

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：52601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K23279

研究課題名（和文）ヒト腕ダイナミクスに基づく運動パフォーマンスの評価手法の提案

研究課題名（英文）Evaluation of human motor performance based on arm dynamics

研究代表者

武田 美咲（Takeda, Misaki）

東京工業高等専門学校・電気工学科・助教

研究者番号：10879828

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ヒト腕動力学モデルに基づき運動パフォーマンスを定量評価する手法を開発することを目指し2つの基礎検討を行った。以下に各成果を示す。

- (1) 感度解析による速度-精度特性への動力学的要因の影響度の調査：上肢動力学に基づく速度と精度の計算論モデルの感度解析を行った。その結果、同じ速度条件でも質量が増加するに伴い手先終端誤差が大きくなること、運動方向によって手先終端のばらつき方が大きく異なることを示した。
- (2) 行動実験による感度解析結果の検証：運動軌道を変化させたときの数値計算結果と行動実験結果を比較した。その結果、肘関節を大きく動かす方向における手先終端誤差の信頼楕円の角度は近い値となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、運動制御の原理・原則である速度と精度のトレード・オフの観点からヒト腕ダイナミクスに基づき到達運動におけるパフォーマンスを定量的に評価できる技術の開発を目指していくつかの基礎検討を行ってきた。本技術により、どのような条件下であれば高い運動パフォーマンスが得られるのかをヒト上肢動力学（姿勢、筋骨格系、および関節トルク）に基づき詳細に分析することができる。将来的には、健康寿命の延伸およびスポーツを通じた健康増進につながる技術となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：We have conducted the following two basic studies with the aim of developing a method for quantitatively evaluating motor performance based on the human arm dynamics model. The research findings are shown below: (1) Investigation of the effect of arm dynamics parameters on speed-accuracy characteristics by sensitivity analysis. Sensitivity analysis of a computational model of speed-accuracy relationships based on human arm dynamics was performed. The results showed that the hand endpoint error increased as the arm mass increased even under the same velocity condition, and the hand endpoint variabilities varied depending on the movement direction. (2) Verification of sensitivity analysis results by behavioral experiments. Numerical calculation results and the behavioral experiment results in various motor patterns were compared. The results showed that the angle of the confidence ellipse of the hand endpoint error in the direction of movement of the elbow joint was close.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：運動方向 ダイナミクス パフォーマンス 速度と精度のトレード・オフ 到達運動 終端誤差 信頼楕円

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

健康寿命の延伸およびスポーツを通じた健康増進の実現に向けて、人の運動パフォーマンスを定量的に把握する技術が必要である。しかし、これまでの運動パフォーマンスの評価手法は身体のダイナミクスに基づき評価できる手法ではなかったため、被検者の運動時の姿勢、筋骨格系、および関節トルクに基づく詳細な分析はできなかった。本研究では、運動制御の原理・原則である速度と精度のトレード・オフの観点から、ヒト腕ダイナミクスに基づき到達運動におけるパフォーマンスを定量評価できる手法を開発する。本手法は、事前のパラメータ推定さえしてしまえば簡易的に評価可能である。さらに、腕のダイナミクスに基づいているため、どのような物理的要因によって運動パフォーマンスが低下もしくは向上するののかという詳細な分析が可能になると考えられる。本技術が実現すれば、将来的にスポーツトレーニングやリハビリテーション等の分野で貢献することが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヒト腕ダイナミクスに基づき運動パフォーマンスを定量評価できる手法を開発することである。申請者らの提案する手法では、事前のパラメータ推定さえしてしまえば、運動パフォーマンスの簡易評価が可能である。パラメータ推定のためには、運動中の関節位置データを取得する必要があるが、ビデオカメラで撮影した動画データから関節位置を推定する手法を用いれば、自宅等の屋内で手軽に運動パフォーマンス評価が可能となる。本手法は関節位置を計測するだけであるため、被験者の負担も小さく、大人数のスクリーニングにも適していると考えられる。本手法の最大のメリットは、腕ダイナミクスに基づいていることである。例えば、どのような物理的要因によって運動パフォーマンスが低下したのか？運動中にどのような姿勢をとれば運動パフォーマンスをより向上できるか？という詳細な追加分析が可能になると考えられる。

3. 研究の方法

以下の3つのステップにより、動力学パラメータの速度 - 精度特性への影響を詳細に調べること、どのような条件下で高い運動パフォーマンスが得られるのかをヒト上肢動力学(姿勢、筋骨格系、および関節トルク)に基づき明らかにすることを旨とする。

