計測

被験者は21歳の男子学生2人であった。計測対象部位は、圧迫力を広く平らな腸骨外

面で受け止めることができることから、臀部を選択した。引張圧縮試験機（SV-52NA、今田製作所）に超音波断層診断装置（NWMIO SSA-550A、東芝メディカルシステムズ）のプローブを、延長アームを介して固定した。また、鉛直方向に降下するプローブに対し、頭尾方向からみた腸骨外面が垂直方向を向くようにするため、対象者が伏臥するベッドを右側が低くなる方向へ50度傾けた（Fig. 1）。圧迫力は0-50 Nの範囲で、48段階に設定した。断層画像上で、圧迫力に応じた皮膚皮下組織と筋それぞれの厚さを計測し、それぞれの応力-ひずみ曲線を求めた。

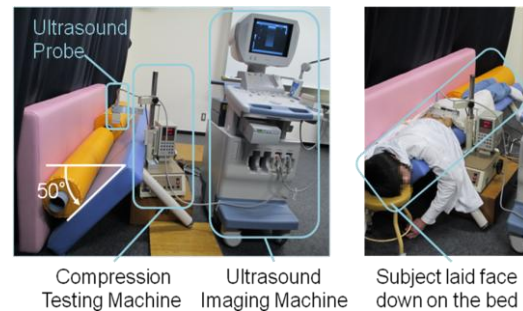


Fig. 1. Experimental setup.

#### (2) ヒト臀部を模擬した皮膚皮下組織筋モデルの製作

皮膚皮下組織筋モデルの主材料には、ウレタン（H00-100J、エクシールコーポレーション）を用いた。このウレタンは混入する硬化剤の混合比を変化させることで硬度を容易に調節できる。ウレタンの機械的特性を変化させるために、成形物の中に綿生地を平面状に挿入し、最上面にはニット生地を貼り付けた。皮膚皮下組織筋モデルの形状は円柱とし、その直径は120 mmとした。また、研究の方法(1)の被験者の皮膚皮下組織と筋の厚さを参考にして、皮膚皮下組織モデルの厚さを約16 mm、筋モデルの厚さを約54 mmとし、皮膚皮下組織筋モデル全体の高さが約64 mmとなるようにした（Fig. 2）。ウレタンの中に挿入する綿生地の位置と枚数、また使用するウレタン硬化剤の混合比を変化させることで、機械的特性の異なる8種類の皮膚皮下組織筋モデルを製作した（Fig. 3）。超音波断層診断装置で皮膚皮下組織モデルと筋モデルとの境界が確認できた6種類の皮膚皮下組織筋モデルについて、方法(1)で用いた機器を用いて応力-ひずみ曲線を求めた。

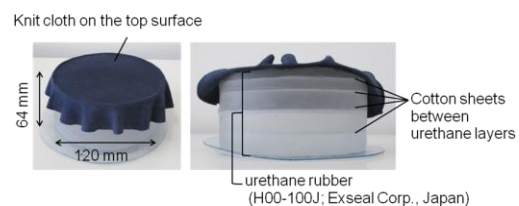


Fig. 2. Example of a skin-fat-muscle model.

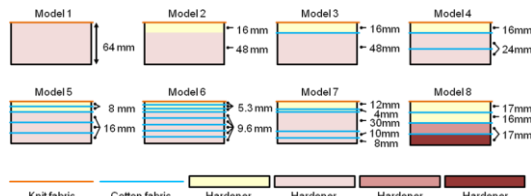


Fig. 3. Eight types of prototypes of models .

(3) 皮膚皮下組織筋モデルとヒト臀部組織との類似性の評価

筋を触診する場合、臨床家は筋をいろいろな方向へいろいろな速度で圧迫する。よって、垂直方向のみに一定速度で圧迫した時の応力-ひずみ特性が似ている皮膚皮下組織筋モデルの触察感が、生体のそれと似ているとは限らない。そこで、方法(2)で製作した8種類の皮膚皮下組織筋モデルとヒト臀部組織との触察感の類似性を評価した。評価者は、体表解剖学教育及び徒手の理学療法に従事する臨床家10人であった(平均経験年数:  $19.3 \pm 9.4$  年)。8種類すべての皮膚皮下組織筋モデルをテーブル上にランダムに配置した。それらを評価者に筋を触診するつもりで触れてもらい、その触診感がヒト臀部組織と似ている順に並べ換えてもらった。触れる時間は3分以内とし、触れ方は自由とした。全評価者が全ての皮膚皮下組織筋モデルに割り当てたそれぞれ順位に Steel-Dwass 法を適用し、皮膚皮下組織筋モデル間に順位の違いがあるかどうか調査した。有意水準は10%とした。

