

2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報知能工学部門
職位または役職	准教授
氏名	安 琪

1. 研究題目

筋シナジーを利用した起立動作の支援機器の開発

2. 研究目的

超高齢社会において、高齢者の身体機能を維持・改善することは重要である。本研究では日常生活動作の起点となる起立動作を支援する電動押上げ式の椅子の開発を目的とする。効果的に運動を支援するためには、ヒトの運動メカニズムを理解し、運動を阻害せずに運動機能を改善する必要がある。脳損傷などによって運動障害を抱えると、上体が過度に屈曲し、ゆっくりとした起立動作になる。それに対して、我々の従来研究から理学療法士は臀部や膝部を把持して、膝部の安定性を向上させながら、離床時に大臀筋を刺激して、臀部の伸展タイミングを示すことで、離床に寄与する筋シナジーの活動を改善し、運動機能の向上を図っていることが分かった。このように、身体機能の改善を行うためには、必ずしも動作中に関節の力を補助するのではなく、離床に合わせて最小限の動作のタイミングの教示や筋への機械的な刺激によって運動機能が改善することに着目し、その介入動作を実現する椅子を開発する。

従来の支援機器では座面をゆっくりと上昇させて十分に臀部が上がった時点で使用者が離床しており、筋を使わない受動的な運動になるのに対して、本研究では使用者に対して筋を活動するタイミングだけを教示することで、なるべく残存している筋を使用するような能動的な運動を実現する。このような支援機器を開発するためには、使用者の運動に合わせて、身体部位の運動を適切に誘導し、使用者の筋肉を刺激することが重要である。

本年度は、理学療法士が起立動作を支援する際に、膝に介入していることに着目した。膝への介入では離床前に膝の前移動を誘導し、離殿時には膝の安定性を高めている。その後に膝と臀部の伸展を支援することで、運動タイミングの教示が容易になる。また膝の安定性を高めることで、臀部への支援によって股関節が伸展され、離床タイミングをより効果的に教示できる。そのため、本研究では、1. 膝と臀部への介入機構を開発し、2. 大殿筋に刺激を与え、3. 臀部と膝を協同して動かし、臀部へと介入する支援タイミングの確立を行うことで、起立動作の支援機器を開発する。

3. 研究内容及び成果

理学療法士は運動疾患を抱える片麻痺患者の起立動作に対して、離殿のタイミングで臀部を把持して刺激することで運動を支援する。本研究では、理学療法士が臀部に介入する際の刺激を椅子によって再現するために、過去に理学療法士が起立動作に介入した際の座面の圧中心(COP)と臀部への刺激の力の関係を調べた。実際に得られたCOPと刺激力の関係を図1に示す。縦軸が力を表し、横軸が静止状態を基準としたCOPの変位であり正の方向が前方を表しており、臀部が前方へ移動し、離殿に向かうにつれて臀部を刺激する力が増加していることが分かる。これに対して本研究では線形回帰モデルを用いて座面によって計測されたCOPの値から機器が目標とする臀部への刺激力を算出することができる。

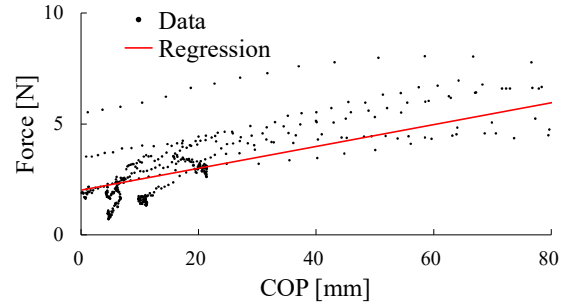


図1 COPと力の関係

次にこのように算出された力を支援機器によって再現を行うために、本研究では臀部の刺激部に新たにロードセルを取り付けることで刺激部に発生した反力 F を計測し、PD制御によって理学療法士が患者に介入する際の臀部を刺激する力に近づけるようにした。このような制御の流れを図2に示す。高次のコントローラには使用者のCOPの位置 x_{cop} が入力され、目標とする刺激力 \hat{F} が算出される。これはPD制御器に入力され、現在の機器が使用者に与える刺激力 F との差からモータへの運動指令 u が決定される。

