

課題番号 57

運動感覚性ワーキングメモリに運動自由度 および加齢が及ぼす影響

〔1〕組織

代表者：田中 尚文

(埼玉医科大学国際医療センター)

対応者：杉浦 元亮

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：戸澤 愛鈴

(東千葉メディカルセンター)

糟谷 昌志

(宮城大学事業構想学部)

王 尹容

(東北福祉大学健康科学部)

研究費：物件費 130,000 円

〔2〕研究経過

日常生活動作のほとんどは、単関節の一つの運動だけで行うことはできず、複合動作や系列動作である。脳卒中片麻痺患者では、麻痺側上下肢が十分に使用できないため、起き上がり動作などの日常生活動作を自立して行うために、麻痺側上下肢の運動機能の回復だけでなく、非麻痺側上下肢を主に使用する日常生活動作を習得する必要がある、リハビリテーション治療では複合的な系列動作の運動学習が行われる。運動に関するワーキングメモリは、運動学習の成果を左右する主要な認知ドメインである。療法士は患者の運動学習を促すために言語情報や視覚情報だけでなく、運動感覚情報も用いて患者に教示やフィードバックを与えている。運動に関する感覚情報としては視覚情報と運動感覚情報が挙げられ、それぞれの感覚情報を扱うワーキングメモリが存在すると想定される。われわれは、運動感覚情報を扱うワーキングメモリを神経心理学的に評価する目的で、被験者が自らの身体を見ない状態で、つまり運動に関する視覚情報が遮断された状態で、運動感覚情報のみで教示された運動系列を教示後に再現する運動感覚性ワーキングメモリ課題を考案した。

運動学習においては、系列動作を構成する運動の学習する運動の自由度が高いと難易度が高くなることが知られているが、運動に関するワーキングメモリの

神経基盤の運動自由度による変容や加齢が及ぼす影響について検討した報告は見あたらない。本研究の目的は、運動感覚性ワーキングメモリにおける運動自由度による脳内機構の変容とその加齢変化を機能的MRI実験により明らかにすることである。

2023年度には、機能的MRI実験において被験者に課す、運動に関するワーキングメモリ課題の形式を遅延マッチング課題 (delayed match-to-sample task) に決定した。この課題では、被験者にコマ撮り動画を見せ、運動シークエンスを視覚的情報によって教示/提示する条件、あるいは実験者が被験者の上肢を他動的に動かし、運動シークエンスを運動感覚的情報によって教示/提示する条件の2つの条件を設定した。課題では、教示終了時から4～8秒後に再び運動を提示し、教示された運動と順番も一致しているかどうか、被験者に左手でボタンを押して回答するように指示することとした。また、符号化時には、被験者には声を出さずに「あいうえお」を繰り返し想起するように指示し、構音抑制を課すこととした。そして、健常高齢者において単関節運動6個で構成した運動シークエンスを用いたワーキングメモリ課題の記憶負荷 (memory load) 量を検討した。2024年度には2関節運動で構成する運動シークエンスを扱うワーキングメモリを評価する課題を設計し、その成績と単関節運動で構成するワーキングメモリ課題の成績を比較する行動実験の研究プロトコルを決定し、健常高齢者を対象として実施した。その結果、健常高齢者において2関節運動課題の難易度は単関節運動課題よりも高いことを確認した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

今年度は、単関節運動および2関節運動で構成する運動シークエンスの運動感覚情報を扱うワーキングメモリに加齢が及ぼす影響を検討する研究プロトコルについて、受け入れ教員と対面打ち合わせにて2024年4月25日に加齢医学研究所スマート・エイジング棟にて議論した。その議論をもとに、運動シークエンスを構成する2関節運動の種類と数を決定し、健常高齢者を対象とした行動実験を実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

運動に関するワーキングメモリ課題に用いる、単関節運動で構成する運動シーケンスは、前年度と同様に、手関節掌屈、手関節背屈、前腕回外、前腕回内、肘屈曲、肩関節外旋、肩関節内旋の7個で構成することとした。2関節運動で構成する運動シーケンスには、肩関節外旋、肩関節内旋、肘関節屈曲のいずれか一つと、前腕回外、前腕回内、手関節掌屈、手関節背屈のいずれか一つを選んで組み合わせた2関節運動の中から7個を選定した。選定に当たっては、MRI実験でも実験者が運動感覚情報を用いて被験者に教示や提示ができること、そして運動方向の対称性が単関節運動課題と同様になることを考慮した。

