

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月13日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12988

研究課題名(和文) テイラーメイドトレーニングのための運動学習パラメータ測定プラットフォームの開発

研究課題名(英文) Development of Portable Motor Learning Laboratory (PoMLab) for a tailor-made training

研究代表者

進矢 正宏 (Shinya, Masahiro)

広島大学・総合科学研究科・准教授

研究者番号：90733452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スポーツやリハビリテーションの現場で簡便にアスリートの個性を定量化可能なタブレット端末用アプリケーション(PoMLab)を開発し、15分程度で簡便に計測することを可能とした。高齢者・脳卒中患者・パーキンソン病患者を対象とした実験を行い、数理モデルを用いてデータを解析した結果、無意識的な運動学習能力は加齢や認知能力の低下には影響されないこと、入院時の運動学習速度と脳卒中からの回復量との間に相関がみられること、パーキンソン病患者は大きな誤差修正を行うこと、が示唆された。この成果は国際論文誌で発表された他、国際学会(SfN)のHot topicにも選ばれるなど、高い評価を受けた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アスリートのトレーニングやリハビリテーションは、中枢神経系が担う運動学習能力を基盤としている。本研究では、タブレット端末を用いて15分程度で測定を行えるようなアプリケーション(PoMLab)を開発することによって、いつでもどこでも簡便に運動学習能力を測定できるようにした。脳卒中患者を対象とした研究結果は、運動学習能力とリハビリテーション成果の相関関係を示唆しており、臨床的にも興味深いものであった。これらの成果は、個人差を反映したトレーニングやリハビリテーションの開発に繋がるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a Portable Motor Learning Laboratory (we named it PoMLab) where motor learning experiments are easily performed in 15 minutes by using a tablet device. We conducted a visuomotor adaptation experiment in the young adult, elderly adult, stroke patients, and patients with Parkinson disease. The recorded data were analyzed by using a mathematical model to obtain motor learning parameters. The results show that 1) implicit motor adaptation ability is not affected by aging or cognitive functions, 2) there is a correlation between the motor learning ability and the result of rehabilitation in the stroke patients, and 3) implicit motor adaptation is larger but not better in the patients with Parkinson disease. These results were published as a scientific paper and awarded as a Hot topic (SfN 2016).

研究分野：運動制御

キーワード：運動学習 高齢者 脳卒中 パーキンソン病 リハビリテーション スマートデバイスアプリ

1. 研究開始当初の背景

アスリートにおける運動の上達速度や、脳卒中やパーキンソン病患者のリハビリテーションの現場では、各個人の運動学習過程の個性を考慮した最適な練習方法が望まれている。体育学では、スポーツに即したフィールド実験を行うため、応用可能性が高いものの、個性は競技毎、動作毎にコーチの経験や定性的な見立てで判断され、普遍的な指標はなく、更に見誤られるリスクが懸念される。一方、神経科学では、腕の運動など単純な運動による実験室実験に基づき、数理モデルを用いて課題間で共通の普遍的な個性の定量化に成功している (Wu, 2014, Nat Neurosci.; Choi, 2014, JNS)。しかしながら、大型な実験機材が必要なために実験室への移動という負担は避けられず、その負担故にアスリート達の個性を定量することは避けられてきたため、定量された個性がスポーツに応用できる知見か否か定かでない。すなわち、神経科学と体育学の融合により両者の利点を合わせることで、スポーツやリハビリテーションの現場で運動学習の個性を定量することが期待できる。

各種スポーツにおけるアスリートのトレーニングや、高齢者の転倒防止トレーニング、脳卒中やパーキンソン病患者のリハビリテーションといったものは、全て、中枢神経系が担う運動学習能力を基盤としている。我々は脳内に構築された身体モデル(内部モデル)に基づき、様々な運動の結果のシミュレーションを行い、適切な運動指令を選択していると考えられている (Wolpert et al., 1998, TICS)。このような運動学習の過程を研究するために、神経科学分野では、腕の運動など単純な運動において、予測した結果と実際の結果との誤差(感覚予測誤差)を生じさせる外乱実験系を行い、得られた結果を、数理モデルを用いて解析することで、運動学習の定量化に成功してきた (Krakauer et al., 2000, JNS; Wu, 2014, Nat Neurosci.; Choi, 2014, JNS)。本研究では、感覚予測誤差に基づく運動学習実験系を、タブレット端末上に実装することによって、いつでも・どこでも・簡単に、個人個人の運動学習能力を測定することが可能なプラットフォームを開発した。

