

氏名	羅 宇希 (LUO YUXI)		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	統合科学		
学位授与番号	博甲第	7 4 8 5	号
学位授与の日付	2 0 2 6 年 3 月 2 5 日		
学位授与の要件	ヘルスシステム統合科学研究科 ヘルスシステム統合科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Study on Multisensory Interactions of Executive Functions in Working Memory (多感覚情報の相互作用がワーキングメモリの実行機能に及ぼす影響に関する研究)		
論文審査委員	教授 中澤 篤志	教授 楊 家家	教授 紀和 利彦 准教授 高橋 智
学位論文内容の要旨			
<p>Working memory (WM) plays a core role in supporting such situations by maintaining, updating, and manipulating task-relevant information. Through these processing, WM enables the coordination of concurrent cognitive activities and supports goal-directed behavior. Efficient performance in demanding situations depends not only on WM capacity but also on the interaction between executive functions. Among these, updating and inhibition are core components of cognitive control. Updating allows information in WM to be continuously revised in accordance with task goals, whereas inhibition supports the suppression of distracting information. Previous research has shown that the interaction between these executive functions is influenced by WM load and by the degree of representational overlap between concurrently processed tasks. However, it remains unclear how WM load modulates executive-function interactions when tasks involve the same type of representational content but are presented through different sensory modalities.</p> <p>The present study addresses this issue by examining how sensory modality influences the interaction between updating and inhibition under increasing WM load. Two experiments were conducted using a single task that combined an n-back task and a flanker task, allowing executive-function interactions to be examined while minimizing task-switching demands. All experimental tasks involved verbal information, thereby isolating the effects of sensory modality from those of stimulus content. In Experiment 1, performance was compared between a visual within-modality condition, in which both the n-back and flanker stimuli were presented visually, and an audiovisual cross-modality condition, in which a visual n-back task was paired with auditory flanker stimuli. WM load was manipulated across three levels (1-, 2-, and 3-back). Behavioral measures and event-related potential (ERP) indices associated with updating and inhibition indicated that the interaction between these executive functions was jointly modulated by WM load and sensory modality. Under high WM load, interference effects were reduced in the cross-modality condition relative to the within-modality condition, suggesting more efficient allocation of cognitive resources when executive demands are distributed across sensory modalities. Experiment 2 was designed to confirm and extend these findings using the same overall framework. The critical modification involved the cross-modality condition, which consisted of an auditory n-back task combined with visual flanker stimuli. This manipulation allowed potential confounding influences related to task-specific characteristics of updating and inhibition to be controlled. The results replicated the main patterns observed in Experiment 1, providing convergent evidence that sensory modality plays a key role in shaping executive-function interactions under increasing WM load.</p>			

Taken together, these findings demonstrate that WM load and sensory modality jointly influence the interaction between updating and inhibition. The results support the existence of modality-specific resource allocation mechanisms that facilitate executive coordination under high cognitive demand and underscore the importance of incorporating sensory modality into psychological and cognitive neuroscience models of executive control.

論文審査結果の要旨

先行研究では、視覚刺激と聴覚刺激を同時に提示した場合、単一感覚刺激のみを提示した場合と比べて反応時間が短縮し、正答率が向上することが報告されており、この現象は視聴覚統合と呼ばれている。視聴覚統合には、高次脳領域と低次感覚領域との間における双方向な情報処理が重要であり、ワーキングメモリ (WM) も関与していることが知られている。さらに、更新 (updating) と抑制 (inhibition) は、複数の感覚器官から入力される情報を統合・制御する WM の中核的機能である。更新は課題目標に応じて WM 内の情報を修正する役割を担い、一方、抑制は干渉となる情報の処理を抑える役割を果たす。

本研究では、WM 負荷の増加に伴い、感覚モダリティの違いが更新と抑制の相互作用に及ぼす影響を検討した。実験では、参加者が 3 段階の負荷 (1・2・3-back) を操作した視覚 N-back 課題を遂行しながら、視覚または聴覚のフランク刺激を無視する課題を実施した。その結果、WM 負荷の増加により、いずれの条件においても反応時間の延長と正答率の低下が認められた。また、フランク刺激による干渉効果は、同一モダリティ条件では中程度負荷 (2-back) から出現したのに対し、クロスモダリティ条件では高負荷 (3-back) においてのみ観察された。さらに ERP 解析の結果、頭頂部において同一モダリティ条件では高負荷時に刺激呈示後約 200 ms 付近の電位増大が認められた一方、クロスモダリティ条件では同様の電位変化が抑制されていた。これらの結果は、ヒトにおける視聴覚統合および WM に基づく実行機能の協調メカニズムを理解する上で有用な知見を提供するものである。前述の研究成果は、*Brain Sciences* 誌に掲載され、国際学会において発表した。現在、この課題の後続実験の実施とデータ解析も完了し、雑誌投稿の準備を進めている。

以上のことより、本論文は学術上および医工学上貢献するところが多い。よって本論文は、博士 (統合科学) の学位として価値あるものと認める。