

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16404

研究課題名(和文)福祉・介護機器における対象者の最適補助量・最適タイミングの定量的推定手法の確立

研究課題名(英文)Quantitative estimation method for optimum auxiliary and timing of subjects in welfare - care technology

研究代表者

井上 淳 (INOUE, Jun)

東京電機大学・未来科学部・助教

研究者番号：20609284

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高齢化が進む日本では、個人の状況に沿った福祉機器が必要とされている。現状では高齢者や障害者の残存能力に対応した機器の定量的選定手法が確立されていない。さらに、機器による必要な補助量は、動作の間、常に一定ではなく、体の部位ごとに必要なタイミングも異なる。本研究では「福祉・介護支援機器における補助の最適量及び最適タイミングの定量的な推定手法の確立」を行うことを目的とした。具体的には、歩行中の補助具の補助量、および補助具から人体へ与える影響量を表す評価指標を構築し、歩行器や装具の評価と性能の向上を含む研究を行ってきた。その結果、全く新しい形状の杖歩行訓練機等の開発に成功し、現在実用化を目指している。

研究成果の概要(英文)：The welfare equipment that with individual circumstances is needed. Quantitative selection method of equipment corresponding to the residual capacity of elderly people and impaired people is not established at present. Furthermore, the necessary auxiliary amount by the device is not always constant during the operation, and the necessary timing is also different for each part of the body. In this research, we aimed to carry out "Establish quantitative estimation method of optimum amount of assistance and optimum timing in welfare / nursing care support equipment". Specifically, we have constructed an evaluation index that shows the amount of assistance of the assistant during walking, and the influence amount to the human body from the assisting tool, and carried out research including improving the evaluation and performance of the walker and the orthosis. As a result, we succeeded in developing an entirely new shape cane walking training machine.

研究分野：福祉工学

キーワード：リハビリテーション 人間の定量化 福祉機器 下肢装具 杖歩行訓練 残存能力

## 1. 研究開始当初の背景

近年、世界の先進国で高齢化が進行する中、様々な高齢者・障害者の支援機器が開発されている。下肢の支援機器だけとりあげても、山海らの開発している HAL や、トヨタの歩行支援アシストロボット等が実用化に近付いているほか、古くから使われている車いす・下肢装具・杖・歩行器などは症状に合わせて多くの種類が開発されており、患者の選択肢は広がりつつある。

しかし、これら支援機器が患者に処方されるとき、個々の患者にとって何がベストなのかを現場で判断することは非常に難しいといわれる。たとえば下肢装具一つをとっても、「現状では下肢装具の明確な処方基準がなく、下肢筋活動に依拠した処方がなされていない」ということが日本リハビリテーション医学会で問題提起されている。これは、個々の支援機器が対象患者の設定を誤っているということの意味するものではなく、臨床現場では患者の残存能力の計測が困難であることが原因となって生まれる問題である。一方で、既存の支援機器に関しても、機器を使用した際の患者に与える補助量は、動作開始時から終了時まで一定ではないが、臨床現場では補助量の計測も困難であった。その結果、必要以上の補助を行う器具の日常的使用による筋力の低下、関節可動域の減少などが問題視されている。

## 2. 研究の目的

これに対して、人間の筋活動を解明する目的で、筋活動量の可視化を行う研究や、人間の全身筋のモデリングを行う研究も多くなされている。東京大学の中村らはリアルタイムでどの筋が活動しているかリアルタイムで可視化することに成功した。また、スタンフォード大の Delp らは筋電計を用いなくとも全身の筋活動を推定可能なモデルを構築し、広く研究者に使われている。しかし、これらの研究で用いられている手法では三次

元運動解析器・床反力計等の大規模な装置が必要となり、臨床現場で使用することは困難であった。

この問題に対し、これまで、応募者は歩行を対象に、計測が容易なパラメータのみを用いた下肢筋活動の推定、及び下肢筋活動量変化原因の推定手法の開発を行ってきた(図 1)。本手法では下肢関節角度・足底圧・加速度という、計測・データ処理が容易で臨床の場でも利用可能なパラメータのみを使用する。モデル構築の際は物理モデルを構築するのではなく、ベイジアンネットワークを用いて数学的なモデルを構築することで、物理計算に必要なパラメータが全て揃っていなくとも、筋活動量の推定を行うことを可能とした。さらに、歩行条件が変化し、筋活動量が変化した際はその原因となるパラメータを推定することが可能となった。

