

歩行時の足関節における中枢神経系の運動制御戦略に関する研究

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 理学療法学専攻

沼田純希



Collaborators

- ◆ 東北文化学園大学 工学部 臨床工学科 教授 古林俊晃 ◆ 福島県立医科大学 医学部 ヒト神経生理学講座 教授 宇川義一 ◆ 東京湾岸リハビリテーション病院 立本将士
- ◆ 杏林大学 医学部 病態生理学教室 教授 寺尾安生 ◆ 藤田医科大学 保健衛生学部 リハビリテーション学科 教授 田辺茂雄 ◆ デイサービスわかなの杜 尾張望美
- ◆ 神奈川県立保健福祉大学大学院 保健福祉学研究科 教授 菅原憲一 ◆ 東京工科大学 医療保健学部 リハビリテーション学科 助教 土屋順子 ◆ 仙台ペインクリニック 柿崎千穂
- ◆ 准教授 鈴木智高

※ 本研究に関連して、報告すべきCOI関係にある企業はありません。

Introduction

- ・ ヒトが適切に行動するには、外界の対象に対して、自己内で生成される時間のタイミングを適切に同期させる（感覚運動同期）能力が必要である。
- ・ 歩行運動においては、外界の状況に応じて歩行リズムを生成し調整する能力が求められる。ex) 横断歩道における信号の変化など
- ・ リズム生成や保持に関わる時間情報処理には、大脳基底核や小脳、補足運動野など高次の運動関連脳領域の働きが重要とされる。
(Ivry: Curr Opin Neurobiol, 1996; Repp and Su: Psychon Bull Rev, 2013)
- ・ 小脳疾患 (Matsuda et al.: PLoS One, 2015) や大脳基底核疾患 (Parkinson病) (Tokushige et al.: Front Psychol, 2018) など歩行運動障害を伴う神経系疾患でも時間処理能力の低下が報告され (Tolleson et al.: Brain Res, 2015; Horin et al.: Ann Phys Rehabil Med, 2020)、両者の因果関係が推測される。



歩行に関わる下肢には、その機能に特化したリズム生成機構の存在が推察されるが、現状では不明な点も多い。

Purpose

- 歩行に関わる下肢のリズム生成における運動制御の特徴を解明する。
- 歩行のリズム障害を呈する神経系疾患のリハビリテーションを促進する手法を開発する。

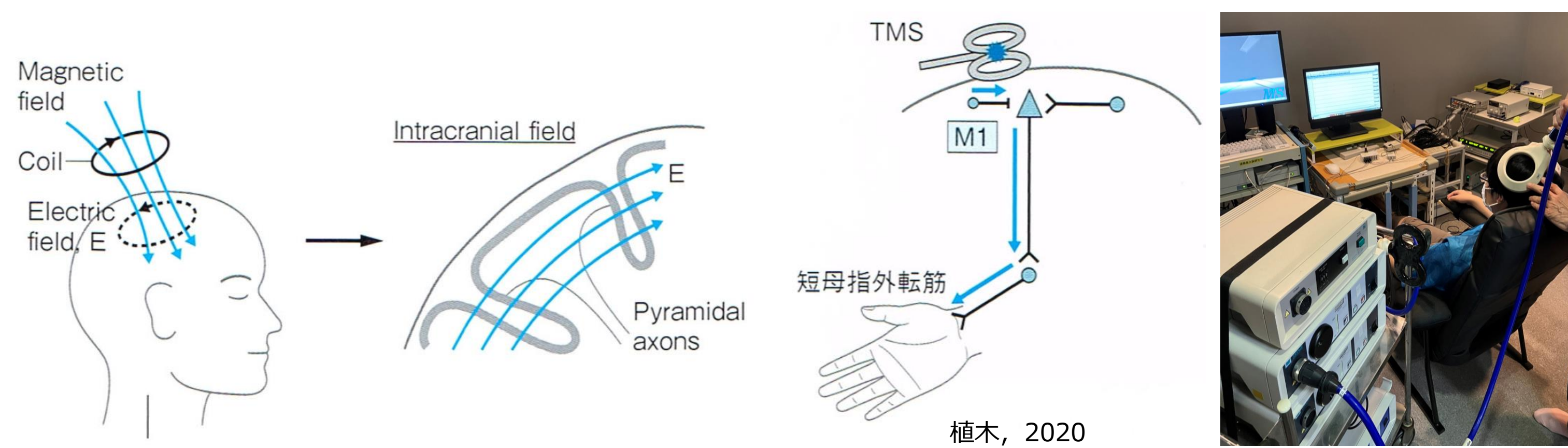
Keywords

時間情報処理、リズム生成、歩行リハビリテーション、negative asynchrony

① 経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation: TMS) 法による下肢のリズム運動時の神経興奮性変化の検討

