

Doctoral thesis

The role of the cerebellum during temporal adaptive learning
in a coincident timing task
(Digest)

Shin-ya Tanaka

Graduate School of Integrated Arts and Sciences

Hiroshima University

March 2022

CONTENTS

Chapter 1

General Introduction	1
1. 1 Classification of “Timing” and coincident timing task	4
1. 2 Cerebellum	6
1. 3 Transcranial magnetic stimulation	9
1. 4 Summary of the purpose of the thesis	15

Chapter 2

Modulation of cerebellar brain inhibition during temporal adaptive learning in a coincident timing task

2. 1 Introduction	17
2. 2 Materials and methods	19
2. 2. 1 Subjects	19
2. 2. 2 Coincident timing task	20
2. 2. 3 Experimental procedure	23
2. 2. 4 EMG recording	25

2. 2. 5 Transcranial magnetic stimulation application and cerebellar brain inhibition recording	26
2. 2. 6 Measurements and statistical analysis	28
2. 3 Results	31
2. 3. 1 Coincident timing task performance	32
2. 3. 2 Changes in cerebellar–primary motor cortex connectivity associated with temporal adaptive learning	37
2. 3. 3 The correlations between the amount of adaptive learning and changes in cerebellar brain inhibition	40
2. 4. Discussion	42
2. 4. 1 Role of the cerebellum in timing control	42
2. 4. 2 Classification of timing and the coincident timing task factors that the subjects needed to learn to improve their task performance	44
2. 4. 3 Changes in cerebellar–M1 connectivity associated with coincident timing task performance	47
2. 4. 4 Did the temporal or spatial component of the task drive the observed changes in cerebellar brain inhibition?	51
2. 5 Conclusion	55

Chapter 3

Role of the cerebellum for adapting the change of target velocity in a coincident timing task

3. 1 Introduction	56
3. 2 Materials and methods	57
3. 2. 1 Subjects	57
3. 2. 2 Coincident timing task	58
3. 2. 3 Experimental procedure	60
3. 2. 4 EMG recording	62
3. 2. 5 TMS application and cerebellar brain inhibition recording	62
3. 2. 6 Measurements and statistical analyses	64
3. 3 Results	65
3. 3. 1 CoIT task performance	66
3. 3. 2 Changes in cerebellar–primary motor cortex connectivity associated with adaptation for the change of target velocity	72
3. 4 Discussion	74

Chapter 4

General discussion and conclusion	77
4. 1 The difference of the CoIT task between chapter 2 and 3	79
4. 2 Internal model and feedforward control	80
4. 3 Conclusion	81
References	83
Related paper associated with doctoral thesis	96
Acknowledgements	97

要約

本論文は、我々の日常生活やスポーツの基本的な要素である時間情報に関する運動学習・制御について、特に小脳の働きについて検討したものであり、四章から構成される。本研究は、第二章で時間的適応学習における小脳の役割について、第三章で標的の時空間情報と、それに基づく予測的な運動タイミングの学習・制御における小脳の役割について述べられている。上述の実験では、ヒトを対象に、脳の標的領域を非侵襲的に刺激し、その結果生じる筋反応を筋電図によって評価することができる経頭蓋磁気刺激法 **transcranial magnetic stimulation: TMS** を用いた。TMS 連発刺激を行うことで、時間的適応学習における小脳から大脳一次運動野への影響を明らかにした。以下に各章の概要を記述する。

第一章では、本研究の背景に関して、日常生活やスポーツで重要なタイミングに関する先行研究や、その分類に基づく本研究の位置づけ、小脳の運動学習における役割、本研究で用いた主な手法の解説を行った。

第二章では、時間的適応学習における小脳の役割について述べられている。野球様の一致タイミング課題 (**coincident timing task: CoIT task**) 学習前後において、TMS を用い運動学習に伴う大脳小脳連関の変化を見るために、連発刺激による小脳抑制 (**cerebellar brain inhibition: CBI**) の計測を行った。被験者には、課題実行中に与えられる時間的外乱に応じて運動開始タイミングを調整することが求められた。本実験の結果、外乱の方向性に関わらず学習に応じて CBI の減少が見られることが確認され、CBI の減少量と学習の程度に相関関係が見られた。この結果は、小脳が時間的適応学習中の運動開始タイミングの学習・制御に関わっていることを示唆するものであった。

第三章では、CoIT task における標的速度変更後の再学習における小脳の役割について述べられている。本章では第二章で用いた CoIT task をより現実のスポーツ場面に近いものに改良し、標的速度の変更に対する学習を被験者に求めた。本実験の結果、CoIT task における標的速度の変更被験者が適応し、同時に CBI の減少が確認された。同様の現象は、標的速度がランダムに変化する条件でも確認された。この結果は、標的の時空間情報と予測的な運動タイミングの制御に小脳が重要であることを示すものであった。

第四章では、第二章と第三章で得られた知見の総合考察を論じた。本研究から、運動に要する時間の把握・変化への適応、また標的の時空間情報をもとに、運動開始タイミングを学習する際の小脳の役割について明らかとなった。

本研究の成果は、日常生活やスポーツ場面で見られるタイミング制御・学習のメカニズムの解明や、運動スキルの新たな学習方略の提示、小脳由来の運動失調症等のメカニズム解明・リハビリテーション法の確立などに応用できると考える。

Related paper associated with this doctoral thesis

Shin-ya Tanaka, Masato Hirano, and Kozo Funase

Modulation of cerebellar brain inhibition during temporal adaptive learning in a coincident timing task.

Experimental Brain Research 2021; 239:127–139.