

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11286

研究課題名（和文）運動の「随意性の抽出と定量化」による脳卒中リハビリテーション評価

研究課題名（英文）Evaluation of Stroke Rehabilitation through Extracting and Quantifying Voluntariness of Movement

研究代表者

趙 崇貴（Cho, Sung-Gwi）

東京電機大学・理工学部・助教

研究者番号：50881653

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳卒中リハビリテーションへの応用を目的として、自らの意思で腕を動かす自動運動と、第三者によって腕を動かされる他動運動時の皮膚変形の差から、運動の「随意性」を抽出し、定量化する手法を開発した。開発した手法の有用性を検証すべく、肘関節の屈曲・伸展運動を対象に、様々な運動条件で上腕の皮膚変形を計測し、運動特徴を抽出した。その結果、自動運動でのみ変化する運動特徴が他動運動時に比べて大きく変化し、そのばらつきが運動負荷に比例することから、これらの特徴が運動の随意性を反映している可能性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの脳卒中リハビリテーションでは、自立度や課題到達度に着目した評価指標が用いられてきた。このような評価法は簡便である一方、機能回復過程で見られる随意性に伴う細かな変化を反映することは困難である。したがって、従来の評価指標と本研究で開発された「随意性」の抽出・定量化手法を組み合わせることにより、患者の運動機能の回復過程を連続的な量として客観化することが可能となり、リハビリテーションの評価精度の向上が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, to apply to stroke rehabilitation, we developed a method to extract and quantify the "voluntariness" of movement by analyzing the differences in skin deformation during self-initiated active movements and passive movements conducted by a third person. To verify the usefulness of the developed method, we measured the skin deformation of the upper arm under various conditions during elbow flexion and extension movements and extracted movement features. The results indicated that the movement features, which only change during active movements, showed greater variation compared to passive movements and that this variation was proportional to the load of the movement, confirming the potential of these features to reflect the voluntariness of the movement.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：運動の随意性 皮膚変形 距離センサアレイ 他動運動 自動運動

1. 研究開始当初の背景

近年、ブレインマシンインターフェースやロボット導入など、新たなリハビリテーション法の開発が目まじしい。こうした新たなリハビリテーション法を臨床応用するには、その効果判定が重要なことは言うまでもない。従来、脳卒中リハビリテーションにおける運動機能評価は、自立度や課題到達度に着目されてきた。一方、こうした指標は、一定の運動機能の到達がなければ、機能改善として反映されないため、脳卒中急性期という短期間での判定、あるいは重症麻痺例での詳細な機能回復の判定には、不向きといえる。

そこで我々は、急性期や重症麻痺例に対して新たなリハビリテーション法を導入する際の運動機能評価指標として、運動時の筋活動を反映する皮膚表面形状の変化（以下、皮膚変形）に着目した。皮膚変形は、自動運動のみではなく第三者による他動的関節運動（以下、他動運動）でも生じる。つまり、随意的運動（自動運動）と非随意的運動（他動運動）の両方で変化が生じるため、両者の皮膚変形の間に見える運動特徴の差を解析すれば、対象の運動の「随意性」を定量化できるのではないかと着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自動運動と他動運動の皮膚変形の差から、運動の「随意性」を抽出・定量化し、脳卒中リハビリテーションへ応用可能な評価システムを開発することである（図1）。従来の評価指標に加え、連続的な量として、患者の運動の「随意性」を評価できれば、機能回復過程が詳細に客観化され、リハビリテーションの新たな評価指標となる可能性がある。

