



Title: Selecting Pedal Load for Lower-Limb Rehabilitation Based on the Combination of Muscle Synergy and Fourier Series

(筋シナジーとフーリエ級数の組み合わせに基づく下肢リハビリテーションのためのペダル負荷の選択)

Authors: Shigeki Kuroda, Jinhua She, Sota Nakamuro, Rennong Wang, Daisuke Chugo, Keio Ishiguro, Hiromi Sakai, and Hiroshi Hashimoto

黒田 茂輝 (東京工科大学 大学院生), 余 錦華 (東京工科大学 教授), 中室 颯太 (東京工科大学 学部生), 王人儂 (東京工科大学 大学院生), 中後 大輔 (関西学院大学 教授), 石黒 圭広 (東京工科大学 教授), 酒井 弘美 (東京工科大学 教授), 橋本 洋志 (西行技術大学院大学 教授)

Journal: Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics,

掲載年月: 2024 年 5 月

研究概要: 本稿では、新しい下肢リハビリテーションマシンについて検討を行う。まず、ユーザーの身体状況に適応したリハビリテーションを容易にするために、左右独立の回転ペダル機構を検討した。次に、人間工学を考慮して下肢リハビリテーションマシンの二分の一モデルを設計と製造した。それから、非負値行列因子分解 (NMF) と非負値二重特異値分解を組み合わせ、歩行筋 sEMG 信号の筋相乗効果を計算し、コサイン類似度を使用して歩行とペダリング運動の類似性を評価した。歩行とペダリングの実験結果を比較することにより、リハビリテーションにおけるペダリング運動の有効性を明らかにした。歩行とペダリングの類似性をさらに向上させるために、sEMG 信号の二重積分を導入し、フーリエ級数を用いて回転角度に応じた可変負荷決定法を初めて提案した。実験の結果、10 人の被験者のうち半数以上が、通常の一定負荷でのペダリング運動に比べて、フーリエ級数負荷によるペダリング運動は歩行運動との筋シナジーの類似度を高めることが確認された。この負荷選択法は、リハビリテーション効率を向上させる可能性を示唆している。

研究背景: 日本は今や世界一の高齢大国である。加齢やケガなどで低下した運動機能を回復させるためには、リハビリテーションが欠かせない。未曾有の高齢化率に伴い、日本のリハビリ需要は着実に増加している。具体的には、2019 年のリハビリテーション人口は 2006 年の 1.5 倍となっている。今後もリハビリ需要は増加の一途をたどることが予想される。

リハビリテーションは通常、急性期 (1~14 日)、回復期 (数ヶ月まで)、機能期 (数ヶ月~数年) の 3 段階に分けられる。早期にリハビリを開始することが重要であるが、患者はまだあまり歩けないため、適切なリハビリ機器の使用が重要である。早期リハビリのためのリハビリ機器の問題点として、高齢者や障害者の使い勝手への配慮が足りないことが挙げられる。例えば、脳卒中患者の場合、左右の脚力に大きな差がある。しかし、この状況に対応できるリハビリ機器はないため、理学療法士や介護士に頼ってリハビリを行わなければならない。

研究成果: 本研究では、下肢リハビリテーションのための左右独立型ペダリング機器の設計・製作に焦点を当て、ペダリング運動中の任意の位置でペダル負荷を調整できる新しいペダリング機器の設計・製作を行った。その第一歩として、人間工学に基づき下肢リハビリテーション機器のハーフモデルを設計・製造した。さらに、フーリエ級数によるペダル負荷決定法を新たに提案し、非負行列分解、筋シナジー解析とコサイン類似度を用いて、歩行とペダリングの実験データを分析し、統計結果より、フーリエ級数負荷決定法の筋シナジーの類似度が一番高いことが分かり、提案した負荷決定法の有効性を検証した。

社会への影響:

この論文は、従来にない新しい左右独立なペダリング装置を設計・製作しただけでなく、フーリエ級数を用いて歩行時の筋シナジーに近づけるための可変負荷発生法を提案した。この負荷発生法は、いま流行っている AI 手法よりずっとシンプルで効率が良いため、本手法を実用化することにより、効率よいリハビリは容易に実現可能となる。