

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：14603

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K23345

研究課題名(和文) ヒトの「器用さ」解明のための手・前腕動作に関与する筋骨格シナジーの抽出

研究課題名(英文) Extraction of musculoskeletal synergy related to hand and forearm motion to elucidate human dexterity

研究代表者

趙 崇貴 (Cho, Sung-Gwi)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：50881653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な手の動作を実現する人の「器用さ」を解明すべく、皮膚表面形状から筋肉・腱・骨の協調的な運動単位を筋骨格シナジーとして抽出することを試みた。単関節運動時の皮膚表面形状から独立成分分析によってシナジーを抽出し、シナジーの活性度を組み合わせることによって関節角度を表現する手法を提案した。そして、提案手法の表現力をモーションキャプチャにより計測された関節角度と比較した推定精度を通して検証した。単関節と複合関節運動で精度が大きく異なる関節があったことから、前腕の姿勢に伴う関節角度と皮膚表面形状の関係変化への対応や解剖学的な特性を考慮した基準動作選定の必要性があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、筋肉の活動のみではなくその活動によって生じる腱・骨の活動にも着目し、両者で変化が生じる皮膚表面形状から運動単位として筋骨格シナジーを抽出した。筋骨格の協調を考慮して運動単位を抽出した点に、学術的な意義がある。単関節のみではなく複合関節運動のような複雑な筋骨格の協調が求められる条件においてもシナジーの表現力を検証した。それらの結果から、インタフェースや運動機能評価への応用に、皮膚表面形状・筋骨格シナジーという新たな選択肢が挙げられることを確認した。

研究成果の概要(英文)：We try to extract cooperative movement units of muscle, tendon, and bones as musculoskeletal synergy from skin deformation to elucidate human dexterity, which realize complex hand motions. We propose a representation method of joint angle by extracting synergies from the skin deformation during single-joint movements by independent component analysis and combining the activeness of the synergies. Then, the expression of the proposed method is verified through estimation accuracy compared to joint angles measured by motion capture. Since certain joint differs significantly in the accuracy between single and combined joint movements, the necessity to deal with the change of relationship between joint angles and skin deformation with forearm pose and select reference movement with considering anatomical characteristics are indicated.

研究分野：ヒューマンマシーンインタフェース

キーワード：皮膚表面形状 距離センサアレイ 筋骨格シナジー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトは手を用いることにより、日常生活における複雑な把持を実現している。また、手に加え前腕を用いることにより、器用な物体の操作を実現している。これまでに、手や前腕の自由度をどのようにヒトが制御しているのかを解明すべく、筋シナジーに基づく動作解析・推定手法が提案されている。筋シナジーは筋肉の協調的な運動単位であり、ヒトは個別の筋肉をそれぞれ制御するのではなく、運動単位レベルで動作を制御しているとされている。筋シナジーに基づく手法では、筋肉の協調的な活動から動作を解析することができる。

一方、無駄な動きを減らしつつ物体を操作するのに不可欠である前腕の回内外動作は、橈骨と尺骨が交わるように変位することにより生じる。この変位は筋肉の活動によるものではあるが、骨の変位によって筋肉にも変形が生じる。このような体組織の幾何的な連鎖は動作にも影響を与える。そこで、それらがどのように協調しているのかを「筋骨格シナジー」として抽出することにより、様々な動作を表現可能な運動単位を算出できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヒトの「器用さ」解明のための手・前腕動作に関与する「筋骨格シナジー」の抽出である。本研究では、手・前腕動作におけるヒトの器用さを密に解明すべく、筋肉の活動のみではなくその活動による腱・骨の活動にも着目し、両者を考慮した運動単位を筋骨格シナジーに基づいて算出する。

3. 研究の方法

本研究では、手・前腕動作における皮膚表面形状を計測し、計測された皮膚表面形状から筋骨格シナジーを抽出する。皮膚表面形状は計測部位下の体組織の物理的な変化を捉えているため、筋肉の収縮・変形のみではなく骨や腱の変位・変形を取得可能である。そのため、皮膚表面形状は筋骨格シナジー抽出に適した信号であると考えられる。

はじめに皮膚表面形状と手・前腕動作のデータを収集するシステムを構築した(図1)。皮膚表面形状は申請者が開発した距離センサアレイ(図2)を用いて計測され、手・前腕の動作は光学式のモーションキャプチャによって計測される。

