

ロボットハンドマッサージにおける 深度カメラと力覚センサによる施術対象筋の位置推定

Estimation of the Target Muscles Position by Depth Camera and Force Sensor in Robot Hand Massage

佐川智輝* 原田直弥 笹竹晴萌 山下貴仁 田崎良佑

Tomoki Sagawa, Naoya Harada, Harumo Sasatake, Takahito Yamashita, Ryosuke Tasaki

青山学院大学

Aoyama Gakuin University

Abstract: Currently, development of massage robots that can provide the best treatment for each patient is underway. However, current massage robots are unable to estimate the positional relationship between the target skeletal muscles and the human body. Therefore, this research aims to reproduce the position estimation of the target muscle by visual and tactile senses that the practitioner performs during the treatment. By using a depth camera as visual information, the position of the target skeletal muscle is estimated from the patient's whole body image. Then, as tactile information, the position is estimated with higher accuracy than visual information alone by pressing in with a hand equipped with a force sensor.

1 緒論

厚生労働省が行う国民生活基礎調査によると、症状別の有訴者率は、男性では腰痛が最も高く、次いで肩こり、女性では肩こりが最も高く、次いで腰痛となっている [1]。このことから多くの人が日常的に筋骨格系の痛みを経験していることがわかる。これらの痛みを解消する方法としてマッサージがあるが、あん摩マッサージ指圧師や整体師など、施術者の不足や負担の増加等などの問題がある。これらの問題を解決するため、人間に代わってマッサージを行うマッサージロボットに関する研究が行われており、代表的なものとしてマッサージチェアがある。しかし、現状のマッサージチェアは所定の位置で決められた動作しかできず、体型や座り方などによってマッサージの力がばらついてしまう。そのため、被施術者ごとに最適な施術ができるマッサージロボットの開発が課題となっている。マッサージは被施術者に合わせた指圧力を決定する思考段階と決定した指圧力を実行する実行段階から成る。しかし、これまでのマッサージロボットの研究の多くは実行段階に関するものであり、思考段階に注目しているものは少ない。従来のマッサージロボットの研究として図 1(b) に示すように、筋骨格モデルを用いた身体の姿勢推定、移動する身体へのロボットの追従制御、5 指ハン

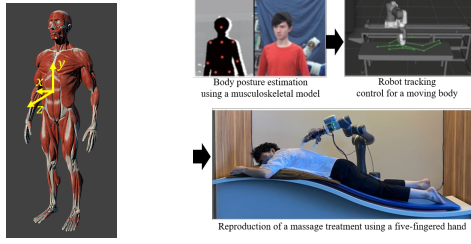
ドによるマッサージ施術の再現という一連の流れが行われているが [2]、対象とする骨格筋の位置を推定していない。そこで本研究では深度カメラから得られる視覚情報を用いて対象とする骨格筋の中心位置を推定する。しかし、視覚情報のみでは推定される位置に少なからず誤差が生じると考えられる。そこで力覚センサを用いることで得られる力覚情報から筋の中心付近の特徴的な形状を捉え、より正確な中心位置に対して推定を行う。

2 深度カメラによる非接触計測

深度カメラによって全身の映像から対象筋の位置を推定する。推定には図 1(a) に示す Diego Lujan Garcia が解剖学に基づいて作成した人体モデル（以下リファレンスモデルと称する）を用いる。本研究ではマッサージの際に対象とされることが多い僧帽筋、広背筋、臀筋、ハムストリングスを非接触で推定する。この時、リファレンスモデルの身長は 170 cm であり、座標系は図 1(a) に示す通りである。

僧帽筋、広背筋の推定には右肩関節と骨盤に注目する。リファレンスモデルにおけるそれぞれの位置座標を表 1 に示す。実際の被施術者の肩関節を $S(S_x, S_y, S_z)$ 、推定される僧帽筋の幾何中心を $T(T_x, T_y, T_z)$ 、広背筋の幾何中心を $L(L_x, L_y, L_z)$ とする。この時、実際に撮影され

*連絡先： 青山学院大学
〒 252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1
E-mail: a5618038@aoyama.jp



(a) リファレンスモデル (b) マッサージロボットの研究例.
[3].

図 1: リファレンスモデルと従来研究.

