

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育與運動科學系

運動科學碩士在職專班

碩士論文

Continuing Education Master's Program of Sports Science

Department of physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

急性認知要求運動對國小學童抑制控制之影響

The Effects of Acute Cognitive Demanding Exercise on

Inhibitory Control in Elementary School Children

林采霓

Lin, Tsai-Ni

指導教授：洪聰敏 博士

Advisor: Hung, Tsung-Min, Ph.D.

中華民國 114 年 7 月

July 2025

謝辭

時光荏苒，一轉眼兩年就過了，當初約定好讀兩年就要準時畢業這件事，我做到了！邊工作，邊讀書、寫論文的日子雖然很累，但不至於讓人感到厭倦，反而讓人感到非常充實的～在讀研究所這段期間，我很開心能夠向許多厲害的教授們學習，每位教授都非常認真，在各自領域發光發熱；我也遇到了許多不同職業的同學，大家術業有專攻，都在體育上盡一份心力，我也時時刻刻提醒自己，要向大家學習，持續精進自我，莫忘初衷！

而在畢業的這條路上，因為有許多人的幫助，才能讓我走得如此順遂，首先我想感謝我的教授，聰敏教授，謝謝教授用他廣闊的視野，讓我看到自己的未來規劃能有那麼一點的不同，希望未來能確實將運動結合認知，在生活上真正拿來幫助人，接著我想感謝實驗室的學長姊，在每一次的口試以及報告給予指導，特別是張塵學長以及昶景學長，在我遇到論文以及實驗上的困難時，幫助我教導我，另外我也想感謝我的聰敏小組群夥伴們雅各、向勻以及媚姿、馨慧等幾位同學在研究所這條路上幫助我，有你們一起努力，真好！

我還想感謝我的家人們在我忙錄的生活中，給予我最溫暖的家，支持我、鼓勵我；謝謝晉廷在我的情緒像是在搭雲霄飛車時，穩穩的接住我每一次的起起落落。最重要的，我想感謝 305 班的學生們以及家長，願意參加與配合這次的跳繩實驗，讓我能夠順利完成我的畢業論文，不只是論文，在這次的運動中，還看到了孩子們在練習跳繩時，彼此幫助、教導，這畫面真動人！

最後，我想謝謝自己努力完成了碩士學位，如同當初教程畢業的理念，告訴自己「盡心盡力，得以出類拔萃」，要記得繼續好好加油哦！

2025.08.04 霓

急性認知要求運動對國小學童抑制控制之影響

2025 年 07 月

研究生：林采霓

指導教授：洪聰敏

中文摘要

抑制控制 (inhibitory control) 又稱衝動控制，是執行功能的核心元素之一，他影響著個體控制自身注意力、行為、思考、和情緒的能力，有良好的抑制控制，能克服內在或外在誘因，以做出更適切的反應。過去研究顯示，運動有助於增強抑制控制以及其他認知的能力，而高認知要求運動對提升大腦的抑制控制有更顯著的效益方法：本研究招募 28 位國小學童 (平均年齡 8.67 歲)，採用採群集隨機抽樣，並進行組內設計，每位參與者皆進行三種情境 30 分鐘的介入，分別為高認知要求運動情境 (HE)、低認知要求運動情境 (LE)、控制情境 (AC)。在運動情境中，參與者需根據不同認知要求的跳繩運動設計，進行 30 分鐘中等強度的跳繩運動介入。介入後，進行運動自覺量表及心率測量，以確保達到中等強度運動，運動前後也需進行 Go/No-go task，紀錄介入前後的反應時間，並將依變項的結果後測減前測，以獲得改變量。接著再以重複量數單因子變異數分析，針對反應時間跟正確率改變量進行統計分析，若達顯著水準，則進行事後比較。本研究操弄成效良好，心率與運動自覺量 (RPE) 結果顯示，兩種運動情境 (高、低認知要求) 之運動強度皆顯著高於控制情境，且兩者間無顯著差異，確認運動強度控制一致；同時，認知負荷評級結果也呈現顯著差異，高認知要求情境主觀負荷最高，後面依序為低認知要求、控制情境，顯示參與者對於不同情境之認知負荷程度有正確的感受。整體而言，不同認知要求跳繩的介入皆有效促進兒童達到中等強度運動標準，並在抑制控制表現方面有正向趨勢，尤其在反應時間改善幅度上顯著優於控制情境，然而對正確率之提升沒有顯著成效。

關鍵詞：執行功能、急性運動、抑制控制、跳繩、認知要求

The Effects of Acute Cognitive Demanding Exercise on Inhibitory Control in Elementary School Children

July, 2025

Author: Lin, Tsai-Ni
Advisor: Hung, Tsung-Min

Abstract

Inhibitory control, also known as impulse control, is a core component of executive function. It plays a crucial role in an individual's ability to regulate attention, behavior, thoughts, and emotions. Strong inhibitory control allows individuals to overcome internal or external temptations and make more appropriate responses. Previous studies have shown that physical activity can enhance inhibitory control and other cognitive abilities, with cognitively demanding exercise demonstrating greater benefits for improving inhibitory control in the brain. This study recruited 28 elementary school students (average age 8–9 years) using cluster random sampling and employed a within-subject design. Each participant completed three 30-minute intervention conditions: high cognitive demand exercise (HE), low cognitive demand exercise (LE), and a control condition (AC). During the exercise interventions, participants engaged in moderate-intensity jump rope activities designed with varying levels of cognitive demand. After each intervention, participants completed the Rating of Perceived Exertion (RPE) and heart rate measurements to ensure exercise intensity reached a moderate level. Additionally, the Go/No-go task was administered before and after each intervention to record changes in reaction time. The dependent variables were calculated by subtracting pre-test scores from post-test scores, and repeated measures one-way ANOVA was used to analyze the change in reaction time and accuracy. Post hoc comparisons were conducted if significant differences were found. The manipulation check confirmed the effectiveness of the interventions. Both exercise conditions (HE and LE) showed significantly higher heart rates and RPE values compared to the control condition, with no significant difference between the

two exercise conditions, indicating consistent exercise intensity. Moreover, cognitive load ratings differed significantly among the three conditions, with the HE condition showing the highest perceived cognitive load, followed by LE and AC, suggesting participants correctly perceived the varying cognitive demands. Overall, both cognitively demanding jump rope interventions effectively promoted moderate-intensity physical activity and showed a positive trend in improving inhibitory control, particularly with significantly greater improvement in reaction time compared to the control group. However, no significant improvement was found in accuracy performance.