2. 研究の目的

本研究では、運動学習実験をいつでもどこでも簡単に実施できるタブレット端末用アプリケーションを開発することを第一の目的とした。さらに、そのアプリケーションを用いて、高齢者・脳卒中患者・パーキンソン病患者の運動学習能力を測定し、個人差や患者群間の比較を行うことを第二の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、本研究では無料で利用できるゲーム開発エンジン Unity3D を用いて、スマートデバイス(スマートフォン・タブレット端末等)上で運動学習実験を行う新たなアプリケーション、Portable Motor Learning Laboratory (PoMLab) を開発した。PoMLab では、被験者はタブレット端末を傾げることで、画面上のカーソルを操り、そのカーソルを画面上に提示されたターゲットに当てるという運動制御課題を行う。外乱なしの条件では、端末をたとえば前方に傾けると、カーソルも前方に動くという対応関係がある。視覚回転外乱として、端末を傾げる向きと、カーソルが移動する方向との間に、人為的なずれを設定することが可能で、たとえば +5° の回転外乱が加わる環境の下では、前方にあるターゲットにカーソルを当てるためには、右ななめ 5° に端末を傾げる必要がある。本研究において、単に「外乱」といった場合、このような視覚回転外乱のことを指す。このような外乱に曝露された際、被験者は感覚予測誤差を経験することとなり、その誤差を修正する形で運動学習が行われることとなる。

PoMLab を用いた計測の妥当性を検証するために、3つの実験を行った。第一の実験では、22名の被験者を用いて、外乱量が1試行に1度ずつ漸増する実験と、外乱量が急激に15度増加する実験を行った。得られたデータを、状態空間モデルを用いて数理的に解析し、無意識的な運動適応能力の指標として、保持率と学習率を推定した。推定された保持率と学習率は、先行研究において報告されている値と比較された。第二の実験では、30名の被験者を対象に、大学の体育の授業に PoMLab を導入し、実験室環境に限らずスポーツやリハビリテーションの現場でも計測可能かどうかを検討した。第三の実験では、14名の被験者を対象に、マニピュラタムと PoMLab それぞれを用いて、運動学習実験を行い、従来の神経科学研究と同様の計測が行えるかどうかを検討した。

以上のような実験により PoMLab の妥当性を示した後は、そのアプリを用いて、若年健常者・高齢者・脳卒中患者・パーキンソン病患者を対象に運動学習実験を行い、運動学習パラメータを群間で比較した。また、リハビリテーション成果に個人差がしやすい脳卒中リハビリテーション患者を対象として、運動学習パラメータと Fugl-Meyer 評価指数の回復量との相関を算出した。また、各種運動学習パラメータを、若年健常者・高齢者・脳卒中患者・パーキンソン病患者との間で比較した。

4. 研究成果

タブレット端末用アプリケーション(PoMLab)を開発し、安価に、被験者の都合が良い時間・場所にて、実験室への移動という負担を強いることなく、15分程度で運動学習能力を簡便に計測することを可能とした(Takiyama & Shinya, 2016, PLoS One)。PoMLabで得られたデータは、運動学習実験データを説明するために用いられる状態空間モデルによって説明できた。また、ほとんどの被験者は、PoMLabによる漸増する外乱に気づくことはなかった。大学の体育の授業で行った測定でも、実験室実験と同様に、測定結果を状態空間モデルによって記述可能であったことから、PoMLabは必ずしも理想的な環境とは言えない現場でも、ある程度統制された運動学習実験が行えるということが明らかとなった。PoMLabによる測定とマニピュラタムによる測定を比較した実験の結果、学習率や保持率の推定値の信頼区間はPoMLab実験の方が大きかった。この結果は、PoMLabによる計測はマニピュラタムによる計測と比較すると、やや精度に劣ることを意味しているが、定性的に大きな差は見られなかった。これら一連の実験により、いつでも・どこでも・簡単に運動学習を計測できる環境としてのPoMLabの妥当性が示された(Takiyama and Shinya, PLoS One, 2016)。この成果は国際論文誌で発表された他、国際学会(SfN)のHot topicにも選ばれるなど、高い評価を受けた。