次に単関節運動のデータから抽出されたシナジーから、単関節および複合関節運動における関節角度の推定を試み、その精度検証を通してシナジーの表現力を検証した。そのために、単関節運動時の皮膚表面形状からシナジーを抽出し、抽出したシナジーの活性度を組み合わせることにより関節角度を表現する手法を開発した。具体的には独立成分分析を用いて皮膚表面形状からシナジーパターン行列を算出し、皮膚表面形状をそれぞれのシナジーパターンに対応した活性度に変換する。次に、動作順序と速度から生成された擬似角度と活性度の相関を計算し、活性度を関節角度へと変換する重み行列を算出する。

4. 研究成果

5名の参加者(20代男性4名、40代女性1名、右利き)を対象として、関節角度の推定実験を行なった。実験では単関節運動、複合関節運動の2条件を計測対象とした。単関節運動では、参加者に手首の屈曲・伸展(θ_{FE})、手首の尺屈(θ_U)、前腕の回内・回外(θ_{PS})の順序で5種類の動作を行うよう指示した。参加者は60 beats per minuteのメトロノームに合わせ、1秒で最大可動範囲まで動作させ、1秒で中立位に戻す。1試行における計測時間は1分であるため、6セット分の5動作のデータが含まれる。複合関節運動においては動作種類・順序・速度を指定せず、完全にランダムに動作を行うよう指示した。2条件ごとに3試行、合計6試行計測した。

単関節運動のデータから抽出されたシナジーの表現力を検証すべく、参加者ごとに単関節運動のデータを基準に3分割交差検定を実施した。1試行分の単関節運動のデータからシナジーパターン行列と重み行列を計算し、残りの2試行と複合関節運動の3試行に対して、皮膚表面形状

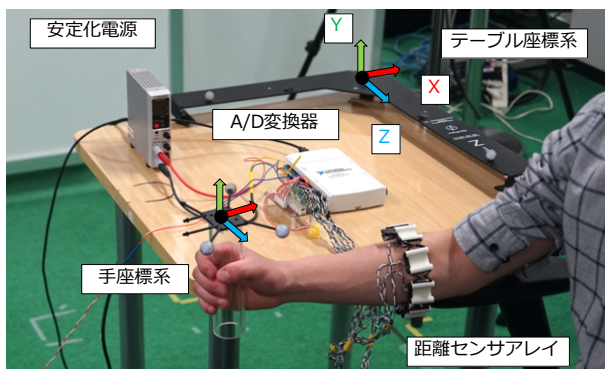


図1 データ計測環境

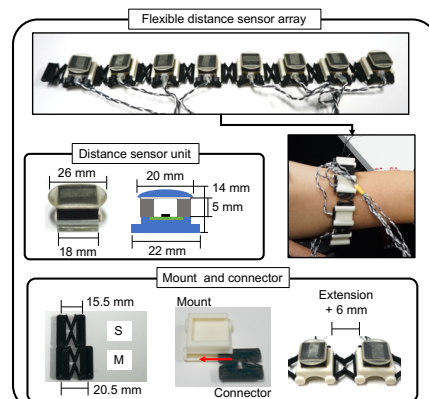
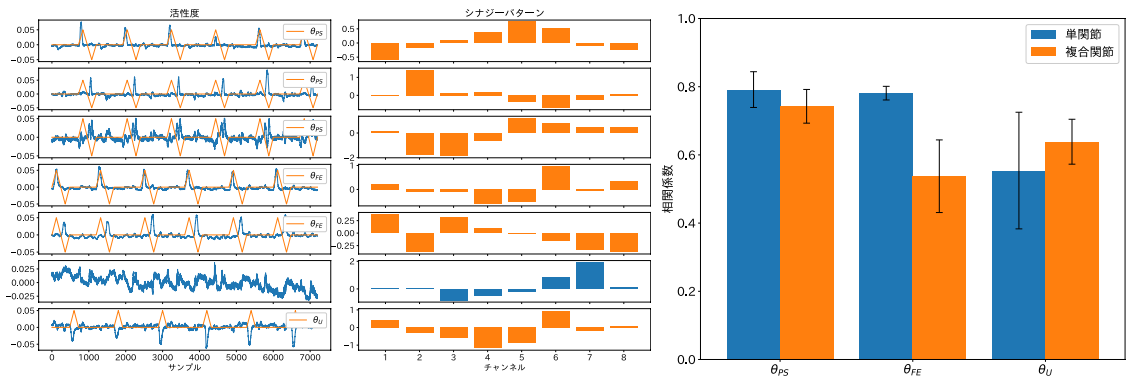