Keywords: executive function, acute exercise, inhibitory control, jump rope, cognitive demand



目次

謝辭.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii
目次.....	v
表次.....	viii
圖次.....	ix
第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究假設.....	3
第貳章 文獻探討.....	4
第一節 抑制控制對兒童的重要性.....	4
一、抑制控制對兒童發展的影響.....	4
第二節 運動對抑制控制的影響.....	5
一、運動對認知功能的影響.....	5
二、運動對於抑制功能的潛在效益.....	7
三、急性運動如何影響認知表現的內在運作過程.....	8

四、急性運動對抑制控制影響.....	9
五、跳繩運動對認知發展的益處.....	10
第三節 認知要求運動對執行功能的影響.....	11
一、執行功能與認知要求運動概述.....	11
二、不同認知要求強度運動介入的改善效果.....	12
三、認知要求運動對於抑制功能潛在效益.....	13
第四節 文獻探討總結.....	15
第參章 研究方法.....	17
第一節 研究對象.....	17
第二節 研究工具.....	17
第三節 研究設計與流程.....	21
第四節 資料處理與統計分析.....	23
第肆章 研究結果.....	24
第一節 基本資料.....	24
第二節 實驗操弄變項.....	24
一、情緒感受量表.....	24
二、運動自覺量表.....	25
三、認知負荷評級量表.....	26
四、心率指標.....	27
第三節 行為表現.....	29
一、假設一:.....	30
二、假設二:.....	31

第伍章 討論.....	33
第一節 討論.....	33
一、運動強度與認知操弄成效.....	33
二、不同認知要求運動介入對反應時間之表現.....	34
三、不同認知要求運動介入對反應準確率之表現.....	35
第二節 研究限制.....	35
第陸章 結論與建議.....	36
第一節 研究結論.....	36
第二節 未來建議.....	36
參考文獻.....	38
壹、中文文獻.....	38
貳、英文文獻.....	38

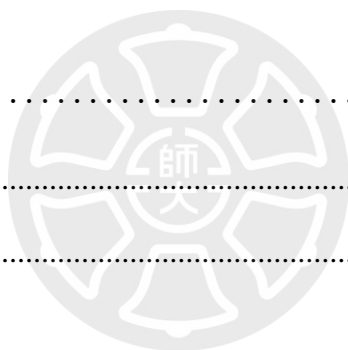


表 次

表 3-1 認知負荷評級量表.....	18
表 3-2 運動自覺量表.....	19
表 3-3 情緒感受量表.....	20
表 4-1 受試者基本資料摘要表	24
表 4-3 情緒感受量表資料摘要表	25
表 4-3 運動自覺量表資料摘要表	25
表 4-4 認知負荷評級量表資料摘要表	26
表 4-5 心率指標資料摘要表	27
表 4-6 前測時各情境心生理數據	28
表 4-7 介入期間各情境心生理數據.....	28
表 4-8 後測時各情境心生理數據	28
表 4-9 各情境 Go/No-go task 反應時間與改變量.....	30
表 4-10 各情境 Go/No-go task 正確率與改變量	31

圖 次

圖 3-1	Go/No-go task 圖	18
圖 3-2	Polar H10 心率傳感器	20
圖 3-3	研究架構圖	21
圖 3-4	受試者介入流程圖	22
圖 3-5	實驗流程圖	22
圖 4-1	各情境情緒量表 (FS) 前後測分數	25
圖 4-2	各情境運動自覺量表 (RPE) 分數	26
圖 4-3	各情境三認知負荷評級量表 (CL) 分數	27
圖 4-4	各情境受試者 Go/No-go task 反應時間	29
圖 4-5	各情境受試者 Go/No-go task 正確率	29
圖 4-6	各情境 Go/No-go task 反應時間前後測	30
圖 4-7	各情境 Go/No-go task 反應時間改變量	31
圖 4-8	各情境 Go/No-go task 正確率前後測	32
圖 4-9	各情境 Go/No-go task 正確率改變量	32

第壹章 緒論

本研究在探討急性認知要求運動對國小學童抑制控制之影響，比較有規律運動之國小學童，在不同認知要求運動介入後，透過 Go/No-go task，讓參與者在適當情況下快速作出反應，同時在不應該反應時抑制行為，來測量其抑制控制能力。本章歸納為五小節來探討：第一節、研究背景與動機；第二節、研究目的；第三節、研究假設；第四節、研究限制；第五節、研究的重要性。各節分別說明如下

第一節 研究背景與動機

近年來，許多文獻回顧皆指出健身運動能夠增進大腦認知功能 (Best, 2010; Ludyga et al., 2016)，執行功能為大腦前額葉控制的重要認知能力，是一個主動且有意識之認知過程，它不僅幫助我們計劃、控制衝動或是讓思考更加的靈活，還能有效管理情緒，並使我們保持專注，並在面對變化時做出正確反應 (Diamond, 2013; Robbins & Arnsten, 2009)。抑制控制 (IC) 是執行功能 (EF) 的核心成分之一，指個體在面臨內外部干擾時，能抑制不相關或衝動行為的能力 (Diamond, 2013)。主要包含兩個方面，干擾控制以及反應抑制，干擾抑制又細分為，認知抑制 (抗拒多餘或不想要的想法或記憶) 和選擇性注意 (在感知層面選擇性的控制注意力)；反應抑制指的則是行為層面的抑制 (Diamond, 2014a)。抑制控制的發展受到多種因素影響，包括：遺傳、環境、壓力以及健康的行為等 (Friedman et al., 2008; Diamond, 2013)，研究表明，抑制控制的能力自幼兒期開始發展，並在青春期前達到顯著提升 (Best & Miller, 2010)，其中 3-5 歲是快速成長的關鍵期，隨後隨著前額葉皮層的成熟逐漸穩定 (Carlson et al., 2004)。

現今科技越來越進步，網路也更加發達，人們的生活型態改變，Raichlen 與 Alexander (2017) 曾提到，現代人坐式生活增加，長時間保持坐姿或缺乏足夠的身體活動，會對認知發展產生了負面的影響，而在教育現場也觀察到，部分學童在抑制控制方面表現較

弱，國小階段，學業表現、人際關係、以及健康狀況對學童來說都極為重要，而這些能力與抑制控制相互影響。Romero-López 等 (2021) 指出，抑制控制能力和孩子的外在行為為有很大的關聯，缺乏抑制控制的孩子容易無法控制自己的不當行為，容易讓他們在社交場合中遇到困難，進而影響人際關係。Eisenberg 等 (2005) 也發現，抑制控制不足可能讓孩子更容易產生情緒失控和攻擊性的衝動行為，而這些攻擊性行為通常從童年時期就開始，並可能隨著時間越來越嚴重。因此，提升孩子抑制控制能力，能幫助他們調整行為，適應社會規範，並建立良好的人際關係和學習表現 (Romero-López et al., 2021)，預防或減少學童的攻擊性行為顯得更加重要 (Raaijmakers et al., 2008)。因此，如何通過運動來提升孩子的抑制控制能力，是一個值得關注的重要議題。McMorris 等 (2016) 主張運動對認知功能具有顯著的效果，能提升 BDNF 濃度，改善內側額葉功能，也能夠減少衝動，改善注意力、記憶和社交等。過去研究統整顯示，單次性運動能促進正腎上腺素的釋放，進而提升覺醒水平，有助於大腦有效過濾無關訊息，增進抑制控制功能，使有限的注意力能更集中於眼前任務，從而增進孩童的學習表現 (Silva et al., 2015)。然而改善抑制控制有許多方法，例如：正念與冥想訓練、運動介入、認知訓練等，其中又以運動最廣為運用，過去研究顯示，運動介入被證明是一種有效提升抑制控制的方法 (Chang et al., 2012)。而急性運動則能立即調節神經遞質 (如多巴胺、腎上腺素) 和活化前額葉皮層，快速改善短期內的抑制控制、專注力及執行功能表現，效果雖然短暫，但在考試、壓力調節或需立即性提升認知表現等情境下更加適用 (Chang et al., 2012; Hillman et al., 2009)。特別是在中等強度的運動中，對抑制控制的改善最為顯著，適應性容量模型 (Adaptive Capacity Model) 提到，適當的運動強度能強化認知功能和執行功能 (Raichlen & Alexander, 2017)。高認知要求運動介入也被證實在提升認知功能與執行功能方面具有顯著效果，尤其是結合運動與認知挑戰的雙重任務形式。研究指出，高認知要求的運動 (如舞蹈、跆拳道、足球及體感遊戲) 能有效促進前額葉皮質等腦區活化，並提升執行功能的特定表現 (Ali et al., 2022; Maillot et al., 2012)。然而，過去研究結果，並非所有高認知要求的運動所帶來的效益都優於低認知要求，部分顯示兩者在認知功能提升上效果相當，且各自在特定執行功能上有所優勢 (Tsai et al., 2014; Gallotta et al.,