る被験者とリファレンスモデルの肩関節から見た骨盤の長さの倍率 $P(P_x, P_y, P_z)$ と表 1 より, $T(T_x, T_y, T_z)$ と $L(L_x, L_y, L_z)$ は式 (1) から式 (6) のように算出される.

$$T_x = S_x - 105.54P_x \quad (1)$$

$$T_y = S_y - 19.42p_y \quad (2)$$

$$T_z = S_z - 21.29P_z \quad (3)$$

$$L_x = S_x - 75.36P_x \quad (4)$$

$$L_y = S_y + 209.56P_y \quad (5)$$

$$L_z = S_z - 15.94P_z \quad (6)$$

臀筋とハムストリングスの推定には股関節と膝関節に注目するが, 手法はこれまでと同様である. リファレンスモデルにおけるそれぞれの位置座標を表 2 に示す. 実際の被施術者の股関節を $H(H_x, H_y, H_z)$, 推定される臀筋の幾何中心を $G(G_x, G_y, G_z)$, ハムストリングスの幾何中心を $A(A_x, A_y, A_z)$ とする. この時, 実際に撮影される被験者とリファレンスモデルの股関節から見た膝関節の長さの倍率 $P'(P'_x, P'_y, P'_z)$ と表 2 より $G(G_x, G_y, G_z)$ と $A(A_x, A_y, A_z)$ は式 (7) から式 (12) のように算出される.

$$G_x = H_x + 26.58P'_x \quad (7)$$

$$G_y = H_y - 1.92p'_y \quad (8)$$

$$G_z = H_z - 46.65P'_z \quad (9)$$

$$A_x = H_x + 12.20P'_x \quad (10)$$

$$A_y = H_y + 251.45P'_y \quad (11)$$

$$A_z = H_z - 43.88P'_z \quad (12)$$

深度カメラによって推定した僧帽筋, 広背筋, 臀筋, ハムストリングスの幾何中心をアスレチックトレーナーの資格を有するエキスパート施術者 (以下, エクスパートと称する) が視診と触診により推定した各点と比較する. 実験の概要を図 2 に示す. この際, 計測にはモーションキャプチャを用い, エクスパートが決定する実際の対象筋位置および深度カメラに薄いモーションキャ

表 1: 肩関節, 対象筋, 骨盤の位置.

	x	y	z
Shoulder joint	161.73	276.93	-84.27
Trapezius	56.19	296.35	-105.56
Latissimus	86.37	67.37	-100.21
Pelvis	0	-197.03	-23.06

表 2: 股関節, 対象筋, 膝関節の位置.

	x	y	z
Hip joint	75.87	-197.03	-23.06
Gluteus	102.45	-195.11	-69.71
Hamstrings	88.08	-448.07	-66.97
Knee joint	96.68	-606.43	-44.43

プチャのマーカを貼り付けることで深度カメラから見た実際の対象筋の位置座標を取得する. 被験者は全員標準体型で身長異なる 3 人に対して行った. 被験者の身体情報を表 3 に示す.

リファレンスモデルに最も近い身長である A の実験結果を図 3, 表 4, 表 5 に示す. この際, 注目するのは x, y, z の内, x, y である. 図 3 は横軸が深度カメラ原点からの x 座標 [mm], 縦軸が深度カメラ原点からの y 座標 [mm] である. 触診によって位置や形状が掴みやすいハムストリングスを除き, 推定した筋の位置とエキスパートが示した各点との誤差は 20~75 mm とばらつきがあった. 一方, ハムストリングスでは, 誤差の大きさにばらつきはほとんど見られず, どの被験者に対しても 30~35 mm 程度であった. また, どの被験者に対しても深度カメラはエキスパートが示した対象筋位置よりも左側を示す傾向が見られた. 次章ではこれらの対象筋の内, ハムストリングスを接触計測の対象とし接触で誤差を補正する.

3 力覚センサによる接触計測

力覚センサから取得される力覚情報によって対象筋の幾何的な中心位置を特定する手法を検討する. リファ

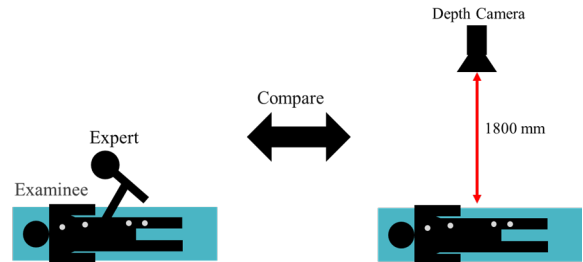


図 2: 実験の外観.

表 3: 被験者の身体情報.

Subject	Height [cm]	Weight [kg]
A	169.5	60
B	175.0	68
C	184.0	69

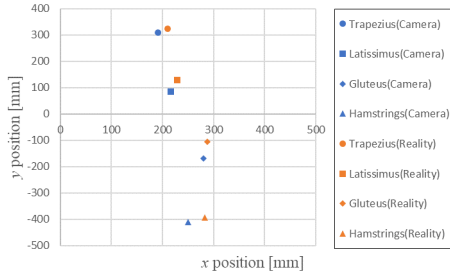


図 3: 被験者 A の実験結果.