健常若年者8人(年齢 25 ± 2 歳、女性4人、利き手は全員右)を対象として、単関節運動および2関節運動で構成した運動シーケンスの運動感覚情報を扱うワーキングメモリ課題を上記の設定にて実施した。

被験者には右上肢の運動シーケンスを運動感覚情報にて教示した後に、被験者自ら再現して回答する課題を課した。課題に用いる運動シーケンスのパターンは構成する運動の数を2~8個まで2系列用意し、パターン数が同じ2つの課題のうち1つ以上正解すれば、パターン数を1つ増やした課題に移行することを繰り返し、2つとも不正解した時点で課題を終了した。各課題の実施前には、それぞれの運動シーケンスを構成する7個の運動を被験者に一つずつ教示して被験者が正しく再現できることを確認した。本課題を実施する際には、被験者が自分の右上肢を見ることができないように設定した。また符号化時には、被験者には声を出さずに「あいうえお」を繰り返し想起する構音抑制を課した。

単関節運動の運動シーケンスを用いたワーキングメモリ課題に続いて、2関節運動の運動シーケンスを用いたワーキングメモリ課題を実施し、それぞれのワーキングメモリ課題の成績として正答数(スコア)と正解した運動シーケンスを構成する運動の最大個数(スパン数)を記録した。両課題の成績の比較に

はWilcoxon signed-rank testを用い、有意水準は0.05とした。

その結果、単関節運動課題および2関節運動課題のスコア(中央値[第1-第3四分位数])は、それぞれ4.0[2.8-4.0]、2.0[1.0-3.0]であり、2関節運動課題のスコアは、単関節運動課題よりも有意に小さかった。単関節運動課題および2関節運動課題のスパン数は、それぞれ3.5[2.8-4.0]、2.0[2.0-3.0]であり、両者の間に有意差を認めなかった(図)。

以上の行動実験の結果より、健常若年者において2関節運動課題の難易度は単関節運動課題よりも高いことが示されたが、運動感覚情報を扱うワーキングメモリの容量は運動シーケンスの運動自由度を1から2に増やすと有意な低下を認めなかった。今回の結果と昨年度に得た健常高齢者の結果を比較すると、2関節運動課題のスコアとスパンは健常若年者と健常高齢者との間で有意差を認めなかった。2関節運動課題の成績に年齢の影響を認めなかった理由としては、感覚情報処理と認知処理が認知的予備能の展開を必要とすると考えられる(Verhaeghen et al. Exp Aging Res. 2019)ことから、知覚や注意の負荷が単関節運動課題とほぼ同等であり、2関節運動課題に認知的予備能を動員することが可能であったため、単関節運動課題よりも難易度が高い2関節運動課題の成績は年齢による影響を受けにくかったと考えられた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究により、運動感覚性ワーキングメモリに対する運動自由度の影響やその脳内機構の年齢による変化が神経科学的に明らかになれば、ワーキングメモリの概念モデルのより体系的な理解に寄与する。さらに運動感覚性ワーキングメモリの運動自由度に関わる神経基盤に対する年齢の影響を解明することにより、多くの高齢患者を対象とするリハビリテーション医療において、1)リハビリテーション医療において自由度が高い運動を学習するために運動感覚情報を治療に活用することの根拠となる学術的知見が得られること、2)運動に関するワーキングメモリ障害による運動学習障害を有する脳損傷者に対して運動学習に併用する治療的非侵襲脳刺激を用いた新たな治療方略の開発につながることを期待される。

[4] 成果資料

令和6年度には、成果発表を行っていない。

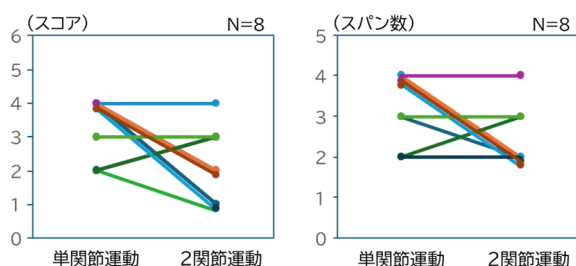


図1. 単関節運動と2関節運動の運動感覚情報を扱うワーキングメモリ課題の成績