2015)，總體而言，運動中的認知要求調節需依據個體需求進行調整，以達到最佳的認知效益。

第二節 研究目的

本研究旨在探討急性認知要求運動介入對國小學童抑制控制能力之影響，並進一步比較不同認知要求運動情境對抑制控制表現的效果差異。研究以 Go/No-go task 為測量工具，分析受試者在三種情境（高認知要求運動、低認知要求運動與控制情境）介入後，於反應時間與正確率表現之改變幅度。

主要的目的有二：

- 一、探討 Go/No-go task 的反應時間縮短幅度，在高、低認知要求情境、控制情境之間是否有差異。
- 二、探討 Go/No-go task 的正確率進步幅度，在高、低認知要求情境、控制情境之間是否有差異。



第三節 研究假設

- 一、Go/No-go task 的反應時間縮短幅度高認知要求運動情境大於低認知要求運動情境大於控制情境。
- 二、Go/No-go task 的正確率進步幅度高認知要求運動情境大於低認知要求運動情境大於控制情境。

第貳章 文獻探討

第一節 抑制控制對兒童的重要性

一、抑制控制對兒童發展的影響

執行功能負責高階認知過程，通常與額葉的發展有關，是由上而下的心理過程，影響個體的行為、情緒控制與社交互動。最常被引用的執行功能定義的模式是 (Diamond, 2013)，該模式指出，執行功能由三個核心成分組成：分別為抑制控制 (inhibitory control，包含反應抑制、干擾控制)、工作記憶 (working memory) 及認知彈性 (cognitive flexibility)。抑制控制指的是個體控制注意力、行為和情緒的能力，以做出更適當或所需的行為，而非依循內在慣性或外在刺激；工作記憶則是將資訊保存在腦中進行運作與規劃；認知彈性代表能夠從不同角度看待事物、空間或人際互動。在這三個核心成分之上，還可以發展出更高層次的執行功能，如推理、問題解決與長期計畫。

Barkley (1997) 指出抑制控制是執行功能中最基本的要素，影響其他功能的運作。抑制控制幫助個體控制注意力、行為、思想和情緒，抵抗內在衝動或外在誘惑，並做出適當反應，使人們不受環境刺激或個人習慣的影響，能夠選擇如何行動。抑制控制分為兩個方面：干擾控制 (認知抑制、選擇性注意) 和反應抑制。干擾控制專注於抑制無關或多餘的訊息，有助於保持專注，特別是在環境中有干擾的情況下，例如：上課時，有同學書包上的防身警報器誤觸，突然響起，其他學生能不受干擾，繼續專注於課堂，或是考試時，操場上正進行籃球比賽，此起彼落的加油聲響起，在教室內考試的學生能不受加油聲影響，專注於答題上，這些是選擇性注意；認知抑制則是學生在寫作業時，突然想到放學後要和朋友打球，但他壓抑這個分心的念頭，繼續專注在解數學題目上；反應抑制是指控制衝動行為，幫助個體在面對誘惑或不當行為時做出更合適、更成熟的行為選擇。例如：當一名學生在課堂上想要插嘴時，他能夠抑制這個衝動，舉手等老師叫他再發言；操場上，當一名學生被別人無意中撞到時，他能控制自己的衝動，沒有立刻生氣或回擊，而是冷靜地處理這個情況。干擾控制和反應抑制相輔相成，干擾控制確

保工作記憶中的相關訊息不被外界干擾，而反應抑制則幫助調整行為，避免衝動 (Diamond, 2013)。

抑制控制能力受到多種潛在因素的影響，其中神經與遺傳因素是很重要的基礎，前額葉皮層功能及多巴胺系統與抑制能力密切相關，遺傳也在其中扮演部分決定性角色 (Aron et al., 2014)。在此基礎上，年齡對抑制控制的發展有明顯的影響，兒童期逐步達到高峰，然而隨著老化和認知退化，老年期的抑制能力可能逐漸下降 (Williams et al., 1999)。此外，身體活動和良好的身體健康被證實能促進抑制控制的發展與維持，提供有效的生理支持 (Hillman et al., 2008)。然而，抑制控制能力也會受到內外部因素的減弱，壓力與焦慮是其中一項負面因素，因為這些情緒會消耗認知資源，削弱執行功能的表現 (Sandi, 2013)。同樣，睡眠質量也至關重要，睡眠不足或質量差會進一步損害抑制控制等執行功能 (Anderson & Horne, 2003)。值得注意的是，情緒狀態也對抑制控制有雙重影響，正向情緒與內在動機能增強抑制能力，而負向情緒則可能削弱其表現 (Wang et al., 2024)。

我們常以以下實驗性任務進行抑制控制測量，Go/No-go task：要求受試者在看到「Go」信號時快速做出反應，而在看到「No-go」信號時抑制反應，能測量反應錯誤率和反應時間；Stroop 任務：要求受試者命名字體顏色而忽略詞語的語義，例如，看到「紅」（綠色字體）時說出「綠色」能測量反應時間差和錯誤率；Flanker 任務：要求受試者專注於目標刺激（例如中央箭頭方向），忽略兩側的干擾刺激，能測量干擾條件下的反應時間差，最後 Stop-Signal 任務：要求受試者在發出「停止信號」後抑制正在執行的反應。

第二節 運動對抑制控制的影響

一、運動對認知功能的影響

在近年的研究中，運動作為一種非藥物介入改善認知功能的方式受到關注，運動能引起腦源性神經營養因子 (BDNF) 的濃度提升，促進神經增殖，增進內側顳葉功能，

也能促進神經遞質（如多巴胺）的釋放，進而增強注意力和執行功能（Chang et al., 2017），對提升認知功能有潛在效果。無論身體運動以單次（急性）運動形式進行（Roigg et al., 2013），或是以多次（長期）運動形式進行（Cornejog et al., 2015），都被證明能增強認知表現。Biddle 等（2011）發現，運動可顯著提升兒童和青少年的認知表現。課外體育介入和促進體育活動的計劃在提升認知方面尤為有效（Álvarez-Bueno et al., 2017）。此外，規律的身體活動與運動被認為可以預防認知衰退和神經疾病（Paillard, 2015）。運動和認知技能可能有相似的神經基礎，尤其在運動和認知任務時，會同時激活前額葉皮質、小腦和基底神經節等腦區，以增強大腦功能並促進神經可塑性，改善注意力控制。兒童的運動與認知技能發展會出現平行發展，然而，由於動作技能和認知能力的廣泛涵蓋，兩者的具體相關性尚未完全達成共識，近期研究強調特定認知過程和特定運動技能之間的複雜關係（Best, 2010）。

