

氏名	サイトウ QI TENG
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博 1 2 2 1 号
学位授与の日付	令和 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	高齢者向けフレイル予防のための椅子システムの研究開発
審査委員	(主査) 教授 桑原 教彰 教授 佐久間 淳 教授 来田 宣幸

論文内容の要旨

本論文は、高齢社会の進展に伴い重要性が高まるフレイル予防を背景として、高齢者が在宅環境において安全かつ効果的に、かつ長期的に継続可能な筋力トレーニングを実施できる運動支援システムの構築を目的とした研究である。椅子を用いた運動(Chair-Based Exercise: CBE)に着目し、人間工学的設計、動作認識技術、および行動支援インタフェースを統合した支援枠組みを提案している。

第 1 章では、高齢化社会におけるフレイルおよびサルコペニアの概念と社会的背景を整理し、在宅で実施可能な運動支援の必要性と本研究の課題設定を示した。

第 2 章では、人間工学的観点から CBE に適した改良椅子を設計し、高齢者被験者を対象とした実験によりその有効性を検証した。その結果、改良椅子は通常椅子と比較して動作時の安定性が向上し、主観評価においても安心感および使用感の改善が確認された。

第 3 章では、単眼カメラ映像から抽出した関節角度データに基づき、CBE 動作の正誤を判定する機械学習モデルを構築した。主成分分析およびサポートベクターマシンを用いた分類により、8 種類の CBE 動作について平均 97%以上の識別精度を達成し、同一動作内のフォームの正誤を評価可能であることを示した。

第 4 章では、表面筋電図(sEMG)を用いて関節角度に基づく正誤判定の妥当性を検証した。正しい動作では一貫して高い筋活動が確認され、関節角度指標と筋活動との整合性が示された。一方で、sEMG は個人差が大きく、汎用的評価指標としての限界も明らかとなった。

第 5 章では、動作正誤判定モデルを実装した Web ベースの運動支援インタフェースを開発し、リアルタイムフィードバックの有効性を評価した。その結果、動作理解のしやすさ、達成感、操作性および継続意欲の向上が確認された。

第 6 章では、本研究全体を総括し、改良椅子による身体的支援、AI による認知的支援、およびフィードバックによる行動支援を統合した「身体・認知・行動」の三層モデルを理論的枠組みとして提示した。

以上より、本論文は、在宅高齢者を対象とした運動支援において、器具設計、動作評価、および行動支援を一体的に扱った体系的研究であり、学術的意義と実用的価値を有する内容である。

論文審査の結果の要旨

博士論文公聴会において、申請者は、本研究に至る背景、研究の狙い、および各章で得られた成果について、全体構造を意識した明瞭な説明を行った。とりわけ、高齢者の在宅運動支援という実践的課題を出発点とし、器具設計、動作評価、フィードバック設計を段階的に統合していく研究の流れについて、自身の言葉で整理して説明していた点が印象的であった。

質疑応答では、まず、本研究における改良椅子の位置づけについて、「運動を代替する装置ではなく、正しい身体使用を引き出すための環境的支援である」という設計思想が明確に示された。これにより、過剰な補助によって運動効果を損なう可能性への配慮や、人間工学的アフォーダンスの考え方を踏まえた設計意図が十分に理解されていることが確認された。

また、単眼カメラと関節角度に基づく動作正誤判定については、なぜ三次元モーションキャプチャや多センサ構成を採用しなかったのかという問いに対し、在宅利用を前提とした実装可能性、使用者負担、および評価の一貫性という観点から、技術選択の妥当性が論理的に説明された。特に、関節角度という指標が、高齢者間で比較的安定した基準となり得る点についての説明は説得力を有していた。

表面筋電図との比較に関する質問に対しては、sEMGを「正誤判定の代替手段」ではなく、「AIによる判定結果の生理学的妥当性を検証するための補助的根拠」として位置づけている点が明確に示された。筋活動量の個人差や在宅利用時の制約についても的確に言及しており、方法論の限界を踏まえた適切な解釈がなされていると評価できる。

さらに、本研究で提示された「身体・認知・行動」の三層モデルについては、単なる結果の整理ではなく、今後の高齢者支援技術や在宅リハビリテーション設計における一般化可能な枠組みとして説明されていた。質疑においても、本モデルを基盤として、個別化支援や長期利用評価へと展開していく展望が具体的に述べられ、研究の発展性について十分な見識を有していることが確認された。

本論文の内容は、査読システムが確立されている学術誌に掲載された以下の基礎論文2報に報告されている。いずれも申請者が筆頭著者であり、以下の論文において二重投稿など研究者倫理に反する事象は認められなかった。

基礎論文

1. **Qi, T.;** Iwamoto, M.; Choi, D.; Panote, S.; Kuwahara, N. Innovative Chair and System Designs to Enhance Resistance Training Outcomes for the Elderly. *Healthcare* **2024**, *12*, 1926. <https://doi.org/10.3390/healthcare12191926>
2. **Qi, T.;** Iwamoto, M.; Choi, D.; Kida, N.; Kuwahara, N. Frailty-Focused Movement Monitoring: A Single-Camera System Using Joint Angles for Assessing Chair-Based Exercise Quality. *Sensors* **2025**, *25*, 3907. <https://doi.org/10.3390/s25133907>