続いて、PoMLabを用いた高齢者・脳卒中患者・パーキンソン病患者を対象とした実験を行い、数理モデルを用いてデータを解析した結果、いずれの被験者群においても、PoMLabにおいて提示された視覚運動外乱に気づくことなく、無意識的な誤差修正と運動学習が行われるということが確認された。認知能力(臨床スコアとして評価したMMSE)と、潜在的運動学習能力とは相関がないことが確認された。脳卒中後のリハビリテーション患者を対象に、入院時の運動学習速度とリハビリテーションにおける回復量(FIMの回復量)との間に相関がみられることを見いだした。この結果は、入院時の運動学習速度が速い患者ほど、一般的な生活に必要な運動能力の回復の度合いが大きいことを示している。PoMLabによる運動学習を被験者群間で比較したところ、高齢者統制群(足の骨折等、上肢の運動器障害や神経疾患とは無関係の理由により入院している患者)と若年者との間では、運動学習効果に有意な差は見られなかった。パーキンソン病の患者群では、若年群や高齢統制群と比較して、運動学習効果が有意に大きく、感覚予測誤差による内部モデルの修正のゲインが高いことを示唆する結果であった。このような、様々な疾患の患者群のデータを臨床現場で計測し比較するということは、本研究により開発されたPoMLabの簡便さによってはじめて可能になったことであり、今後も無意識的な運動学習に関する興味深いデータが得られることが期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

1. Takiyama K., Shinya M. (2016). Development of a Portable Motor Learning Laboratory (PoMLab). PLoS One. 2016 Jun 27;11(6):e0157588. 査読有
2. Ota, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2016). Sub-optimality in motor planning is retained throughout 9 days practice of 2250 trials. Scientific Reports. 2016 Nov 6: 37181. doi: 10.1038/srep37181 査読有
3. 瀧山 健, 進矢 正宏 (2016) 「いつでもどこでも運動学習能力を計測できるアプリ PoMLabの開発」 神経回路学会誌 23巻3号 112-122頁 DOI <https://doi.org/10.3902/jnns.23.112> 査読無

[学会発表](計 7 件)

1. 進矢正宏 「ヒトの姿勢・歩行の神経制御」 第23回日本基礎理学療法学会学術大会 京都テルサ(京都市南区) 2018年12月15日
2. Shinya M., Takiyama K., Sakurada T., Muramatsu S., Ogihara S., Sato T., Komatsu T. “Application of Portable Motor learning Laboratory (PoMLab): cross-syndrome comparison of implicit visuomotor adaptation among patients with stroke and Parkinson’s disease.” November-11-15, 2017, Washington Convention Center, Washington DC, USA. Society for Neuroscience (SfN2017), Poster presentation
3. 進矢 正宏, 瀧山 健, 櫻田 武, 村松 慎一 「運動学習測定アプリケーション PoMLabによるパーキンソン病患者の潜在的運動学習測定」 第72回日本体力医学会大会 松山大学 愛媛県松山市 2017年9月16-18日(発表9/18)
4. 進矢 正宏, 瀧山 健, 櫻田 武, 村松 慎一, 小松 泰喜 “Application of Portable Motor Learning Laboratory (PoMLab) - cross-syndrome study, cross-day study, and correlation between motor adaptation ability and clinical score” 第11回MC研

- 研究会 中京大学名古屋キャンパス、愛知県名古屋市 2017年8月24-26日(発表8/25)
5. Shinya M., Takiyama K. "A Portable Motor Learning Laboratory (PoMLab)" Nov-12-16, 2016, San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA. Society for Neuroscience (SfN 2016), Poster presentation, selected as a "Hot Topic" of SfN2016.
 6. 進矢 正宏、瀧山 健 「運動学習測定アプリケーション PoMLab の開発」 第71回日本体力医学会大会 盛岡市民文化ホール 岩手県盛岡市 2016年9月23-25日
 7. 進矢 正宏、瀧山 健、佐藤 剛章、小松 泰喜 「いつでもどこでも運動学習測定 PoMLab の開発、評価、そして現場での測定」 2016年MC研究会 慶応義塾大学日吉キャンパス 横浜市港北区 2016年9月1-3日

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 瀧山 健

ローマ字氏名： **Takiyama Ken**

所属研究機関名： 東京農工大学

部局名： 工学(系)研究科(研究院)

職名： 准教授

研究者番号(8桁)： **40725933**

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。