

課題番号	Q20L-05
課題名 (和文)	装着型関節粘弾性計測システムによる脳血管障害麻痺手指の関節かたさ分布マップの構築
課題名 (英文)	Wearable articular viscoelasticity instrument system for founding hemiplegic paralyzed finger joint hardness distribution map
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学 理工学部 理工学科 電子工学系 教授 氏名 大西 謙吾
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 国際医療福祉大学 小田原保健医療学部 作業療法学科・准教授 氏名 出口 弦舞
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学大学院 理工学研究科 電子工学専攻 氏名 贄田 祐樹
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 東京電機大学大学院 理工学研究科 電子工学専攻 氏名 ダンジェル テオ
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

研究成果の概要 (和文)

作業療法士は他動運動時の麻痺手指の抵抗力で経験的に訓練を調整できるが、他者と共有、比較ができない。本研究では痙性麻痺手指の他動的屈伸時の関節粘弾性を定量的に計測、比較するシステムを開発する。第一段階として装着型の手指関節角度と指背面に加わる力の計測ユニットを試作した。関節角度、押し曲げ力の精度検証と、模擬麻痺者と模擬療法士による他動屈曲・伸展運動時の屈曲角度と押し曲げ・伸ばし力の計測実験を行い、有用性を確認した。

研究成果の概要 (英文)

The post stroke paralyzed finger's stiffness is a key information on adjusting the therapists' passive motion training. In this project, instrument system for articular viscoelasticity of the spastic paralysis finger's passive motion is developed. A wearable joint angle and pressing force measurement unit is prototyped and evaluated. The sequence of passive flexion-extension conducted by simulated patient and therapist pair were measured to confirm the system's usability.

1. 研究開始当初の背景

脳血管障害の後遺症としての片麻痺は、手指を動かす筋の緊張の高まりや使用低下に伴い腱・靭帯等の伸縮性能が低下し、関節運動が阻害される。他動的にも屈曲・伸展運動を行うことが難しくなる傾向は、個人差もあれば、運動療法の前後、治療期間でも差があり、指や手関節の姿勢にも影響を受ける。このため、作業療法士が手指を屈伸する運動療法中では、この変動を定性的に感知しながら、呈示する指の運動・力が調整されてはいるものの、呈示する運動・力が妥当である、訓練効果が高いのか、はたまた再現性がある形で治療を行っているのかは不明である。この結果、手指の運動療法のロボット化への期待は患者・医療関係者から非常に高いものの、効果的なシステムの開発を困難としている。

2. 研究の目的

本研究では、計測システムの基本構成要素である装具、関節角度・力センサ、関節運動の特徴を算出し分類するソフトウェアをそれぞれ開発し、被験者実験にて麻痺手指の他動的な動きにくさを健常な手指との定量的な比較で示すことを目的とする。

作業療法士が運動療法として麻痺手指を最大可動域まで屈曲伸展する際に、麻痺手指を保持する部位に3軸力センサ、手指の関節角度を測定するための関節角度センサを配置し、関節可動域全体での力と関節角度の変動を用い、粘弾性特性を算出する。これらの値の分布パターンを、被測定者の手指の動きにくさとして定量化する。なお、本研究では、この分布に対しパターン認識技術を用いて、健常者と痙性麻痺者の手指の他動運動の抵抗感が識別可能かを検証する。

3. 研究の方法

計測システムの基本構成要素である装具形状・寸法的设计・試作を進めた。被測定対象の手指に装着するパーツの寸法は、人体寸法データベース

の手の部位別寸法を参考として、成人男性の手を採型した立体寸法をCAD上で編集、加工して各パーツを設計し、3Dプリンタで出力し、形状修正点を確認しながら試行錯誤的に最終形状を導いた。また、得られた指とパーツの適合状態と寸法をもとに、指腹面と掌面に差し込む折り畳み式のバルーン的设计と試作を行った。この試行を通じ、手指を他動的伸展時の指ならびに指間の寸法、手指と接触する部位に使用する材質・物理的な特性の調査を進めた。

計測システムの指装着部の関節角度センサの配置の選定、指を保持する部分への力センサの配置の選定、各センサ信号の記録用ソフトウェアの作成と較正実験、被検者計測実験を進めた。計測システムの関節角度・力センサセンサを指装着パーツの形状設計と合わせ行い、測定範囲・感度の調整を行った。センサ信号の計測・記録ユニットの計算機を選定し、付属回路の製作、ソフトウェア設計・開発を行った。

手指関節の随意運動に係る前腕の筋の伸縮の検出を目的として近赤外線光(NIR)センサと筋電センサの信号を組み合わせたマルチモーダルセンサ信号のパターン識別による手・指動作の推定精度を実験により検証した。

