

氏名（本籍）	矢吹 惇（福島県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第 37 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 16 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	保健医療科学研究科
学位論文題目	運動の円滑性と運動学習の関係に関する研究

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（保健学）	浅川 育世
副査	茨城県立医療大学准教授	博士（ヒューマン・ケア科学）	藤田 好彦
副査	茨城県立医療大学准教授	博士（ヒューマン・ケア科学）	松田 智行
審査員	文教学院大学教授	博士（理学療法学）	望月 久

論文の内容の要旨

理学療法において、運動学習の効率を高めることは、患者の基本動作や歩行の再獲得のために重要である。従来の運動学習研究では運動学習を評価する方法として、主に目標からの誤差の指標が用いられてきた。目標からの誤差の指標は、学習者が目標とする運動を達成できたかを判定するための正確性や一貫性を表す。しかし、運動学習の結果として生じる運動の効率化を評価するためには、目標から誤差の変化だけでなく、運動の円滑性のような運動の質的側面にも着目して評価する必要がある。臨床場面では、運動の円滑性を評価する方法として、観察による動作分析が用いられている。しかし、観察による動作分析は主観的評価のため、個人の経験や知識により得られる情報が異なる。運動学習における運動の円滑性の変化は、運動学習の効率が向上することや学習者の努力の程度が減少することを示すことから、運動の円滑性を定量的に評価することができれば、運動学習過程をより客観的、多面的に評価することができると考えられる。運動の円滑性を定量的に評価する方法として、動作中の加速度変化におけるパワースペクトル解析結果の平均情報量（エントロピー）がある。動作中の加速度変化におけるパワースペクトル解析結果を確率曲線に見立て、その情報量が生じる事象について得られる期待値をエントロピーとして算出することで、運動の円滑性を客観的に評価することができる。

そこで本研究では、運動学習の評価指標である絶対誤差や変動誤差に加えて、運動の円滑性の指標としてエントロピーを計測することで、運動学習過程において、誤差の変化と

運動の円滑性の変化がどのように関連しているのかを明らかにすることを目的とした。

第1研究では、健常成人14名（平均年齢22.0 ± 1.2歳）を対象とした。学習課題は、右歩幅を学習者の下肢長の70%、左歩幅を下肢長の40%となるように非対称な歩幅によるトレッドミル上での歩幅調節課題とした。課題遂行時間は30秒とし、トレッドミルの速度は4.0km/hとした。また、学習者の第7頸椎棘突起部と第3腰椎棘突起部に3軸加速度計を取り付け、トレッドミル歩行中の加速度変化を計測した。学習条件として、フィードバック条件とコントロール条件の2条件を設定し、対象者を各条件に無作為に分類した。フィードバック条件では、1ブロックを5試行として、第1試行と第4試行の試行中の様子を各試行終了後に動画を用いてフィードバックした。コントロール条件には試行結果に関する情報は付与しなかった。測定スケジュールはプレテスト、短期保持テスト、長期保持テストを各1ブロック、練習ブロックを3ブロックとした。また、練習ブロック終了後、学習者の課題を行うことによる主観的作業負担感を計測するため、NASA-Task Load Index (NASA-TLX)による質問紙評価を行った。NASA-TLXは精神的要求、身体的要求、時間的切迫感、作業成績、努力、不満、総合得点の合計7項目の得点を算出した。運動学習効果の指標は、絶対誤差と変動誤差を用いた。絶対誤差は運動の正確性、変動誤差は運動の一貫性を表す。運動の円滑性の指標として、エントロピーを算出した。エントロピーは、第7頸椎棘突起部と第3腰椎棘突起部に取り付けられた3軸加速度計の各方向（前後・左右・鉛直）の合計6方向のエントロピーを算出した。統計解析は、誤差とエントロピーを従属変数、各時期（練習・テスト）と条件を要因とした反復測定による二元配置分散分析及び下位検定を行った。主観的作業負担感はいずれの項目に対しても、独立したサンプルのt検定を行った。

第2研究では、健常成人12名（平均年齢22.2 ± 1.6歳）を対象とした。学習課題として、起立着座動作中の両下肢への荷重量調整課題を行った。学習者は40cm高のいすに着座した状態から右下肢を床反力計の上、左下肢を5cm台の上に置いた状態を開始肢位とした。学習者には、非対称な姿勢から両下肢への均等荷重を行いながらの起立着座動作が要請された。1試行は5秒間で1回の起立着座動作を連続4回とした。1回の起立着座動作のインターバルは5秒間に設定した。測定スケジュールは、プレテストと短期保持テスト、長期保持テストを各1ブロック、1日目の練習ブロックを5ブロック、2日目の練習ブロックを3ブロックとした。主観的作業負担感の計測は1日目と2日目の練習ブロック後に行った。加速度計の取り付け位置とフィードバック付与方法、運動学習効果の指標および円滑性の指標、主観的作業負担感の指標は第1研究と同様とした。統計解析は、誤差とエントロピーを従属変数、各時期（練習・テスト）を要因とした一元配置分散分析及び下位検定を行った。また、主観的作業負担感はいずれの項目に対しても、対応のあるt検定を行った。なお本研究は、本学倫理委員会の承認を受けて実施した（承認番号854・896）。