1. 感度解析による速度 - 精度特性への動力学的要因の影響度の検証：上肢動力学に基づく運動時間と空間末端誤差の関係を表すモデルの感度解析により、関係する動力学パラメータを変化させ、速度 - 精度特性に与える影響を調査する。動力学パラメータには、肩関節および肘関節の軌道、速度、加速度(運動学的な変量)と、上肢(上腕と前腕)の長さ、重心 - 関節間距離、質量、慣性モーメント、粘性係数(動力学的な物理量)および運動指令に混入すると考えられる信号依存ノイズの大きさを決める係数がある。信号依存ノイズの大きさを決める係数に関しては、すでに導出したモデルの数式上から、係数を大きくすればするほど空間誤差が大きくなることは明らかである。しかし、その他の非線形な動力学的要因が速度と精度の関係にどのような影響を与え得るのかは明らかでない。したがって、感度解析により検証する。

2. 行動実験による感度解析シミュレーション結果の検証：感度解析シミュレーションにより明らかになったことが実際のヒトの運動でも観察されるかどうかを行動実験により検証する。例えば、どの軌道をとればより高い運動パフォーマンスが得られるかを感度解析により分析し、実際に被験者にその軌道をとってもらった際に最良の運動パフォーマンスとなるかを検証する。行動実験では、DeepLabCut というディープラーニングを用いたモーショントラッキング技術を用いて被験者の到達運動時の関節位置計測を行う。したがって、モーショントラッキングに使用するカメラとプログラムを動作させるための高スペックな GPU ワークステーションを購入することで研究を円滑に進める。計測した位置データは MATLAB を用いて解析を行う。今年度新設する実験室においてヒト到達運動実験が行えるように、実験作業台と椅子を購入する。

3. ヒト上肢動力学に基づく新しい運動パフォーマンス評価技術の開発：従来の運動パフォーマンスの評価手法は、評価項目が多く有資格者による測定や専門的な計測器具が必要であるなどいくつかの制限があった。これでは自宅で個人が使用することは困難である上、大人数のスクリーニングにも適さない。そこで、上肢動力学パラメータを入力とし、速度 - 精度特性を出力とした数理モデルを活用することで、運動パフォーマンスが簡易的に評価可能なアプリケーションを開発する。始点・終点座標などの空間的なタスク条件および上肢動力学パラメータが既知の場合、ある運動時間変化させたときの手先末端誤差がモデルにより予測できれば、速度と精度の観点から運動パフォーマンスを評価できる。

4. 研究成果

本研究では、ヒト腕ダイナミクスに基づき運動パフォーマンスを定量評価できる手法を開発することを目指し、主に以下の2つの研究課題を推進してきた。

1. 感度解析による速度 - 精度特性への動力学的要因の影響度の検証：上肢動力学に基づく運動

時間と空間終端誤差の関係を表すモデルの感度解析により、腕の動力学モデルのパラメータである上腕と前腕の質量および運動軌道が変化した場合に速度と精度の関係がどのように変化するかを調査した。その結果、同じ速度条件でも、質量が増加するに伴い手先終端誤差が大きくなること、運動方向によって手先終端のばらつき方が大きく異なることを示した。なお、本年度は腕の質量密度から質量、慣性モーメントおよび重心位置を求める物理計算式を用いることで、より正確な動力学モデルのパラメータの推定方法を検討した。物理計算式を用いることにより、腕の長さ以外のパラメータにも個人差が反映できると考えている。

2. 行動実験による感度解析シミュレーション結果の検証：感度解析シミュレーションにより明らかになったことが実際のヒトの運動でも観察されるかどうかを行動実験により検証した。今回は、運動軌道を 8 パターン変化させたときのシミュレーション結果と行動実験結果を比較した。その結果、肘関節を大きく動かす運動方向における手先終端誤差の信頼楕円の角度は近い値となったが、肩関節を大きく動かす運動方向においては一概には言えなかった。今後は、より詳細な分析を行い、上腕と前腕の質量をそれぞれ変化させた場合にどうなるかも行動実験により調査していく必要がある。なお、初年度は DeepLabCut というディープラーニングによるモーショントラッキング技術によりマーカーレスで被験者の身体の動きを計測できる環境を構築した。今後は DeepLabCut を運動パフォーマンス評価アプリケーションに実装する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Misaki Takeda
2. 発表標題 Extension of the Speed-Accuracy Trade-Off Model Based on Human Arm Dynamics to a Three-Dimensional Space
3. 学会等名 44th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Ohmi and Misaki Takeda
2. 発表標題 Motor Learning in Aiming Movements Using Computer Mouse
3. 学会等名 6th STI-Gigaku 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusei Minowa, Keisuke Saito, Isao Nambu, Yasuhiro Wada and Misaki Takeda
2. 発表標題 Revealing the cause of motor performance decline leads to extension of healthy life span
3. 学会等名 6th STI-Gigaku 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------