4. 研究成果

関節可動域での他動運動時に関節角度と力の測定が行えるかを検証した。模擬麻痺者と模擬療法士(ともに20代男性1名)にて模擬麻痺者の左示指に計測システムを装着し(図1)、測定を行った。関節角度センサは遠位・近位指節間(DIP・PIP)関節用と中手指節間(MP)関節用とで配置、力センサは末節と基節に配置し、各センサ信号の角度変化の追従特性を、模擬療法士が屈曲運動と伸展運動を模擬麻痺者に加えた時に、模擬麻痺者が運動方向と反対に随意的に抵抗しつつ運動する場合と、抵抗しないで運動する場合とで測定した。模擬麻痺者の示指伸展位を初期状態として全関節をまとめて屈曲運動、MP関節の最大屈曲位

を初期状態として MP 関節のみの伸展運動、DIP・PIP 関節の最大屈曲位を初期状態として PIP 関節と DIP 関節の伸展運動を各々 2 試行 1 セットとして模擬麻痺者の手指最終関節可動域まで加えセンサ信号を記録した。

基節部力センサ信号の最大値は、MP 関節伸展時で、抵抗しない場合で Y 軸 0.3N、Z 軸 2.0N、抵抗した場合には各々 1.8、2.4N であった。また、末節部力センサ信号の最大値は、抵抗しない場合で各々 5.0、0.6N、抵抗した場合には各々 10.7、5.7N と顕著に差があった。さらに、抵抗の有無により関節角度に対する力の増加の勾配は方向に応じ異なった。なお、MP 関節角度の最大値は 88°、PIP 関節角度の最大値は 70°、DIP 関節角度の最大値は 53° であった。DIP・PIP 関節角度は計測システム日装着時と比べ小さく、指先装着パーツ間の接触干渉の影響で最大屈曲位が制限されていた。

以上より、計測システムの応答特性は十分であり、粘弾性特性を用いることで特徴を説明することが示唆された。今後は、指装着パーツの干渉解消のための寸法修正と、指サイズに応じた 3 段階のサイズでのパーツ作成、精度・感度を維持しつつ装着にかかる時間低減をはかる改良を進める。そして、作業療法士を対象とした被検者実験、ユーザビリティ評価、関節かたさ分布マップの構築に向けた健常手と麻痺手での計測と判定アルゴリズムの検証を行う。

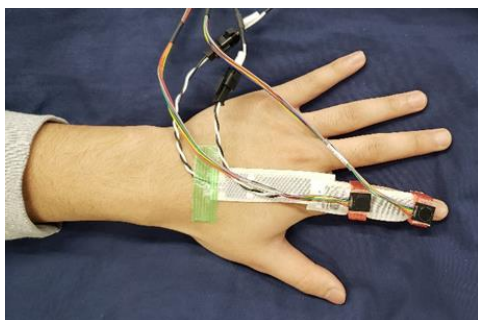


図 1 計測システムの模擬麻痺者左示指装着時

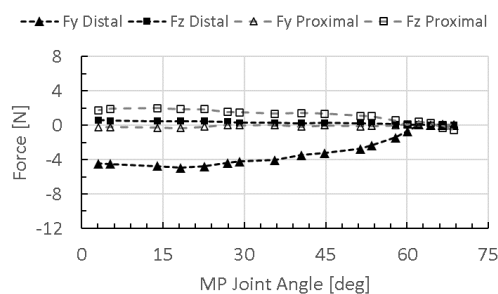


図 2 MP 関節伸展時の MP 関節角度と遠位・近位力センサの Y,Z 軸信号 (無抵抗時)

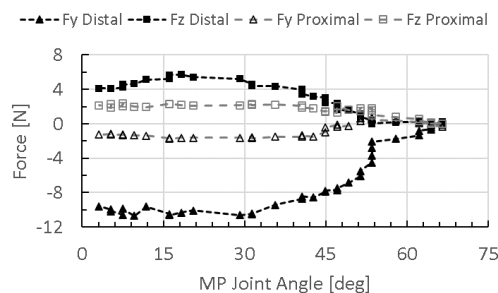


図 3 MP 関節伸展時の MP 関節角度と遠位・近位力センサの Y,Z 軸信号 (随意抵抗時)

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4 件)

- ① 贅田祐樹, 大西謙吾: 着脱・携行が容易な手指関節の伸展動作用空気圧駆動式装具の設計, 第 36 回日本義肢装具学会学術大会, 2020/10/31, 東京大学本郷キャンパス 伊藤国際学術研究センター (ハイブリッド)
- ② 贅田祐樹, 大西謙吾: 着脱・携行が容易な手指関節に伸展運動を提示する空気圧駆動式装具, 第 21 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 SI2020 in Fukuoka, 2020/12/18, オンライン
- ③ 大西謙吾, ダンジェル テオ: 手指の筋活動のハイブリッドセンシングと動作識別, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 SSI2021, 2021/11/22, 室蘭工業大学 (オンライン)
- ④ 贅田祐樹, 大西謙吾: 空気圧制御式の指伸展運動呈示機構, 第 31 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2022/3/8, 東京大学 (オンライン)