(4) 徒手の理学療法従事者がイメージする筋硬結の形と性状

筋硬結の組織病理学的解釈や病態生理学的解釈は統一されておらず、その形や性状に関する報告は見あたらない。そこで、日常的に徒手の理学療法に携わっている臨床家がイメージしている筋硬結の形と性状について調査した。対象は理学療法士、作業療法士、柔道整復師等133人であった(平均経験年数:  $6.1 \pm 5.7$  年)。調査方法は紙面によるアンケート調査である。具体的には、臀部に存在する筋硬結のうち、臨床で遭遇する機会の多い形状を想起してもらい、それを紙の上に実物大で描いてもらった。また、筋硬結の厚さはどの程度か、筋硬結は筋の厚さのうちのどの深さに存在するか、筋硬結の硬さを物に例えると何に似ているかについて回答してもらった。

4. 研究成果

(1) 皮膚皮下組織と筋の機械的特性の計測

生体の臀部の応力-ひずみ曲線は非線形性であった。特に、皮膚皮下組織の応力-ひずみ曲線は強い非線形性を示した。皮膚皮下組織の非線形特性は、応力が10 kPaに達する以前から強く現れた。また、ひずみは87 kPa負荷時に48%及び52%に達した。筋の応力-

ひずみ曲線の非線形性は皮膚皮下組織のそれよりも弱かった。筋の非線形特性は、応力が20 kPaに達する付近で強く現れた。また、ひずみは87 kPa負荷時に67%及び45%に達した (Fig. 4)。

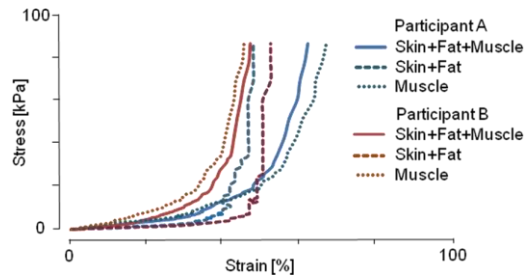


Fig. 4. Stress-strain curves of hip tissues.

(2) ヒト臀部を模擬した皮膚皮下組織筋モデルの製作

ヒト臀部の皮膚皮下組織筋の応力-ひずみ特性と似た特性を示した皮膚皮下組織筋モデルは、Model 4、Model 5、Model 7、Model 8であった。皮膚皮下組織モデルがヒト臀部の皮膚皮下組織の応力-ひずみ特性と似た特性を示したのは、Model 5、Model 6、Model 7であった。筋モデルがヒト臀部の筋の応力-ひずみ特性と似た特性を示したのは、Model 4、Model 7、Model 8であった。したがって、皮膚皮下組織筋モデル、皮膚皮下組織モデル、筋モデルすべての応力-ひずみ特性がヒト臀部組織のそれと似ていたのは、Model 7であった (Fig. 5)。

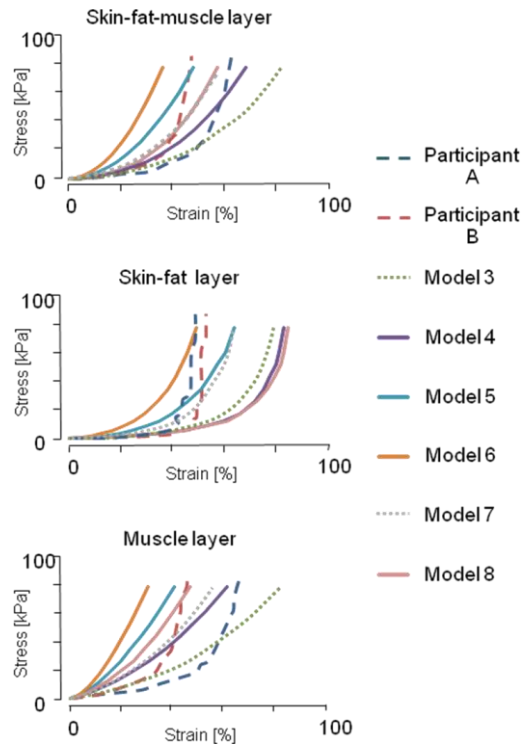


Fig. 5. Stress-strain curves of the eight types of urethane models and hip tissues.