然而，日益增多的坐式生活（Owen et al., 2010; Church et al., 2011）可能帶來負面的影響，例如能量消耗過少，導致運動能力和認知能力的衰退（Raichlen & Alexander, 2017）。有許多研究指出，運動與認知之間有多方面的密切關聯，且特別強調體育活動對兒童和青少年認知發展的積極作用（Biddle et al., 2019）。過去的研究證明了運動對認知功能的正向影響，例如延緩神經退行性疾病的發生、提升空間學習與記憶、工作記憶及注意力（Bherer, 2015; Donnelly et al., 2016a）。研究指出雙重任務運動介入比單一任務具有更高的認知負荷認知要求，這有助於認知儲備的增強，認知儲備幫助個體適應神經損傷或應對認知負荷認知要求，能更有效地使用大腦網路來維持功能（Herold et al., 2018; Haji et al., 2015）。對於提升認知功能而言，OSE 介入在認知負荷認知要求方面效果顯著，原因在於 OSE 要求運動者在不可預測環境中即時反應，並制定計畫執行，具有較高的認知負荷認知要求和社交挑戰性。Zhu 等（2022）研究發現，經驗豐富的足球運動員在接受不同類型的急性介入後，進行 Stroop 顏色-字詞衝突任務時反應速度顯著提高。另外排球或網球，與封閉技能運動（CSE）相比，更能有效提高抑制控制與認知彈性，這些運動類型的高認知負荷認知要求已被證實能更有效改善兒童及老年人的認知

能力，結果支持了高認知負荷認知要求運動在改善執行功能和反應時間方面的效果，特別是在執行需要高負荷的認知任務時 (Gu et al., 2019)。

雖然大多數研究顯示運動能為認知帶來正向效益，不過在哪些條件下進行運動（如強度、持續時間、頻率、運動類型）能使其對認知增強最有效，仍有待釐清。

二、運動對於抑制功能的潛在效益

運動被認為是提升認知功能和抑制控制的有效方式，根據適應性容量模型 (ACM)，適當的運動強度能強化認知功能和執行功能，特別是中等強度的運動，約為 40-59% 的心率儲備 (HRR) 或氧氣攝取儲備 (VO₂R)，在 6 至 20 分的自我感知運動量表 (RPE) 上得分 12 至 13 分的範圍，最為理想 (Garber et al., 2011)。研究顯示，這類中等強度的運動能夠促進腦源性神經營養因子 (BDNF) 的分泌，進而增強抑制控制和其他認知功能 (Wheeler et al., 2020)。此外，針對 50 歲以上成人進行運動介入以提升認知功能的系統性回顧發現，不論參與者的認知功能水準，只要有運動訓練，就有益於認知功能。這些運動介入不需限制運動類型（如阻力訓練、有氧運動、瑜伽等），但需達到中等強度才能產生提升認知功能的效果 (Northey et al., 2018)。另一項研究探討了中等強度急性運動對久坐的肥胖長者的認知提升效果，研究結果發現中等強度運動能改善長者的血清 BDNF 及抑制控制能力 (Wheeler et al., 2020)。

運動介入的不同模式，如封閉技能運動 (CSE) 和開放技能運動 (OSE)，在提升 ADHD 患者的抑制控制和其他認知功能方面也有不同效果。封閉技能運動，如間歇性訓練和固定步調的腳踏車運動，在急性任務表現雖然無顯著改善，但 MRI 影像顯示中等強度的腳踏車運動有助於激活與抑制相關的大腦區域，如頂葉、顳葉及枕葉 (Mehren et al., 2019)。此外，12 週的游泳訓練也被證實有助於提升 ADHD 兒童的選擇性注意力和抑制控制能力 (Hattabi et al., 2019)。這些封閉技能運動因其重複性和規律性，有助於訓練注意力的持續性和抑制控制。相比之下，開放技能運動的變化性和挑戰性更高，例如治療性馬術活動、模擬馬術騎乘計劃及多種球類運動（如籃球、足球和乒乓球），都能有效改善 ADHD 兒童的抑制控制及社交行為，研究顯示，參加治療性馬術活動能顯著改善 ADHD 兒童的過動量表得分，並且提升他們的心血管健康和柔韌性 (Cuypers et al.,

2011)。

在其他特殊需求群體中，運動介入同樣顯示出顯著效果。例如，自閉症譜系障礙 (ASD) 兒童在接受運動介入後，認知彈性和抑制控制顯著增強，進一步支持運動介入作為有效改善 ASD 兒童情緒和行為調節的手段 (Tse et al., 2021)。另外研究也發現，中等強度的運動不僅適用於一般兒童，對 ADHD 兒童的效果更加顯著。在一項針對具有一年以上乒乓球運動經驗的 ADHD 兒童的研究中發現，進行中等強度的乒乓球訓練後，他們的 Stroop 顏色和文字測驗 (SCWT) 和威斯康辛卡片分類測試 (WCST) 得分顯著提升，表現出更好的抑制控制和注意力分配 (Pan et al., 2016)。對於跆拳道運動介入 ADHD 青少年的研究則顯示，18 週的訓練後，參與者的注意力抑制控制和視覺選擇性注意力均有顯著提升 (Kadri et al., 2019)。

此外，動態遊戲的創新技術也成為提升 ADHD 兒童認知功能的有效介入方式。例如，利用 Xbox Kinect 紅外線熱成像相機捕捉的遊戲介入，對兒童認知有正向效益 (Benzing & Schmidt, 2017)。一項為期 6 週的虛擬現實跑步訓練發現，ADHD 兒童的社交問題發生率在家長追蹤報告中顯著改善，並且在執行功能、記憶力和步伐頻率方面顯著提升 (Shema-Shiratzky et al., 2019)。此外，針對學齡前 ADHD 兒童的一項研究顯示，使用包含重要他人 (如家長) 參與的遊戲型運動訓練，透過「ENGAGE」方案顯著改善兒童的過度活躍、攻擊性行為和注意力 (Healey & Halperin, 2015)。相較於健康兒童，ADHD 兒童的抑制控制能力普遍較差，這在運動介入的研究中也有充分反映。研究顯示，持續且適當設計的運動介入，不僅能在短期內改善 ADHD 兒童的抑制控制能力和反應時間，還有助於提高其整體執行功能。這表明，針對 ADHD 兒童的運動介入設計應注重活動的多樣性、適合的強度及頻率，以便達到最佳的認知和行為改善效果。(Pan et al., 2016)

由上述可知，運動介入不只是對於健康兒童的抑制控制能力具有正向效益，對於特殊族群也有同樣的效果，因此我們可以知道，運動對於改善兒童抑制控制有極大的效益。

三、急性運動如何影響認知表現的內在運作過程

急性運動對認知能力有正面影響，然而運動的持續時間、強度、認知任務的類型以及參與者的健康狀況都是重要的調節因素。研究發現，輕度到中等強度的運動表現出顯

著的正面效果，而高強度運動的效果則較不顯著。運動持續時間超過 11 分鐘的介入效果尤為顯著，而運動後 11 到 20 分鐘內進行的認知測試結果最佳，超過 20 分鐘後效果則減弱 (Chang et al., 2012)。運動強度和持續時間是急性運動研究中的關鍵調節變量，特別是在與心率、兒茶酚胺和腦源性神經營養因子 (BDNF) 等機制。

過去的研究以單次有氧運動介入 40 名認知表現較高與較低的兒童，結果顯示中等強度的有氧運動能促進整體認知表現，且對表現較差的群體有更顯著的影響。具體來說，表現不佳的兒童在運動後的反應準確度和干擾控制能力顯著改善，達到與高表現組相近的水平，而高表現組則未出現明顯的行為改變。生理測量結果也顯示，運動後表現較差的群體出現了更大的 P3 振幅，這種現象在坐姿休息狀態下未觀察到。整體而言，單次中等強度運動對抑制控制能力較差的兒童有顯著益處 (Eric S. Drollette, 2013)。這一實驗結果也呼應了 Mahar 等 (2006) 的報告，即基線表現較差的兒童透過增加課堂體育活動機會可以更有效地提升任務表現。綜合分析顯示，急性運動的效果可能更明顯地體現在認知能力較低的兒童群體 (Pontifex et al., 2009; Drollette et al., 2012; Hillman et al., 2013)。