レンスモデルからハムストリングスの幾何中心を再現した試験片（以下、模擬皮膚筋と称する）を作成した。作成した模擬皮膚筋を図 4 に示す。ハムストリングスの幾何中心は半膜様筋と半腱様筋から成る層と大腿二頭筋の境目に存在しており、中心付近は谷のような形状になっている。図 5 のように模擬皮膚筋の中心付近を一定の押し込み量で指圧した際の水平方向反力 F_x を計測することで中心付近の出力特性を明らかにし、ハムストリングスのより正確な幾何中心について推定を行う。図 6 は模擬皮膚筋を俯瞰的に見た様子であり、左に示すような形状の筋層を右に示すように皮膚層で覆うことで人間の大腿後部を再現している。皮膚層で覆った右の状態に対して中心位置を $x = 0$ とし、 $-20 \leq x \leq 20$ の範囲を 2 mm 間隔で 21 点、押し込み量を 20 mm, 15 mm, 10 mm と変えて計測を行う。計測は皮膚層の上から垂直に指圧を行った際の水平方向反力 F_x のデータを計測する。

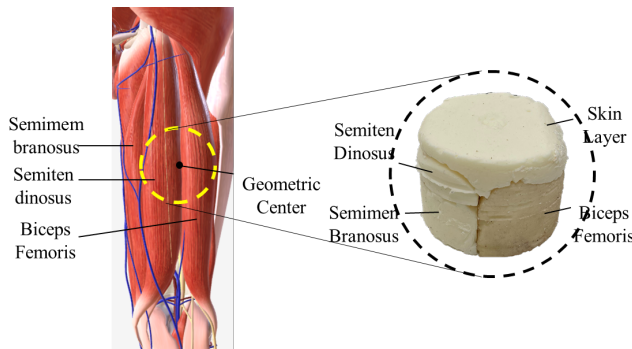


図 4: 模擬皮膚筋の外観.

20 mm で指圧した時の水平方向反力 F_x の結果を図 7 に示す。グラフは横軸が指圧棒の水平方向位置 x [mm], 縦軸が水平方向反力 F_x [N] である。このデー

表 4: 被験者 A の実験結果 (x) .

	Camera	Reality	Error
Trapezius	191.15	209.55	-18.40
Latissimus	215.94	228.86	-12.92
Gluteus	279.76	287.33	-7.57
Hamstrings	250.66	282.67	-32.01

表 5: 被験者 A の実験結果 (y) .

	Camera	Reality	Error
Trapezius	308.54	323.98	-15.44
Latissimus	84.28	129.19	-44.91
Gluteus	-161.17	-106.46	-61.71
Hamstrings	-411.13	-394.25	-16.88

タを 6 次で近似し、近似式を式 (13) に示す。

$$F(x) = -2 \cdot 10^{-7} x^6 - 2 \cdot 10^{-6} x^5 + 10^{-4} x^4 + 2.8 \cdot 10^{-3} x^3 - 0.0339 x^2 - 0.7163 x - 0.3112 \quad (13)$$

図 7 から斜面を押し込んだ際、傾きが正の斜面では負の水平方向反力が、傾きが負の斜面では正の水平方向反力が発生することが分かる。また、中心である谷底に近づくにつれて水平方向反力が 0 に向かっていくことが分かる。この出力特性を生かし、押し込んだ際の水平方向反力 F_x が 0 に近づいた位置で停止することで中心位置に近い位置を推定する。構築した制御システムは図 8 になる。計測する水平方向反力 F_x の符号から中心位置の方向を決定し移動する。その際の移動量 x_m を式 (14) に示す。

$$x_m = \gamma x_{m-1} \quad (14)$$

x_{m-1} は 1 サイクル前の移動量である。分割比 γ は最適値の探索法である黄金分割法を参考にして黄金比

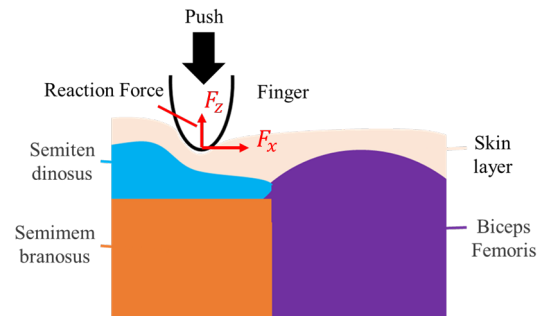


図 5: 中心付近を指圧する様子.

