

課題番号 42

運動軌道に関する感覚情報を扱うワーキングメモリに 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：関根 大輔、大木原 徹也、志田 航平

(埼玉医科大学国際医療センター)

研究費：物件費 13 万円

〔2〕研究経過

日常生活動作は、複数の関節運動を組み合わせた複合動作や、それらを適切な順序で実行する系列動作によって構成されている。日常生活では、物品の操作など、さまざまな動作が行われており、四肢の運動軌道を最適な経路となるように制御することは、その動作の成否や効率を決定づける極めて重要な要素である。

リハビリテーション治療における運動学習では、この最適な運動軌道の習得が不可欠となる。例えば、脳卒中片麻痺患者が日常生活動作を行う際に、麻痺が重度のために麻痺側上下肢を使用できない場合には、非麻痺側上下肢のみを使用した新たな動作を習得する必要がある。具体例として上衣着衣動作を取り上げると、療法士は非麻痺側上肢のみを使用して上衣を操作し、袖通しを麻痺側から行うように一連の動作手順を指導する。このように、リハビリテーション治療ではその動作パターンを習得するように運動学習が行われており、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の一つである。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動作の教示やフィードバックを行っている。したがって、運動に関する感覚情報として視覚情報と運動感覚情報を独立して扱うワーキングメモリが存在すると想定される。

複合動作の運動学習での教示内容には運動軌道が含まれ、複合運動の難易度は運動軌道の複雑性に関与することが知られているが、運動軌道に関する感覚情報を扱うワーキングメモリの神経基盤や加齢に

よる変容について検討した報告は見当たらない。

本研究の目的は、運動軌道の情報を運動感覚性と視空間性に分けて、それぞれのワーキングメモリの神経基盤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。本研究計画の概要を図 1 に示す。まずは、運動軌道は、運動範囲内に予め設定した 7 個の定点の中からいくつかを選び、被験者の指先が選んだ定点を順に通るように、実験者が被験者の手を把持して動かして、運動感覚情報にて運動軌道を教示する課題と、被験者の指先が定点を指し示す、1 人称の画像を定点毎に順に提示して、その運動軌道を視覚情報にて教示する課題を設計する。MRI 実験では仰臥位、行動実験では座位で行うが基本的には教示する運動軌道は同様となるように設定する。行動実験でのスコア化や MRI 実験での記憶負荷について検討した上で、MRI 実験で用いることとする。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本研究を始めるにあたり、運動軌道の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 2025 年 4 月 24 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。

今年度は、運動軌道に関する運動感覚情報を扱う

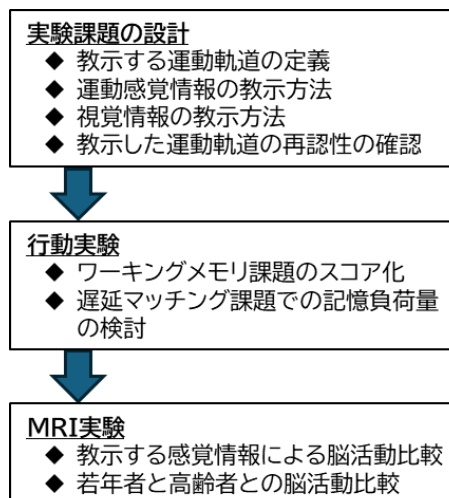


図1. 本研究計画の概要

ワーキングメモリ課題の設定を検討した。この課題に用いる運動軌道の空間範囲は、MRI装置内では仰臥位となっている被験者の体幹の右側方にある右上肢の右肘の位置を固定して、被験者の右手を実験者が動かすことができる範囲となるように設計した。その際、右手の手指・手関節はそれぞれ伸展位・中間位、前腕は中間位で固定して把持し、他動的に動かすこととした。つまり、この課題で行われる上肢の運動は、肘関節の屈伸と肩関節の内外旋の組合せの複合運動となる。右手を動かす目標となる定点は7個とし、定点間を1秒で動かすこととしたため、健常者が位置覚を判別可能な閾値を考慮して、前腕が動く角度を10度とし、7個の定点の位置を決定した。

具体的には、被験者の肘頭から指先までの長さを35~45 cmの範囲と想定した。もし上記の長さが50 cmであっても、2つの定点間の距離を10 cmとすれば、被験者の前腕が動く角度は11.5度となる。2つの定点間の距離を10 cmとし、肘頭から指先までの長さが45 cmと35 cmの場合、前腕の動く角度は、それぞれ12.8度、16.4度となる。したがって、定点間の距離を10 cm以上とし、定点間を1秒で動くように上肢を動かすと、前腕の動く角度は10度以上となるため、被験者はその運動軌道を十分識別可能と考えられた。また、肘頭から指先までの長さが35 cmの場合、動くことができる最大の角度は肘屈曲では40度程度、肩内旋では15度程度、肩外旋では45度程度と想定されるため、この装置で教示は可能と考えられる。

上記のように設計して作製した装置を用いて、実験者が被験者の指先を定点に沿って動かすことができるかどうか確認した上で、被験者の指先が運動する空間範囲内にある7個の定点のうちの任意の2個の定点を通過する運動軌道を被験者が識別可能か検討することとした。

〔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。

まず第1に、運動感覚情報を用いて運動軌道を教示することを可能にする実験装置を作製した。具体的には、縦29 cm、横39 cm、奥行18 cmのボール紙製のフレーム内に、7個の定点の目印を非磁性体の材料を用いて配置した。事前に設計した通り、定点間の距離は10 cm以上に設定し、被験者が運動軌道を識別するために十分と考えられる運動角度を確保した。

第2に、この装置を用いて、健常者を対象とし、運動感覚情報にて運動軌道を教示して、運動軌道の

識別性を検討した。対象者は健常若年者6人（年齢 32 ± 4 歳、全員男性、利き手は全員右）であり、身長は 172 ± 5 cm、肘頭から指先までの長さは 42.7 ± 1.7 cmであった。今回作製したフレーム内に被験者の手を置き、課題中は右上肢を他動的に動かすため、被験者には脱力したままのように指示した。まず、実験者が被験者の指先を各定点に合わせて他動的に動かし、いずれの定点間も1秒間で無理なく動かすことができることを確認した。その上で、視覚遮断下にて、近接する2個の定点をつなぐ運動軌道となるように指先を動かし、数秒後に再び指先を動かした。そして、被験者には、これら二つの運動軌道が一致していたかどうか回答させた。その結果、全員がすべての試行で正答した。したがって、教示した運動軌道に再認性があることを確認することができた。

（3-2） 波及効果と発展性など

本共同研究により、運動軌道に関わる運動感覚性および視空間性ワーキングメモリの神経基盤やその加齢による変化が明らかになれば、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。さらに運動軌道に関わる運動感覚性ワーキングメモリと視空間性ワーキングメモリに対する加齢の影響を解明することにより、多くの高齢者を対象とするリハビリテーション医療において、1) 運動軌道を学習するために運動感覚情報や視空間情報を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) 運動軌道に関するワーキングメモリの障害により運動学習が阻害されている脳損傷者に対して治療的非侵襲脳刺激を運動学習に併用する新たな治療方略の開発につながることが期待される。

〔4〕 成果資料

令和7年度には、成果発表を行っていない。