四、急性運動對抑制控制影響

近年來，越來越多研究顯示，急性的身體活動能為認知與大腦健康帶來急性的短暫效益 (Hillman et al., 2008)。2018 年《美國身體活動指南》指出，中度至高強度運動在運動後的恢復期間，能為認知帶來短暫的正面效果 (Erickson et al., 2019)。相關研究也發現，急性有氧運動能改善包括抑制控制、工作記憶和認知彈性等執行功能，這些效果會受到運動強度、時間、發展階段以及個人基準執行功能水平的影響。

Shinji Takahashi 與 Philip Grove (2023) 進行了一項實驗，探討急性開放技能運動與封閉技能運動在抑制控制與大腦活化上的影響。他們邀請 24 名右撇子的年輕成人參與羽毛球、跑步及坐姿休息三種介入，每項介入持續 10 分鐘，並在活動期間監測參與者的心率和氧氣消耗。介入前後，參與者進行 Stroop 測驗以評估反應時間和準確率，同時使用功能性近紅外光譜 (fNIRS) 記錄前額葉的血流動態。結果顯示，羽毛球運動後參與者在不一致條件的反應時間顯著縮短，而跑步和坐姿休息對測驗表現無顯著影響。此

外，fNIRS 測量顯示羽毛球與跑步對前額葉的血流動態並無顯著差異，顯示羽毛球運動在不增加大腦活化的情況下提升抑制控制能力，這可能反映了急性開放技能運動提升了神經效率。

另一項針對高強度間歇運動 (HIIE) 與中等強度連續運動 (MICE) 對抑制控制影響的研究也提出相似結論。研究顯示，HIIE 後參與者在抑制控制任務中的反應時間顯著縮短，且準確度有所提高，效果能維持至少 90 分鐘。相比之下，MICE 和靜態控制並未顯現同等的效果。HIIE 的優勢可能與運動提升前額葉皮質的血氧供應有關，該區域與抑制控制密切相關。此外，運動期間腦部的氧氣和血流量增加，以及運動引起的多巴胺與去甲腎上腺素的釋放，也被認為能促進認知表現 (Shudong Tian & Hong Mou and Fanghui Qiu, 2021)。

總結來說，急性的開放技能運動及高強度間歇運動在增強抑制控制方面展現出顯著效果，而封閉技能運動或中等強度連續運動的效果則較為有限。急性開放技能運動可能透過更高的神經效率來達成這些益處。

五、跳繩運動對認知發展的益處

在促進兒童認知發展的研究中，動作協調被視為與認知表現密切相關的關鍵運動技能之一，這種協調要求神經和肌肉系統密切合作，並在持續運動中保持穩定控制 (Vandorpe et al., 2012)。跳繩則是高度依賴動作協調的運動，跳繩運動不僅能提升兒童的體能，還能促進大腦的執行功能、穩定性和專注力 (Deng et al., 2024)，尤其在選擇性注意力和動作協調方面。選擇性注意力是一種重要的認知功能，幫助兒童在學習中過濾相關資訊並抑制無關干擾。研究顯示，選擇性注意力在 7 歲左右逐漸穩定，並在 8 至 9 歲持續發展 (Plebanek & Sloutsky, 2019)。Isbell 等 (2017) 指出，選擇性注意力具有「倍增」效果，能顯著促進其他認知領域的發展。為了提升兒童的選擇性注意力，學術界對運動介入，特別是跳繩等動作協調類運動的影響日益。然而花式跳繩更進一步要求多樣化的動作組合，例如側向移動、單足跳和交叉跳，這些動作能全面訓練兒童的身體控制和靈活性，要求兒童在運動過程中進行持續的認知處理，這樣的運動過程，可能直接促進大腦的執行功能、穩定性和專注力，將精細和協調動作納入運動計畫，有助於青春

前兒童的高階認知和動作技能的提升，此外，兒童在 5 至 10 歲之間運動和認知的平行發展尤為顯著，因此這段時期的跳繩運動介入可能有效提升兒童的協調能力和認知能力 (Chang et al., 2012)。

過去研究顯示，花式跳繩有效提升兒童的速度、靈活性、力量和協調性 (Zhao et al., 2023)。跳繩活動中的高頻跳躍、動作變換及音樂節奏，要求參與者進行精確的手腳協調、時間掌控和空間感知，這些要求對選擇性注意力和持久專注力更具挑戰。10 週的花式跳繩訓練能顯著提升 7 至 9 歲兒童的動作協調性和選擇性注意力，透過 (KTK) 評估兒童的動作協調，並使用 d2 注意力測試量化選擇性注意力，實驗結果顯示，花式跳繩組在介入後對動作協調的積極影響。此外，d2 測試結果顯示，花式跳繩組在注意力集中度 (TN-E) 和集中表現 (CP) 上顯著提升，錯誤率 (E%) 和波動率 (FR) 顯著下降，支持跳繩訓練對穩定和提升兒童選擇性注意力的效果，由此可證花式跳繩結合多樣動作與高強度要求，為兒童的動作協調與選擇性注意力提供了良好的訓練，這些結果與過去文獻一致，表明運動能在兒童的關鍵發展階段促進神經系統發展，從而增強他們的協調能力和認知能力。跳繩要求高度的動作協調和精準性，這可能增強下肢力量、節奏感和身體平衡，使兒童在多樣動作的要求下仍能保持專注。此外，運動中的高強度要求刺激神經遞質 (如多巴胺) 的釋放，進而促進注意力發展，因此跳繩是學校教育中促進認知和身體發展的理想工具 (Deng et al., 2024)。

綜上所述，跳繩是一種成本低廉、結構簡單且易於實施的活動，無需複雜器材，不僅能滿足不同年齡兒童的運動需求，更能作為有效的教育介入手段，以增進兒童各方面的發展。

第三節 認知要求運動對執行功能的影響

一、執行功能與認知要求運動概述

執行功能 (EFs) 是支持複雜且目標導向的感知、記憶與行動過程的選擇、規劃、協調與監控的認知操作。EFs 包括核心功能 (例如抑制控制、工作記憶和認知彈性) 及高

階功能（例如推理、規劃和問題解決等）。EFs 與兒童及青少年的學業表現、睡眠品質以及身心健康密切相關 (Liang et al., 2021)，多數研究顯示不同認知要求運動對執行功能有不同的效果，運動中的認知要求強度對執行功能的影響具有關鍵性作用。具備較高認知要求的運動通常比僅涉及基本動作的運動更能有效提升執行功能，特別是在注意力控制、工作記憶和反應抑制等方面。這表明運動中融入認知挑戰可能是改善執行功能的一種重要策略。