図2 距離センサアレイ

を角度に変換した。提案手法においてシナジー活性度は標準化された値として出力され、関節角度もその組み合わせとして出力されるため、評価値には推定された関節角度とモーションキャプチャによって取得された関節角度間の相関係数を用いた。

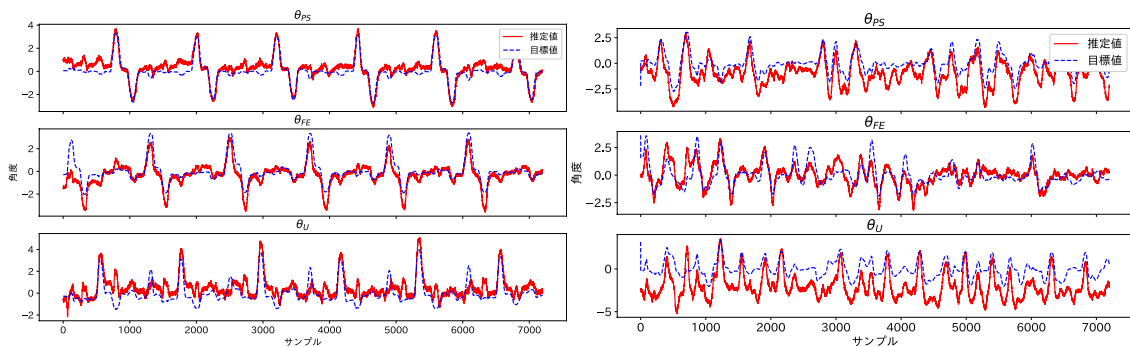
計測された皮膚表面形状と抽出されたシナジーパターン行列、シナジー活性度の例を図 3(a) に示す。関節角度を表現するために採用されたシナジー活性度は擬似角度とともに図示されている。図 3(c) はシナジーの組み合わせによって表現された関節角度の推定値 (赤実線) とモーションキャプチャによって計測された目標値 (青破線) を示しており、目標値に追従して関節角度を推定できていることが確認できる。図 3(b) は目標値と推定値の相関係数の全ての被験者での平均を示しており、単関節運動においては θ_{PS} , θ_{FE} , θ_U でそれぞれ 0.79, 0.78, 0.55 であり、複合関節運動においてはそれぞれ 0.74, 0.54, 0.64 と、一定の相関が認められた。手首の屈曲・伸展の軸に着目した際、他の軸に比べ単関節と複合関節運動間で大きく差があることが確認できた (対応のある t 検定: p 値 < 0.01)。

手首の屈曲・伸展の関節トルクは前腕の回内外姿勢の影響を大きく受けるため、動作に対する関節角度と皮膚表面形状の関係が姿勢によって非線形に変化すると考えられる。現在の提案手法ではそのような変化を考慮できていないため、シナジー抽出改良の必要性を確認できた。本研究では、一般的な単関節の運動を基準としてシナジーを抽出したが、前腕の回内外に伴う骨格の制約による筋出力の変化のような人体の解剖学的な特性を考慮して基準動作を選定する必要性も、より表現力が高い筋骨格シナジーの抽出に重要である可能性として考えられる。



(a) 提案手法によるシナジー抽出の例

(b) 目標値と推定値の相関係数



(c) 推定例 [左: 単関節, 右: 複合関節]

図 3 関節角度推定実験の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 趙 崇貴, 高松 淳
2. 発表標題 手の関節角度推定を通じた皮膚表面形状から抽出された筋骨格シナジーの表現力検証
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sung-Gwi Cho, Mayuki Toyoda, Ming Ding, Jun Takamatsu, Chiaki Yokota, and Tsukasa Ogasawara
2. 発表標題 Analysis of Skin Deformation Differences on the Upper Arm Between Active and Passive Movements During Elbow Flexion and Extension
3. 学会等名 The 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------