

2023 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	歩行リズムの生成に関わる時間処理機能と運動関連脳領域の役割
キーワード	①歩行リハビリテーション、②リズム運動制御、③時間情報処理

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏名	ヌマタ アツキ 沼田 純希
配付時の所属先・職位等 (令和5年4月1日現在)	東北文化学園大学医療福祉学部・助教
現在の所属先・職位等	同上
プロフィール	2010年、国際医療福祉大学保健医療学部理学療法学科卒業。2016年より東北文化学園大学医療福祉学部リハビリテーション学科理学療法専攻助手。2021年、神奈川県立保健福祉大学保健福祉学研究科にて博士（保健福祉学）を取得。2022年より現職。脳神経系疾患の運動・時間処理障害に対するリハビリテーションを中心とした研究に従事している。

1. 研究の概要

脳神経疾患患者の歩行リハビリテーションにおいて、対象者が社会復帰するには、複雑な生活環境に適応した様々な歩行リズムを生成する能力を再獲得する必要がある。日常生活では、周囲の状況に応じて随意的に歩行リズムを生成し、自動化するという過程が繰り返されている。歩行のリハビリテーションでは、この過程を考慮した技術が必要となるが、根拠となる脳内の制御機構については不明な点も多い。本研究は、下肢のリズム生成と自動化の過程に着目した新たな視点から、神経疾患患者の歩行リハビリテーション技術の発展に寄与する神経生理学的な根拠を得ることを目指した。

2. 研究の動機、目的

ヒトの行動において、時間の情報は日常生活の様々な場面で必要不可欠である。近年、時間に関わる情報処理機構として、大脳基底核や小脳、補足運動野などの関与が明らかとなりつつある。これらの領域は運動を調整する機構としても知られている。これらの領域の変性疾患であるパーキンソン病（PD）や脊髄小脳失調症（SCA）では、同期タッピング課題（一定の時間間隔で提示される音の刺激に同期して反応ボタンを押す課題）により、時間処理機能と運動機能の低下との関係性が検証されている（Tokushige et al., Front Psychol., 2018; Matsuda et al., PLoS One, 2015）。殊にPDでは、この同期タッピング課題の成績の低下と歩行障害との関連性（Tolleson et al., Brain Res., 2015; Horin et al., Ann Phys Rehabil Med., 2020）が報告されている。歩行障害は、転倒の誘発に繋がり患者の生活の質を著しく低下させることから、これらの疾患の歩行に関連した時間処理能力の低下に関わる制御動態を解明し、それに基づくリハビリテーション技術の開発が必要であると考えた。

これに関して我々は、歩行運動をモデル化した下肢の片足および両足で同期タッピング課題を行い、それぞれのリズム生成の特徴から、両側足部の交互運動でリズムが顕著に安定することを報告した（Numata et al., Hum Mov Sci, 2022）。このリズムの安定は上肢では認めな

かったことから、下肢のリズム生成における特徴であることを示唆した。しかしながら、この課題は、脳内で時間情報処理の過程と運動を自動化する過程が、厳密には区別されずに評価されていた。さらには、歩行様リズム生成に特化した制御機構が中枢神経系のどこに存在するのかも不明のままであった。

そこで本研究は、歩行様運動をモデルに、下肢のリズム生成と自動的にリズムを刻む過程が、脳のどこで、どのようなタイミングで処理されるのかを神経生理学的に解明することを目的とした。

3. 研究の結果

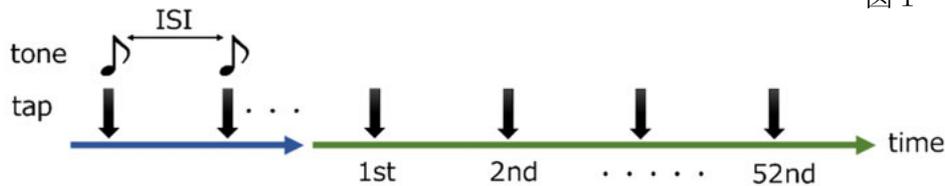
本研究では2つの実験を行った。

【第1実験】同期-継続課題による下肢のリズム生成が自動化される過程の検証（図1）

方法は、先行研究に基づき、利き足で行う同期タッピング課題（500-2400 msで6種類）を用いたが、本実験では音刺激を2、5、10刺激目で消失させ、これ以降音刺激が聞こえない中でタップを継続させた（図2）。その結果、我々の先行研究と同様に、概して、歩行に近い時間間隔（500-600 ms）における交互運動で、他の運動条件（利き足のみ片側・両側同時）と比較しリズムが安定することを確認した。一方、音の提示回数による差を認めず、下肢のリズム形成においては運動条件を問わず2回の音刺激（=1つのタップ間隔に関する情報）があればリズムを生成できる可能性が示唆された。



図1 実験風景



[ISI (interstimulus interval) : 音刺激の時間間隔]

図2 同期-継続課題

【第2実験】非侵襲的脳刺激法による下肢のリズム生成に関わる脳領域の検証

時間分解能の高い経頭蓋磁気刺激（transcranial magnetic stimulation : TMS）法を用い、同期タッピング中のTMSにより一次運動野および補足運動野に不応期（一過性機能脱落）を生じさせ、正確なタッピングが阻害されるタイミングを検討した。その結果、時間間隔を刻む音刺激とTMSに伴い発生する音がほぼ同時に生じる影響によってタップが早まる現象（intersensory facilitation）が生じることが分かった。そのためタップのタイミング変化が一過性機能脱落とintersensory facilitationのいずれに起因するものか判別は困難であった。この結果を受け、同脳領域に対する経頭蓋直流電気刺激（transcranial direct current stimulation : tDCS）により一時的な活動変化を生じさせることで、リズム生成への影響を検証する実験に切り替えて進めている。

4. 研究者としてのこれからの展望

本研究の結果から、下肢のリズム生成では、交互運動において特徴が明らかになった一方、脳内の制御機構については今後の継続的な検証が必要であった。

今後は、神経生理学的な検討とともに、時間処理能力の低下を生じるPDやSCDといった疾患を対象とした検討を計画・一部実施しており、これらの複数の視点から各脳領域の下肢のリズム生成機能における役割を明らかにしたい。同期タッピング課題などを用いた多くの先行研究から時間処理機能と運動機能障害の関連性が報告され、さまざまなリズム運動課題を用いたリハビリテーション技術（rhythmic auditory stimulus : RASなど）が検討・実施されている。本研究の運動課題を用いることで、より有効な機能評価と運動介入が可能となる可能性が

期待できる。本研究の知見は、神経疾患患者に対する歩行リハビリテーションにおける時間処理機能に着目した新たな方法論につながる基礎的知見になると考えている。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

この度は、本研究を遂行するにあたり多大なご支援を頂きました皆様に心より御礼申し上げます。本奨励金によって1年間の研究活動を円滑に進行することができました。現在は、本研究の結果について公表の準備を進めるとともに、これらの結果を踏まえた次の研究を進めているところです。リハビリテーション分野に関する研究は、介入と結果の因果関係を明確にする上で交絡因子が多岐にわたるため、エビデンスの構築が難しい領域の1つと感じています。今後も実験研究による基礎的な知見と臨床的な知見を積み重ね、神経疾患に対するリハビリテーション医療に貢献できるよう尽力して参ります。