運動-認知訓練 (Motor-Cognitive Training)，可以促進神經可塑性 (neuroplasticity)，從而改善腦部結構與功能，並提升認知表現。動作-認知訓練分為連續運動認知訓練 (Sequential Motor-Cognitive Training) 和同步型訓練 (Simultaneous Motor-Cognitive Training)。連續運動認知訓練，指的是先進行運動訓練，接著進行認知訓練。舉例來說，一個兒童早上進行 30 分鐘的中等強度跑步後，下午完成 20 分鐘的記憶訓練。運動後釋放的 BDNF 提升神經可塑性，隨後的記憶訓練加強神經元整合，可能改善記憶力；同步運動認知訓練 (Simultaneous Motor-Cognitive Training)，指同時進行運動訓練與認知訓練，這種方式可能更顯著地促進神經可塑性，因為運動和認知訓練彼此相輔相成。例如：一名國小學童一邊騎腳踏車，一邊解數學題。無論是連續型還是同步型訓練，都能促進神經可塑性來提高腦結構功能，改善認知表現 (Herold et al., 2018)。

二、不同認知要求強度運動介入的改善效果

運動結合不同認知訓練的介入方法，已被證實對多方面的認知功能和執行功能具有顯著的促進效果。Bustillo-Casero 等 (2020) 研究了 13-14 歲青少年，進行為期 12 週的運動介入，每週 2 次，每次 60 分鐘。結果顯示，高認知要求的雙任務組在運動技能提升方面效果最佳，並且相比單純運動或靜態活動，結合高認知要求的運動介入對認知功能的促進更為顯著。體感遊戲也是一種高認知要求的運動形式。Maillot 等 (2012) 在研究中使用任天堂 Wii 平台，參與者每週進行 2 至 3 次，每次 20-60 分鐘的體感遊戲訓練，持續 6 至 16 週。結果顯示，參與體感遊戲訓練的組別在執行功能、處理速度和功能性體適能方面有顯著改善。Gallotta 等 (2015) 對 8 至 10 歲健康兒童的研究顯示，加入認知要求的運動介入可以有效提升兒童的注意力表現。參與者每週 2 次，每次 50 分鐘，

持續 5 週，實驗組在注意力測驗中的表現顯著優於控制情境。在成人群體中的急性運動研究中。吳紹瑀 (2017) 探討了單次高低認知要求運動對成年人抑制控制的影響，研究發現，高認知要求運動情境下的 Flanker 任務反應時間進步量顯著高於控制情境和低認知要求情境，顯示高認知要求的運動對特定執行功能有更大促進作用。

此外，針對注意力缺陷多動障礙 (ADHD) 青少年的研究中，Kadri 等 (2019) 設計了為期一年半的跆拳道訓練。結果表明，跆拳道練習能顯著改善 ADHD 青少年的注意力和抑制控制能力。這些研究共同表明，高認知要求的運動介入在促進認知功能、執行功能和運動技能方面具有更顯著的效果，尤其在提升注意力、抑制控制以及運動技能等方面。

三、 認知要求運動對於抑制功能潛在效益

運動中的認知要求指的是個體在運動過程中面臨的各種心理挑戰，例如專注於特定目標、處理多重任務、快速做出決策、應對外界干擾以及記憶和處理資訊的能力。這些挑戰可能來自於運動本身的複雜性，也可能來自於外加的認知任務，這些認知要求促使大腦參與更多的執行功能處理，進一步激發神經可塑性並提升與注意力、工作記憶、認知靈活性和反應抑制相關的能力。

根據適應性容量模型 (ACM) 中提及，增加運動過程中的認知要求，有助於提升個體的認知和執行功能 (Raichlen & Alexander, 2017)，特別是在增加腦源性神經營養因子 (BDNF) 分泌方面，對認知功能產生正面影響 (Zhang, 2023)。在運動介入研究中，增強外在負荷能顯著提升運動中認知要求的強度，例如在主要任務中加入次要任務；相反地，降低外在要求或提升個體熟練度則能有效降低整體認知強度 (Herold et al., 2018)。Sánchez-Alcalá 等 (2025) 研究指出，相較於低認知要求的跑步介入，高認知要求的舞蹈訓練能顯著提升工作記憶、注意力和抑制控制等執行功能，並促進前額葉皮質等大腦區域的活化。將認知訓練與平衡訓練結合也被證實可改善運動控制，Hagovská 等 (2017) 曾將認知任務與體能活動做結合，發現介入後，在認知功能和注意力方面顯著優於僅接受傳統認知訓練的組別。此外，動作感應遊戲除了提升執行功能外，因趣味性提升，還能

使參與者在介入過程中持有較高的積極態度，因而能長期持續進行，未來也更好運用在生活中 (Kayama et al., 2014)。

不同強度的認知要求運動介入，各年齡層及不同健康狀態的受試者在認知功能上的效果也顯示出顯著差異。對於 4 至 5 歲的幼童，參與結合認知活動的運動組在自我調整和認知控制方面表現優於僅參與運動的組別 (Ureña et al., 2020)。對 8 至 10 歲健康兒童的研究顯示，加入認知要求的運動介入可以有效提升兒童的注意力表現 (Gallotta et al., 2015)。另一項實驗，使用不同認知要求的反應燈 Blaze Pod 介入國小學童的研究發現，在一致與不一致情境中反應正確率未顯顯著差異，但在不一致情境下，高認知要求的運動情境的反應正確率優於低認知要求的情境 (郭怡伶, 2022)；青少年的部分，研究顯示高強度運動可提升青少年的抑制控制 (Gejl et al., 2018)。Byun 等 (2014) 的研究針對成年人進行研究，也指出成人則在中低強度下受益；在久坐的老年人中，隨機分配不同認知要求和運動模式：第一組進行高認知要求的舞蹈運動，第二組從事低認知要求的跑步機慢走運動，第三組為控制情境。經過每週三次、每次 50 分鐘的中等強度有氧運動訓練，持續四個月後，研究結果顯示，久坐的老年人在經過高認知要求的舞蹈訓練後，在各項認知功能測試上表現最佳，然而雙重任務的認知要求不僅對健康者有益，對輕度認知障礙 (MCI) 老年人同樣有效，對健康老年人和輕度認知障礙 (MCI) 患者而言，高認知要求的雙重任務介入顯著優於單純的認知訓練，有助於提升整體認知功能和注意力 (Hagovská et al., 2017)。

過去有研究顯示，運動介入認知表現較高與較低的兒童，結果顯示中等強度的運動能促進整體認知表現，且對表現較差的群體有更顯著的影響。(Pontifex et al., 2009; Drollette et al., 2012)。跆拳道為開放性運動，具有較高的認知要求，結果顯示跆拳道介入後，有效提升 ADHD 患者的注意力和反應時間以及準確性 (Kadri et al., 2019)。另外一項研究針對 ADHD 兒童與典型發展的兒童 (TD 組) 進行的運動介入研究顯示，認知要求強度的不同能對兩組兒童的認知功能產生不同的急性效果。在低認知要求情境下，ADHD 兒童的反應時間顯著快於 TD 組，而在高認知要求情境下，對於提升準確度尤為顯著，尤其在抑制控制和精確度上有顯著改善。這表明對於 ADHD 兒童而言，高認知

要求的介入更能有效提升其認知功能，而低認知要求則更有助於提升其反應速度 (Pan et al., 2016)。

然而，並非所有高認知要求的運動介入都比低認知要求更有效。有過去有些研究顯示，高、低認知要求的運動介入在認知功能提升方面效果相似，但在特定執行功能上有所不同。例如，高認知要求介入對於提升認知彈性效果較佳，而低認知要求介入在改善工作記憶上更具成效 (Tsai et al., 2017)。對於兒童，同時進行認知要求和體能活動的介入對於的注意力改善效果不如單一運動或純認知訓練 (Gallotta et al., 2015)。