本提案ではこの手法を、時系列的な各パラメータの変化にも対応可能とすることと、人体の負荷と福祉機器の補助量双方を推定することで「福祉・介護支援機器における、補助の最適化及び最適タイミングの定量的な推定手法の確立」が可能になるとの仮説を立てた。

この仮説を、動作時の人体の負荷の時系列変化推定、支援機器による補助量の時系列的変化推定、本手法を用いて提案する支援機器使用時の負荷計測の STEP を踏むことにより証明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 動作時の人体各部位への負荷の時系列的变化推定

本提案の要となるのは計測が容易なパラメータのみを用いて負荷を推定することである。負荷は筋活動と対応していることが考えられるため、本研究では筋活動量を負荷として定義する。提案者が今までベイジアンネットワークを用いて行っていた歩行時の筋

活動量推定を、立ち上がりなど他の動作にも拡大し、さらに、時系列的变化にも対応可能にする。また、拡大するにあたり、他の動作時にネットワーク構築に必要なパラメータを選定する手順を含める。これにより、まず本提案手法の根幹をなすシステムを構築する。

#### (2) 支援機器による補助量の時系列的变化推定

次に、本提案手法が支援機器を使用した際の補助量推定にも利用できることを示すため、支援機器補助量の時系列的变化推定システムを構築する。この際、支援機器を利用すると、一般的な動作で負荷がかかりやすい下肢に加え、支援機器を把持する上肢や体幹にも負荷がかかるようになる。そのため筋活動や関節角度の変位と関係があり、計測が容易なパラメータを全身から探索する必要がある。探索の結果選択したパラメータを用いて、筋活動や関節角度の推定モデルを構築する。その後、このシステムを用いて最適と判断された支援機器を用いた動作を行い、モデルの推定負荷・補助量と、実際の負荷・補助量を比較することで研究手法の有効性を示す。このパラメータ探索をシステム構築サイクルに含めることで、本提案手法が様々な支援機器への応用が可能であることを示す。このような段階を踏むことにより、「福祉・介護支援機器における、補助の最適性及び最適タイミングの定量的な推定手法の確立」可能であることを示す。

#### 4. 研究成果

##### (1) ベイジアンネットワークを用いた負荷の時系列的变化推定

まず、本提案手法の根幹となる、ベイジアンネットワークを用いた負荷の時系列的变化推定の有効性について示すため、開発中の杖歩行練習補助器を対象としてその推定システムを構築した。臨床現場での仕様が困難と

されている筋電計、三次元計測器、床反力計を用いないシステムを構築するため、簡易に計測できるパラメータのみを用いた、統計的モデルを利用する筋への負荷推定を行った。また、本提案手法の特徴である点として、以下の2つのベイジアンネットワークを段階を踏んで構築した。

##### ①【杖歩行練習補助器使用時の歩容・筋負荷推定のためのベイジアンネットワーク構築】

杖歩行練習補助器の使用時に、歩行条件を変更し、それが歩容や筋負荷にどのような影響を与えているかをあらわす因果関係モデルを構築した。その結果、歩幅や歩隔、歩行速度には杖歩行練習補助器の装着自体が影響を与えており、歩幅や歩隔の低下に因果関係を持っていた。腰にかかる力や骨盤動揺量には杖歩行練習補助器の重量が影響を与えており、重量の減少と歩行の安定性との間に因果関係があることが分かった。

##### ②【杖歩行練習補助器使用時の時系列的分割ベイジアンネットワークの親ノード探索】

1の推定モデル構築後、全体を一動作としたモデルから、歩行動作を細分化したモデルを構築した。現在の細分化は立脚期を抑制期と推進期に分割したものであり、この2つの歩行層において、筋活動の親ノード推定を行った。また、周期的運動を相分けし、それぞれの相ごとの特徴をベイジアンネットワークを用いて発見する試みを行った。

#### (2) 補助の最適性及び最適タイミングの定量的な推定

福祉・介護支援機器における、補助の最適性及び最適タイミングの定量的な推定が可能かどうかを検討する事を目指して以下の研究を行った。モデル構築に必要なパラメータ探索を行って補助量推定モデルを構築する事を目指し、立ち上がり動作よりも明確に補助具の影響が出やすい歩行動作を対象として動作解析を行った。動作を絞り込むと、筋活動と、外力・姿勢の関係性が一対一に対