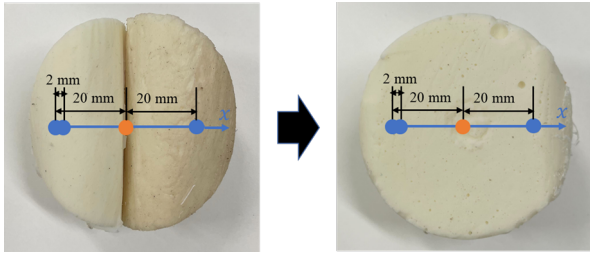


図 6: 指圧を行う点.

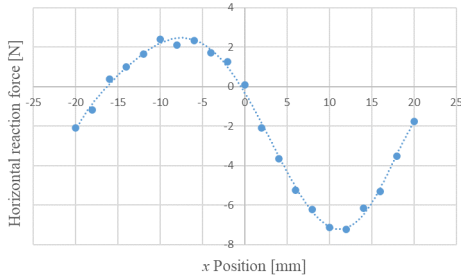


図 7: 20 mm 押し込んだ際の実験結果.

0.618 を用いる. 中心から 1 mm 以内の誤差に縮めるには, 式 (14) から押し込んだ際の水平方向反力が $-1.059 \sim 0.369$ の範囲になった位置で停止すればよいので, 押し込んだ際の水平方向反力がこの範囲になるまで探索を続ける. また, この水平方向反力の範囲から中心付近で収束すると考えられる x の初期位置の範囲は -15 mm から 15 mm である. このことから最初の移動量は 15 mm とする.

初期位置を任意の点, $x = -10$ とした時の中心探索の様子を図 9 に, 結果を図 10 に示す. その際, 次の点まで移動する過程を 1 ステップとする. 図 9 は最初の 1 ステップであり, 指圧棒が模擬皮膚筋を押し込み, 水平方向反力 F_x を計測, その反力に応じた次の位置へと移動, 移動先で再び押し込みを行っている様子であり, 押し込みと移動を繰り返すことで徐々に中心へ近づいていることが分かる. 図 10 は横軸がステップ, 縦軸は指圧棒の水平方向位置 x [mm] である. 図 10 から 1 ステップごとに指圧棒の水平方向位置 x [mm] の絶対値が 0 に収束していき, $x = 0.106$ mm で探索を終了していることが分かる.

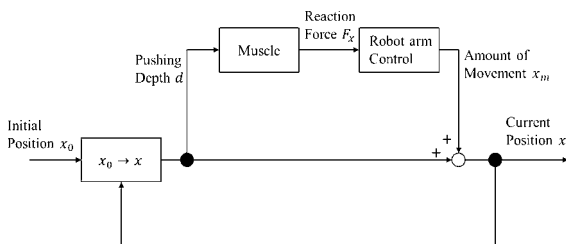


図 8: 力覚情報による中心探索システム.

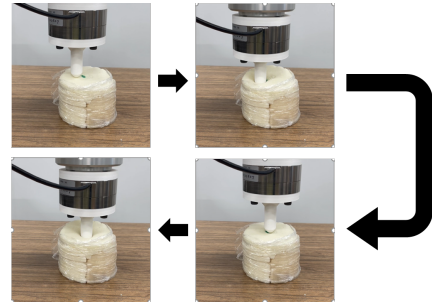


図 9: 中心探索の様子.

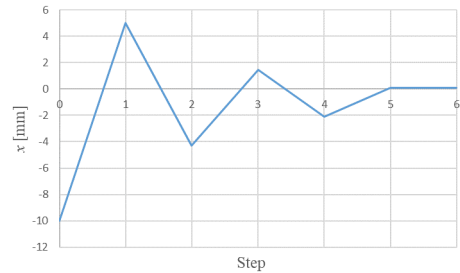


図 10: 中心探索の実験結果.

4 結論と今後の展望

本研究では施術者の視診と触診を深度カメラと力覚センサによって再現した. 非接触計測では全身の関節位置から僧帽筋, 広背筋, 臀筋, ハムストリングスの位置を推定した. 接触計測ではハムストリングスを模した模擬皮膚筋の作成し, 作成した模擬皮膚筋の中心付近での出力特性の解明を行い, 押し込んだ際の力覚情報からより正確な中心位置を推定した. 中心位置推定は中心から 15 mm の誤差であれば接触により補正できることを示せたが, 非接触計測では 30 mm 程度の誤差が生じた. そこで今後は非接触計測での計測精度の向上, 接触計測での中心探索の範囲の拡大, 高速化を行う.

参考文献

- [1] 厚生労働省, 国民生活基礎調査の概況 (2019)
- [2] Leong Choon Yip, 多指ハンドと多関節ロボットの協調動作制御によるマッサージ施術の実現, (2019)
- [3] Diego Lujan Garcia, Male Full Body Ecorche, (2016)