總體而言，高認知負荷的運動介入在提升認知功能方面顯示出較為顯著的效果，但在不同年齡層及健康狀態下仍需根據個體需求進行適當調整，以獲得最佳認知效益。

第四節 文獻探討總結

本研究探討了抑制控制對兒童的重要性，以及運動對認知功能和執行功能的潛在影響，特別探討高認知要求運動介入如何提升抑制控制。抑制控制是執行功能的核心，負責個體的行為調控、情緒管理與專注力維持，其發展受神經生理基礎、年齡及外部環境的影響，對兒童的學習表現與社會適應至關重要。

運動被證實是提升抑制控制的有效方法。中等強度的有氧運動能促進腦源性神經營養因子 (BDNF) 的分泌，增強神經可塑性及抑制控制能力。研究顯示，無論是急性運動 (單次介入) 還是長期運動 (多次介入)，都能提升認知表現，尤其是基線認知能力較低的兒童受益更為明顯。此外，開放技能運動 (如跳繩、足球) 因其高認知挑戰性，相較封閉技能運動 (如跑步)，更能有效增強注意力、工作記憶和反應抑制等執行功能。在運動介入的方式上，動作-認知訓練被認為能顯著促進神經可塑性並提升腦結構與功能。連續型訓練和同步型訓練均能改善認知表現。

總而言之，運動介入，特別是高認知要求的運動形式，對提升兒童的抑制控制與執行功能具有重要作用，雖然急性運動對認知功能的效益在過去有許多正面的支持，但跳繩運動對於抑制控制的影響程度則有所不同，我們想要再進一步研究，不同認知要求的

急性跳繩運動，對執行功能中抑制控制的影響為何，為兒童的認知發展提供更好的成長機會。



第參章 研究方法

本章內容為研究方法與步驟，本章共分為以下四節，包括：第一節研究對象；第二節研究工具；第三節研究設計與流程；第四節資料處理與統計分析。

第一節 研究對象

本研究對象為國小三年級學童，採群集隨機抽樣 (Cluster Random Sampling)，並進行組內設計，共 28 位受試者。所有受試者在實驗開始前均接受了健康狀況檢查，確保無任何特殊生理問題，並在家長詳細閱讀須知後簽署了同意書。本研究參與者須符合以下條件：(1) 年齡介於 8-9 歲之學童；(2) 有規律運動的孩童，一週達到 150 分鐘；(3) 能獨立完成跳繩動作之學童；(4) 排除有重大健康問題或過去六個月內受過重大運動傷害。

第二節 研究工具

一、認知測驗

本研究採用 Gijssbert Stoet professor 所開發 PsyToolkit 的 Go/No-go task 進行測驗：測試參與者在看到不同刺激時，能否快速做出反應 (Go) 或抑制反應 (No-go)。這是一個用來評估執行功能的有效工具，特別是抑制控制。兒童只需要對特定的「Go」刺激做出反應，對「No-go」刺激抑制反應，PsyToolkit 測驗還可以設計多次「Go」回合後插入「No-go」回合，這樣會讓兒童在熟悉反應後更難抑制衝動，從而測量其在高認知要求運動介入後的抑制功能，這對於評估高、低認知要求運動介入後的表現差異，非常有效果。由於 Go/No-go task 不會引入過多複雜指示，此測驗符合國小年齡段兒童的認知能力。

測驗開始，螢幕背景為黑色，當螢幕出現綠色橢圓形，圖形中寫出 GO Press the space bar，參與者需要在 2 秒內按下指定鍵；當螢幕出現紅色橢圓形，圖形中寫出 NOGO Press

nothing，則保持不按鍵，測驗每回合會有隨機的間隔時間，以避免參與者預測刺激的出現。



圖 3-1 Go/No-go task 示意圖

二、認知負荷評級量表 Cognitive Load

Sweller (1988) 指出認知負荷理論人類在學習過程中如何處理和管理有限的認知資源。根據其定義，認知要求是指在執行特定任務時對工作記憶的需求。本研究採用 (Paas, 1992) 提出之認知負荷評級量表，以數字將認知負荷量分級，範圍從 1 至 9，數字越大代表所需之認知負荷越高，反之則認知負荷越低，研究將認知負荷量表細分 1-3 級為低認知負荷，4-6 為中認知負荷，7-9 為高認知負荷。

認知負荷評級量表	
1	非常低的腦力消耗
2	
3	低的腦力消耗
4	
5	適度
6	
7	高的腦力消耗
8	
9	非常高的腦力消耗

表 3 - 1 認知負荷評級量表

三、運動自覺量表 Borg CR10 Scale

RPE 10 級版本，也稱為 Borg CR10 Scale，是一種用來評估運動強度的自我感知量表。該版本的範圍從 0 到 10，讓運動者根據自身的感受評估運動的努力程度。每個數字代表著不同的運動強度，從「沒有感覺」到「非常非常強」。

運動自覺量表 Borg CR10 Scale		
RPE 等級	描述	運動強度
1	沒有感覺	低強度
2	非常輕鬆	
3	輕鬆	
4	適度	中強度
5	有點強	
6		
7	非常強	高強度
8		
9		非常高強度
10	非常非常強	

表 3-2 運動自覺量表

四、最大心跳率 (HRmax)

適當的運動強度有助於提升認知功能和執行功能，尤其是中等強度的運動。中等強度運動能刺激腦源性神經營養因子 (BDNF) 的分泌，從而改善抑制控制和其他相關的認知能力。因此本研究所設計的跳繩運動，學童於介入後立即測量心跳，須達到中等強度。

美國心臟協會 (AHA)：AHA 建議，中等強度活動應達到最大心率的 50% 至 70%。
8 歲學童中等心跳率範圍：101-142 次/分鐘；9 歲兒童的中等強度心跳率範圍為：101-141 次/分鐘。

本研究使用 Polar H10 心率傳感器進行測量，心率傳感器連接到胸帶上，傳感器應

位於胸部中央，靠近心臟的部位，以獲取最準確的數據。



圖 3 - 2 Polar H10 心率傳感器

五、Feeling Scale (FS)

Feeling Scale (FS) 是一種用來測量個體在運動過程中主觀感受到的情緒狀態 (Affect) 的量表。主要用於評估運動時的情緒體驗，範圍從-5 (非常不愉快) 到+5 (非常愉快)，可以用作前測與後測，以確保運動情緒的穩定，從而減少情緒變化對研究結果的影響。