応することから、筋電・足底圧・関節角度を計測項目とし、6箇所に分割した足底圧と股・膝・足の関節角度から、筋活動量の推定を行うベイジアンネットワークモデルを立てた。歩行時動作に補助具を用いた際、その補助具の条件により、歩行に関わる筋に与える影響の計測および解析を行うことが出来た。また、歩行層ごとにその与える影響の因果関係が変わることから、時系列的な因果関係の変化の推定を行った。これにより、支援機器によって、そして補助タイミングごとの必要な補助量の関係性を導くことができた。

### (3)新しい福祉支援機器開発への応用

具体的には、歩行中の補助具の補助量、および補助具から人体へ与える影響量を表す評価指標を構築し、歩行器や装具の評価と性能の向上を含む研究を行ってきた。その結果として、全く新しい形状の杖歩行訓練機の開発に成功し、現在は企業と協力して実用化を目指している。また、下肢装具に関しては、曲がる部分が今まで存在しなかった足底部に関節を設ける方法で、支えるべき歩行相では支えて、自由に動かすことが必要な歩行相では動きを阻害しない足底部を作ることに成功し、大幅な歩行能力の向上を図った。これらの新しく開発した福祉支援機器はどちらも最適なタイミングで補助を行うということを目的にして開発されたものであり、今までの支援機器と比較して使用者の残存能力を活かす機器となっている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

①井上 淳 琴坂 信哉 縄田 厚 梶谷 勇 藤原 俊之 藤谷 順子 “医療福祉分野の研究・機器開発におけるニーズ・シーズのミスマッチとその解決” 日本生活支援工学会誌 17(2), pp.25-31,2018,査読無

②井上 淳, 花崎 泉, 川村 和也, 貴嶋 芳文, 藤元 登四郎 “見守り無しで病棟訓練が可能な杖歩行訓練用歩行器の開発と実用化への課

題” 電気学会論文誌 C, 137 巻 pp.452-458,2017, 査読有

③井上 淳, 亀井 隆夫, 梶谷 勇, 初雁 卓郎, 三宅 徳久 “福祉機器の実用化とイノベーションに向けて-Towards Innovation and Practical Use for Assistive Devices-” ライフサポート学会誌 28(4), pp.118-128,2017,査読無

④Jun Inoue, Takuma Miyano, Izumi Hanazaki “Study of Periodic Segments in Analysis of the Skills in Periodic Motions Using Bayesian Networks” Proceedings of The 47th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp.287-292(2015) (Selected Proceedings),査読有

[学会発表] (計34件)

①Jun Inoue “Construction of muscle activity model based on Bayesian network and kinematic evaluation” The 36th JSST Annual International Conference on Simulation, 2017

②Toshimitu Iioka, Jun Inoue, Izumi Hanazaki, Kazuya Kawamura, Yoshifumi Kijima, Toshiro Fujimoto “Evaluation of the Connection of Walking Training Apparatus for Crutch-Walk Training” The 39th Annual International Conference of the IEEE 2017

③林敏熙, 井上淳, 花崎泉 “下肢装具の足底部の違いによる歩行の分析” LIFE2017 2017

[図書] (計1件)

“田村俊世, 井上淳, 川村和也, 安藤健” 医工連携による医療福祉機器実用化の問題点とその解決法 電気学会技術報告誌 (電気学会)(1398) 2017 pp.1-25

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 杖歩行練習機

発明者: 井上 淳, 川村和也, 花崎泉, 藤元登四郎, 貴嶋芳文

権利者: 東京電機大学, 千葉大学

種類: 特開

番号: 特開 2016-152858

出願年月日: 2015 年

国内外の別: 国内

[その他]

報道関連 (計14件)

① “生きるを伝える「想いをかたちに」” テレビ東京 8月27日放送

② “片手でつえ歩行訓練機—自らも麻痺の大学助教開発—” 読売新聞平成28年6月6日

③ “歩行リハビリ一人でも—東京電機大が補助器—” 日経産業新聞平成27年12月17日

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 淳 (INOUE, Jun)

東京電機大学・未来科学部・助教

研究者番号: 20609284