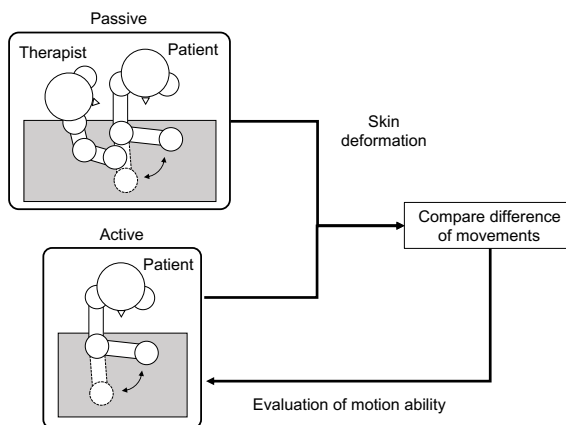


図1 提案する運動機能評価

3. 研究の方法

研究目的を達成すべく、以下の項目に沿って研究を実施した。

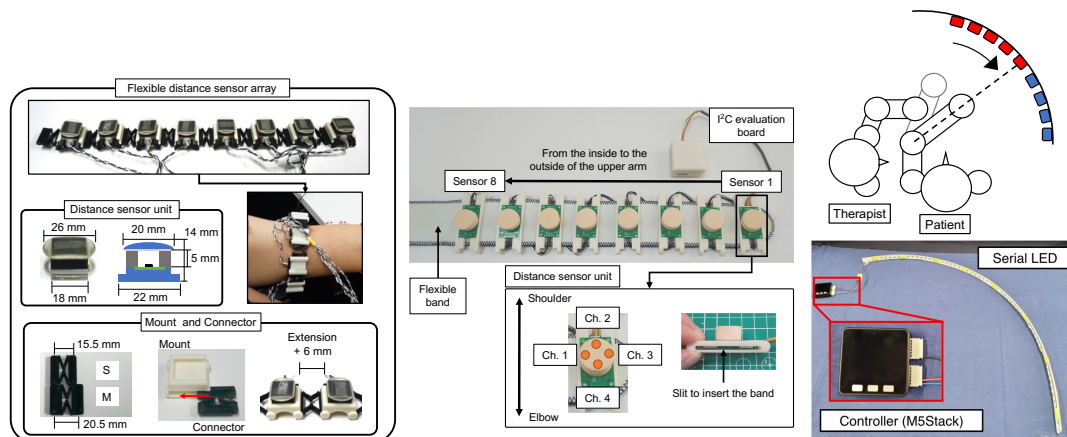
- (1) 随意性抽出のための皮膚変形計測システムの確立
- (2) 皮膚変形から随意性を抽出・定量化する手法の開発
- (3) 脳卒中片麻痺患者を対象とした計測に基づく評価システムの実用性検証

具体的な研究方法は結果と合わせ、4. 研究成果にて述べる。

4. 研究成果

- (1) 随意性抽出のための皮膚変形計測システムの確立

研究開始当初は、研究代表者の先行研究で開発された距離センサユニットを流用し、腕の全周に配置された多チャンネルの距離センサによって、運動中の皮膚変形を計測するシステム（距離センサアレイ）を試作した（図2-a）。しかし、実際の運用の過程で、アナログ出力の距離センサを多チャンネル使用する計測システムでは、接触不良によるノイズなどが無視できず、臨床現場での使用が困難であることが明らかになった。そのため、センサ単体でA/D変換を実施し、デ



a: 距離センサアレイ (プロトタイプ)

b: 距離センサアレイ (最新版)

c: 運動ガイド装置

図2 開発した計測システムおよび運動ガイド装置

イジーチェーン接続された複数センサの計測値を I²C 通信で収集可能なセンサを選定し、臨床での使用に耐えうる計測システムとした (図 2-b)。当初はセンサユニット間に柔軟素材で造形されたコネクタを配置し、腕の断面形状に沿うよう設計したが、対象ごとにコネクタのサイズを変更することが煩雑であった。そこで、ベルト上でセンサユニットの位置をスライドさせることにより、簡便にサイズの調整が可能な設計に変更した。

計測システムに加え、実施者による他動運動の可動範囲や実施速度のばらつきにより、皮膚変形の様相が変化することが確認されたため、その影響を軽減すべく、LED によって手先位置を視覚的に提示するデバイスを開発した (図 2-c)。ある時点での手先位置を常に表示し、それに追従するように他動的に腕を動作させることにより、屈曲・伸展時の角速度を統制することが可能となっている。

(2) 皮膚変形から随意性を抽出・定量化する手法の開発

運動中の上腕の皮膚変形を、開発した計測システムによって計測し、随意性の抽出を試みた。対象とする運動は、抗重力運動が困難な患者を想定し、机上かつ手首、肘、肩が同一水平面上での肘関節の屈曲・伸展とした。単関節の等張性収縮の運動条件で、皮膚変形に対して、主成分分析を適用すると、第 1 主成分は関節角度と高い相関をもち、第 2 主成分以降で自動運動と他動運動の差が生じることが確認された (図 3-a)。等張性に加え、等尺性収縮の運動条件でも検証を進めた結果、第 2 主成分以降の二乗平方根である複合主成分の分散が、運動負荷に比例して大きくなることが確認された (図 3-b)。このことから、自動運動時の随意的な筋収縮 (随意性) を反映する特徴を、皮膚変形から抽出可能なことが示唆された。随意的な筋収縮自体は既存の計測方法である表面筋電位でも取得することが可能だが、随意性のない他動運動時の皮膚変形によって、自動運動時の随意性を正規化できることが、本手法の独創的な点である。