(3) 皮膚皮下組織筋モデルとヒト臀部組織との類似性の評価

他の皮膚皮下組織筋モデルよりヒト臀部組織に似ていると統計的に評価されたのは、Model 4、Model 7、Model 8であった。一方、他の皮膚皮下組織筋モデルより似ていないと評価されたのは、Model 1、Model 2、Model 6であった (Fig. 6)。参加者の内観報告で、筋モデルの触察感が似ていると言及されたのは Model 4、Model 5、Model 7 であった。皮膚皮下組織筋モデルと筋モデルともに触察感が似ていると言及されたのは Model 7 のみであった。Model 1、Model 2 は柔らかすぎる、Model 6 は硬すぎるとの評価が多かった。以上のことから、ヒト臀部組織と最も似た触察感を示すのは、Model 7 であると結論付けた。

Model 7 は、研究成果(2)で皮膚皮下組織筋モデル、皮膚皮下組織モデル、筋モデルすべての応力-ひずみ特性がヒト臀部組織のそれと似ていた皮膚皮下組織筋モデルである。したがって、垂直方向に一定速度で圧迫した時の応力-ひずみ特性を似せることが、生体と触察感の似た皮膚皮下組織筋モデルを製作するための条件の一つであることが示唆された。また、我々が開発したウレタン成形物の硬さ調節方法は、生体の触察感を模擬した皮膚皮下組織筋モデルの製作に効果的であることが判明した。

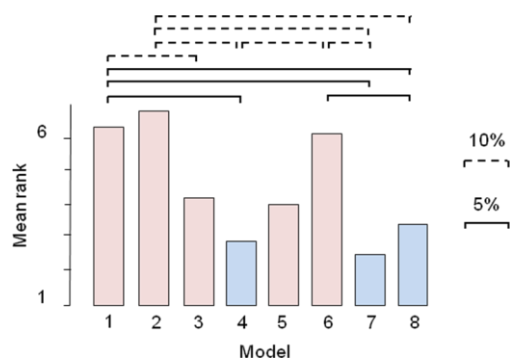


Fig. 6. Mean ranks of the urethane models.

(4) 徒手理学療法従事者がイメージする筋硬結の形と性状

対象者が描いた筋硬結の形を分類するとともに、その長軸方向の長さや短軸方向の長さを計測した。筋硬結の形は、楕円形に分類されたのが 86 回答 (64.7%)、円形に分類されたのが 26 回答 (19.5%) であり、この両方で全体の約 84.2% を占めた。この 2 種類以外では、紡錘形、四角形、三日月形などが 21 回答 (15.8%) 存在したが、それらの中には形状の特定や長さの特定が困難なものが含まれていた。そこで、楕円形と円形以外に分類された回答は対象から除外することとした。また、これら以外に回答項目が不足している 2 回答と、明らかに筋硬結の大きさが他の回答とかけ離れている 2 回答を対象から除外した。残った 108 回答に対して、マ

ハラノビス距離を用いて外れ値検出を行い、外れ値と判定された項目を含む 11 回答を除いた 97 回答を最終的な対象とした。その結果、筋硬結の長軸方向の長さの平均は  $30.9 \pm 15.5$  mm、短軸方向の長さの平均は  $16.3 \pm 8.4$  mm、厚さの平均は  $9.3 \pm 6.7$  mm であった。筋硬結が存在する深さは、筋の厚さのほぼ中央部であった。筋硬結の硬さをその回答から 4 段階に分類し、これと長軸長、短軸長、厚さ、深さの 5 項目について因子分析を行った結果、長軸長と短軸長との間に相関がみられた。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4 件)

- ① 磯貝香、岡本正吾、山田陽滋、綾部諒一、大多和洸介、筋触診技術教育のための皮膚皮下組織筋モデルの製作、第 51 回日本理学療法学会大会、平成 28 年 5 月 27 日、札幌市産業振興センター
- ② Kaoru Isogai, Shogo Okamoto, Yoji Yamada, Ryoichi Ayabe, and Kosuke Ohtawa, Skin-Fat-Muscle Urethane Model for Palpation for Muscle Disorders, 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2015. 12. 13, Meiji University
- ③ 磯貝香、岡本正吾、山田陽滋、徒手理学療法従事者がイメージする筋硬結の形と性状、第 49 回日本理学療法学会大会、平成 26 年 6 月 1 日、パシフィコ横浜
- ④ 磯貝香、上木宏太、松下大樹、松林希依、岡本正吾、山田陽滋、超音波画像診断装置を用いた皮膚皮下組織及び筋の弾性測定、第 49 回日本理学療法学会大会、平成 26 年 6 月 1 日、パシフィコ横浜

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯貝 香 (ISOGAI, Kaoru)  
常葉大学・保健医療学部・教授  
研究者番号：00549496

(2) 研究分担者

山田 陽滋 (YAMADA, Yoji)  
名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：90166744

(3) 連携研究者

岡本 正吾 (OKAMOTO, Shogo)  
名古屋大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号：10579064