第1研究では、絶対誤差及び変動誤差において、一部の結果は保持テストにおいて有意な減少を示したが、運動の円滑性はプレテストから練習ブロック及び保持テストにかけて、エントロピーが増加し、円滑性の低下を認めた。また、主観的作業負担感はいずれの条件とも高い得点を示した。第2研究では、プレテストから練習ブロック及び保持テストにかけて、絶対誤差と変動誤差ともに減少が認められた。運動の円滑性は、プレテストか

ら長期保持テストにかけてエントロピーの低下を示し、運動の円滑性の向上が認められた。また、主観的作業負担感の努力の項目において、1日目から2日目にかけて得点の減少が認められ、学習者の努力の減少が認められた。

第1研究の結果から、第1研究で用いた運動課題が複雑であったため、課題難易度が高かったことが考えられる。したがって、練習中の運動技能の向上が不十分となり、運動が安定化せず、運動の円滑性の低下が生じたと考えられる。第2研究では、第2研究の課題難易度が適切であったため、練習中の運動技能の向上したことで、学習者の荷重感覚をはじめとした学習者の運動感覚が形成され、運動の自動化が認められたと考えられる。さらに、運動の自動化により、学習者の努力の程度が減少し、運動の円滑性が向上したと考えられる。

本研究の今後の課題としては、複雑な歩行課題では、練習によるパフォーマンスの向上及びパフォーマンスの保持が不十分となり、運動の円滑性が向上していくことを明らかにできなかったため、運動学習の効率化が生じなかった要因を明らかにし、新奇の運動課題を用いて、運動の円滑性の変化を明らかにする必要がある。また、本研究では基礎研究として、健常成人を対象に行ったため、患者や高齢者を対象として、本研究を発展させていくことが必要と考える。

本研究の結果から、運動学習が十分に生起する場合には、学習過程における誤差の変化と運動の円滑性の変化が異なるタイミングで生じることが明らかとなった。運動学習の成果をより適切に評価するために、目標からの誤差の指標に加えて、動作の円滑性のような運動の質的側面を定量的に評価していく必要性が示唆された。

審査の結果の要旨

本論文の審査は、事前に提出された論文をもとに、令和3年1月29日に公開の場（オンラインにて実施）にて研究発表と質疑応答を行った後に、審査員4名によって行われた。審査は、本研究科の指針に従い、創造性・新規性、専門領域の関連性とインパクト、論理性、信頼性・妥当性、論文の表現力、倫理的配慮の観点から協議された。以下に審査の結果の要旨を述べる。

本研究は運動学習過程において運動の円滑性を量的に測定し、正確さの指標との相違を明らかにすることを目的とした独創的な研究である。従来の理学療法においては主に円滑性の評価は主観的なものであったが、円滑性について高額な機器を用いず、安価で取り扱いの容易な加速度計を用い、エントロピーを算出し円滑性を量的な指標でとらえることによって科学的に分析している。理学療法の臨床場面での実用性、理学療法介入におけるエビデンスの確立といった点において重要な研究である。最終的に運動学習の過程で運動の正確性の獲得と円滑性の獲得について相違があることを明らかにしたことは、理学療法介入の上でも意味深い知見を得ることができた。

本研究の構成は2つの研究で構築され、第1研究では非対称な歩行様式に対応する歩幅調整課題を用い、第2研究では左右の床面の高さが異なる環境での立ち上がり動作による荷重量調整課題を用いている。2つの異なる課題の運動学習経過を運動の正確性（絶

対誤差)、運動の一貫性 (変動誤差)、運動の円滑性 (エントロピー)、主観的作業負担感をパラメータとして測定し、総合的に運動学習における運動の正確性と円滑性の差異を抽出している。第 1 研究で得られた課題を第 2 研究で補足する形で研究が進められており、論理的に研究が進められているが、第 1 研究と第 2 研究の課題難易度については差が大きく、課題難易度の高い課題に対し、運動学習の方法を変え、運動学習過程での運動の正確性・円滑性について検討することは今後の課題である。

本研究に用いた各パラメータについては先行研究によって信頼性・妥当性の担保されたものが用いられており、統計的な解析方法についても妥当な処理がなされていた。測定条件も明示されており、再現性も担保されている。

論文は、先行研究のレビューがしっかりとなされ、考察についても飛躍することなく丁寧に進められていた。最終審査のプレゼンテーションも図表は分かりやすく、効果的に示され、研究の全体像をわかりやすく伝えることができていた。

全ての研究は本学の倫理委員会の承認を受けたうえで実施されており、十分な倫理的な配慮もなされている。

以上の協議結果を総括し、審査委員全員の合意のもとに、本論文が博士論文として適切であり、博士の学位に相当するという評価に至った。