TMS

- ・ 無侵襲・無痛かつ安全に脳刺激が可能であり、神経機能の評価・治療に広く使用される。
- ・ 頭皮上に置いたコイルに電流を流すことで、Faradayによって発見された電磁誘導の原理に基づいて、頭蓋内に電流を誘起し脳を刺激する手法 (Barker et al.: Lancet, 1985)。
- ・ 大脳皮質運動野を刺激し、錐体路を下降した電位を運動誘発電位 (motor evoked potential: MEP) として記録する。
- ・ MEPは、筋を支配する大脳皮質における興奮性の評価に用いられる。



実験方法

- ・ 2種類の足関節反復運動中に、足関節の運動を司る前脛骨筋 (TA) およびヒラメ筋 (SOL) を支配する大脳皮質運動野をTMSで刺激した。



逆位相性の交互運動 (bilateral antiphase)

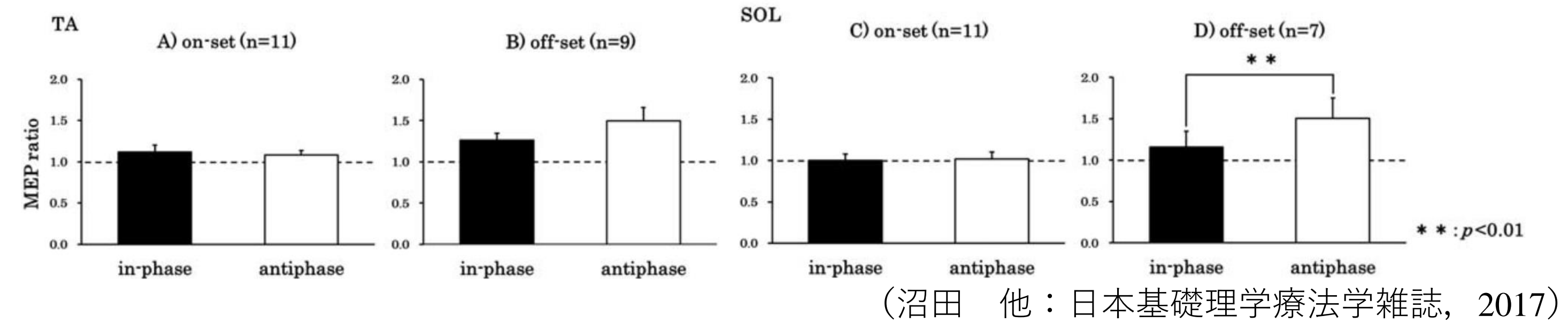


同位相性の同時運動 (bilateral in-phase)

- ・ TMSのタイミングは、TAの活動開始 (on set) および終了時 (off set) とした。
- ・ 片側の運動時に対するMEP変化率 (MEP ratio) を運動条件間で比較した。

結果

- ・ 歩行に類似した逆位相性の運動 (antiphase) で運動野の興奮性が顕著であった。



下肢支配の運動野における歩行に特化した神経機構の存在を示唆した

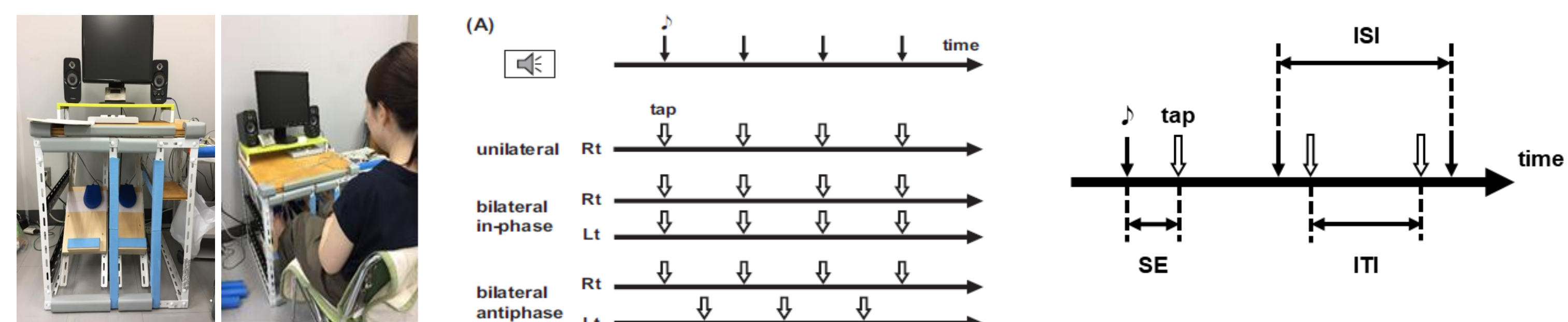
② 同期タッピング課題を用いた下肢のリズム制御動態の検討

同期タッピング課題

- ・ 脳内の時間処理過程を評価する研究に広く用いられる。
- ・ 一定間隔 (interstimulus interval: ISIs) の音刺激に同期して反応ボタンを押す (タップ) 運動課題。
- ・ 音に対するタップの精度 (synchronizing error: SE) や、タップの時間的な安定性 (inter-tap interval: ITI) が評価される。