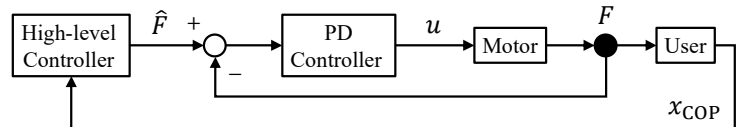


図2 制御の流れ

開発した機器を図3に示す。座面の下には4点の圧センサが配置されており、機器の使用者が座面に乗った際の圧中心の座標を算出することができる。また座面の後部にはラックピニオンによる直動機構が存在し、モータによって前後方向に移動する。このシステムによって支援機器の使用者の運動に合わせて臀部を所望の力で刺激することが可能となる。

実際に使用者の運動に合わせて理学療法士が介入するのと同様の力で臀部を刺激できるか検証するために、本研究では20-30歳代の2名の被験者が機器を利用して起立動作を行ってもらい、その際の臀部を刺激する力の計測を行った。なお本実験は九州大学システム情報科学研究所実験倫理委員会の承認のもと実施された。その結果を図4に示す(赤線:理学療法士による介入時の力、黒線:機器による介入時の力)。これは2名の被験者に対する刺激力の平均と標準偏差を示している。1秒の時点で使用者が離殿したタイミングであり、離殿に合わせて臀部を刺激する力が徐々に上昇しており、理学療法士が介入した際に臀部にかかる力と近くなっており、その技能を再現することができた。一方で理学療法士は臀部だけではなく、膝部にも介入を行うことで、起立動作を支援する。今後の研究においては、これらの理学療法士のその他の技能の支援機器への実装も行い、その効果の検証をする。

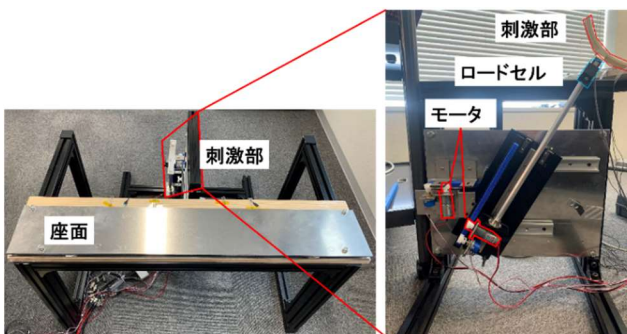


図3 開発した椅子型の支援機器

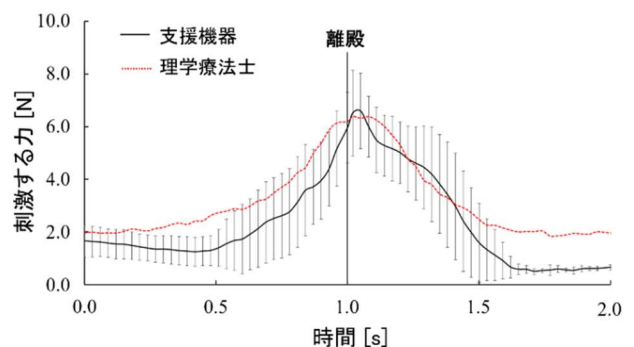


図4 臀部を刺激する力の比較

4. 今後の研究の見通し

今までに支援タイミングの同定や臀部の支援に関してその制御則を確立し、実際に理学療法士が行う支援と同程度の力で臀部を押すような支援を実現した。以下に今後の研究の見通しを述べる。

1. 臀部の刺激機構

実際の理学療法士は臀部を押すだけではなく、大殿筋を刺激することで動作の教示を行っている。ここでは離殿タイミングに合わせて、使用者の大殿筋を刺激することが可能な装置の開発を行っている。これを開発中の刺激部に取り付けることで運動中に大殿筋を刺激するような動作を実現する。

2. 検証実験の実施・臨床での使用可能性の検討

さらに今後は実際の片麻痺患者での検証実験が重要となる。2020年度においてコロナ禍のため、病院における計測実験ができなかった。医師、理学療法士に本支援機器を体験してもらうことで、より今後必要となる機能についての議論が重要となる。

3. 使用者の状態推定

片麻痺患者などはその運動障害の度合いや症状が多岐に渡り、特に身体を駆動する筋活動に変化が生じることから、それらの筋活動や関節運動を計測し、個々人に合わせた支援を行うことが重要である。今後効果的な支援を実現するためには、使用者の状態をより詳細に計測し、適当的に支援の戦略を変えることが必要である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

辛治杭, 安琪, 山川博司, 下田真吾, 倉爪亮, 「理学療法士の介入技能をもとにした起立動作の支援機器の開発 - 臀部押し上げ機構の開発」, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2021, 2P1-D06, 2021年6月6～8日.