上記の主成分分析による特徴抽出に加え、主成分分析の再構成誤差を随意性として算出することにより、自動・他動運動を判別できることも確認している。

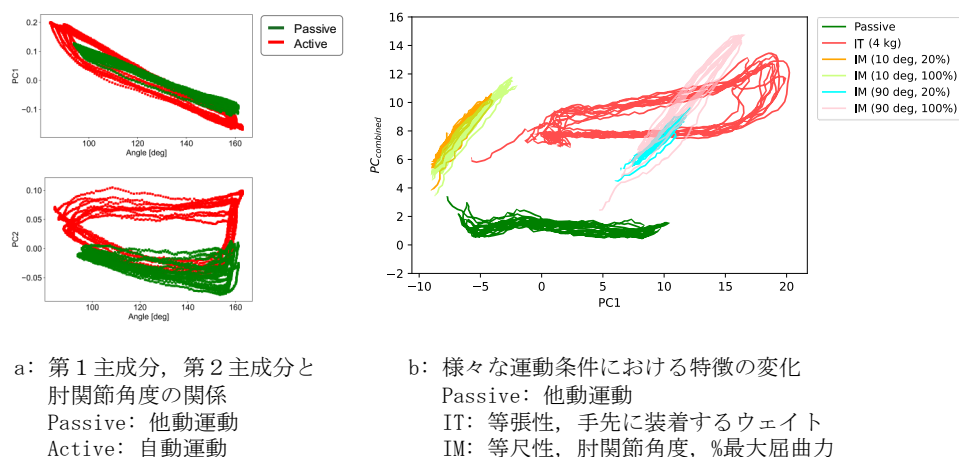


図 3 皮膚変形から抽出された運動特徴の例

(3) 脳卒中片麻痺患者を対象とした計測に基づく評価システムの実用性検証

実際の脳卒中上肢片麻痺患者を対象に、(1) および (2) で開発された計測システムと抽出・定量化手法の実用性を検証した。その結果、一定の関節運動が可能な随意性が認められる患者であれば、健常者と類似する他動・自動間の皮膚変形パターンが確認された。よって、提案手法の有用性が部分的な確認されたが、重症度が高い患者では自動運動時の皮膚変形が微小なため、健常者と同様の計測システムや計測手順を単純に適用できず、対象に特化した調整が必要となった。

以上の結果から、当初の仮説通り、自動運動と他動運動の皮膚変形の差から、運動の「随意性」を抽出・定量化できる可能性を確認した。また、重症脳卒中患者を対象とする場合には、一定量以上の筋収縮が可能な健常者とは異なる計測システム、計測手順が必要であることを確認できた。これらが、本研究を遂行することにより得た成果、知見である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 木下滉大, 趙崇貴, 大西謙吾, 沢田裕之, 楠元政幸, 横田千晶
2. 発表標題 安定した他動運動時の皮膚変形計測に向けた運動ガイド装置の開発
3. 学会等名 ライフサポート学会 第33回フロンティア講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 下村拓也, 趙崇貴, 大西謙吾, 沢田裕之, 楠元政幸, 横田千晶
2. 発表標題 他動運動時の皮膚変形で学習された主成分分析に基づく随意運動の度合いを反映する特徴の抽出
3. 学会等名 LIFE2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 趙崇貴, 下村拓也, 大西謙吾, 沢田裕之, 楠元政幸, 横田千晶
2. 発表標題 主成分分析の再構成誤差による他動・自動運動時の皮膚変形の比較
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 (ROBOEMCH2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 下村拓也, 趙崇貴, 大西謙吾, 沢田裕之, 楠元政幸, 横田千晶
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者の運動機能評価を目的とした等尺性肘関節屈曲運動時の上腕皮膚変形の解析
3. 学会等名 The 7th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木下澁大, 下村拓也, 趙崇貴, 大西謙吾, 沢田裕之, 楠元政幸, 横田千晶
2. 発表標題 他動運動の実施者の差が計測される皮膚変形に与える影響の検証
3. 学会等名 The 7th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沢田裕之, 菅井賢, 楠元政幸, 西園博章, 趙崇貴, 横田千晶
2. 発表標題 脳卒中後重度上肢運動麻痺に対する新たな評価システムの導入
3. 学会等名 第77回国立病院総合医学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 下村 拓也、趙 崇貴、大西 謙吾
2. 発表標題 異なる運動負荷における上腕の皮膚表面形状の特徴解析
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022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 & 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
研究 分担者	横田 千晶 (Yokota Chiaki) (80300979)	国立研究開発法人国立循環器病研究センター・病院・医長 (84404)	
研究 分担者	高松 淳 (Takamatsu Jun) (90510884)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・客員教授 (14603)	

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
---------	---------