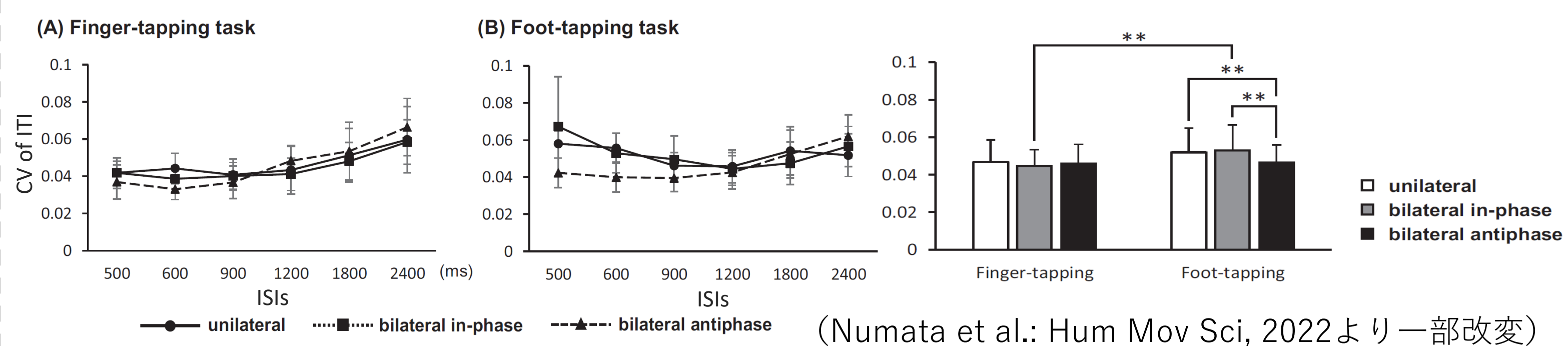
実験方法

- ・ ミリ秒から秒のISIsでの音刺激に同期する手指または足部によるタッピングを行った。
- ・ 運動は片側 (unilateral)、同位相 (in-phase)、逆位相 (antiphase) の3条件とした。
- ・ SEおよびITIを評価し、ISIs間および位相条件間で比較した。



結果

- ・ 下図に、ITIの変動係数 (coefficient of variation: CV) を示した。
- ・ CV of ITIは1秒前後のISIsで低い値を示し、タップの時間的安定性が高かった。
- ・ 足部タッピングにおける逆位相 (antiphase) の条件で時間的安定性が有意に高かった。
- ・ 一方、手指タッピング課題においては、条件間の差を認めなかった。



- ・ この下肢の逆位相運動における安定性は、音の聴覚情報やタップに伴う触覚情報を除いた条件で行っても保たれた。(未発表)

両側下肢の同期タッピング課題では、歩行に類似した逆位相性の運動において、安定したリズム生成を促す神経機構の存在が示唆された

Conclusion and Future perspective

下肢は、歩行に類似した逆位相性の運動 (bilateral antiphase movement) におけるリズム生成に特化した神経機構を有する可能性が示唆された

- ・ このリズム生成に関与する神経機構の詳細は不明であり、今後のTMSや経頭蓋直流電気刺激 (tDCS) といった機器による神経生理学的検討が必要とされる。
- ・ 現在は下記の研究を並行して進めている。
 - ① 下肢のリズム生成に関わる脳領域の同定 : TMSを用いた脳の一時的な不活化による検討
 - ② リズム生成における大脳基底核の役割 : パーキンソン病患者と健常高齢者との比較による検討
 - ③ 下肢のリズム生成から自動化に至るプロセス: 同期-継続課題 (同期タッピング中の音のある時点で消し、そのままタッピングを遂行する) による検討
- ・ TMSは、刺激のパラダイムを検討することで、神経の興奮・抑制ばかりでなく長期的な可塑性も誘発できることから様々な医療での応用が期待されている。今後の研究を進めることで、リズム生成に障害を示す疾患のリハビリテーションへの応用を目指している。