情緒感受量表	
+5	非常愉快
+3	愉快
+1	稍微愉快
0	普通
-1	稍微不愉快
-3	不愉快
-5	非常不愉快

表 3 - 3 情緒感受量表

第三節 研究設計與流程

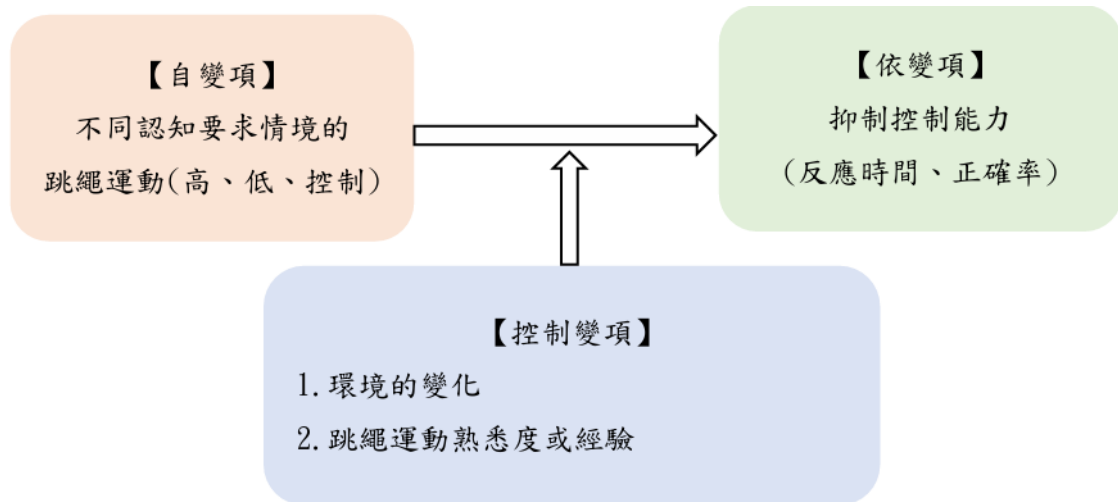
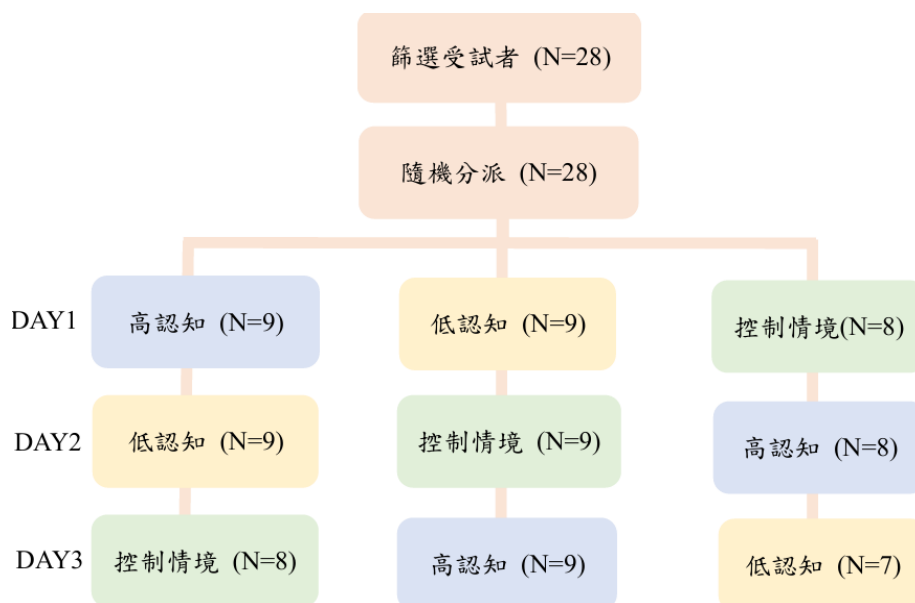


圖 3-3 研究架構圖

本研究採組內設計，將 28 位參與者，分別參與三種不同的介入情境，為高認知要求情境 (A)、低認知要求情境 (B) 以及控制情境 (C) 的運動介入。實驗中參與實驗的順序，將進行次序平衡，排列成三種不同的順序組合，分別為：ABC、BCA、CAB (如圖 3-4)。

熟悉期 (Familiarization Phase) 研究者會向受試者說明實驗流程及事先進行一周的基礎跳繩運動訓練，在熟悉階段結束後，至少需間隔 72 小時才進行第一次介入。為了減少不同介入情境之間的相互影響，每次介入之間的間隔時間同樣至少為 72 小時。受試者每次會在介入前 10 分鐘進行 Go/No-go task 以及情緒感受量表，介入後則須立即完成運動自覺量表 Borg CR10 Scale、認知負荷評級量表、情緒感受量表以及心率測量，確保介入達到中等運動強度，介入後 10 分鐘接著再進行 Go/No-go task。介入內容說明如下：



註:其中 2 位未完成三次介入，最終納入分析樣本為 26 位。

圖 3 - 4 受試者介入流程圖



圖 3 - 5 實驗流程圖

一、不同認知要求運動

以跳繩運動介入，每次運動時間為 30 分鐘，首先 5 分鐘的暖身活動，伸展腿部及腰部後，慢跑或快走一圈操場，逐漸提高心率，接著 20 分鐘主要活動，以不同認知要求跳繩介入，最後 5 分鐘伸展活動，緩慢步行，降低心率並簡單的腿部和腰部伸展運動。

- (一) 高認知跳繩運動介入：依照指令進行跳繩運動。
- (二) 低認知跳繩運動介入：跳繩基礎動作。
- (三) 控制情境：根據美國運動醫學學院 (Medicine, 2013) 第 437-446 頁的建議，進行 10 次伸展動作 2 回合，每次保持 30 秒。

二、介入時間

介入時間在早上 8:00-9:25 之間，每次運動介入時間為 30 分鐘。

三、操弄驗證工具

- (一) 運動自覺量表 Borg CR10 Scale：運動自覺量表是個人在實驗當下的主觀評價，將在介入後填寫立即評估。
- (二) 認知負荷評級量表 Cognitive Load：面對一種特定工作時，其認知系統上產生的負荷量即為認知要求，範圍從 1 至 9，數字越大代表所需腦力消耗越高，將在介入後填寫立即評估主觀運動感受。
- (三) Polar H10 心率傳感器：Polar H10 心率傳感器提供高精度心率監測，將其連接到胸帶上，傳感器應位於胸部中央，靠近心臟的部位，以獲取最準確的數據。
- (四) 情緒感受量表：Feeling Scale (FS) 是一種用來測量個體在運動過程中主觀感受到的情緒狀態 (Affect) 的量表，主要用於評估運動前後的情緒狀態。

四、實驗環境

- (一) 運動介入情境/控制情境：學校地下室/教室進行，避免受到氣候因素影響。
- (二) 認知測驗：電腦教室進行，每位參與者一人一臺電腦，進行 Go/No-go task。

第四節 資料處理與統計分析

將各情境介入後，以 Go/No-go task 進行測驗，並將依變項的結果後測減前測，以獲得改變量，接著再以重複量數單因子變異數分析，針對反應時間跟正確率改變量進行統計分析，若達顯著水準，則進行事後比較。

實驗操弄變項：運動自覺量表、認知負荷評級量表、心率指標以運動時測量的數據進行重複量數單因子變異數分析，情緒感受量表則將測量的結果後測減前測，以獲得改變量，接著再以重複量數單因子變異數分析，若達顯著水準，則進行事後比較。

測量所得的變項依統計軟體之格式進行登錄，輸入 SPSS For Mac 23.0 中文版電腦統計軟體進行統計分析，並將本研究各項統計考驗顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

第肆章 研究結果

本章內容為研究結果與討論，共分為以下三節，包括：第一節、基本資料；第二節、實驗操弄變項；第三節、行為表現。本研究招募 28 名孩童為受試者，其中 2 名中途退出或資料流失，最後使用 26 名受試者之資料進行統計分析。

第一節 基本資料

26 名受試者之基本資料如表 4-1 所示，其中男性人數 14 人，女性人數 12 人。受試者為臺北市某國小 8-9 歲孩童，平均年齡 8.67 ± 0.48 歲；身高 134.88 ± 5.59 公分；體重 30.75 ± 6.89 公斤；BMI 16.77 ± 2.97 公斤/公尺²。

變項	<i>M</i>	<i>SD</i>
年齡 (歲)	8.67	0.48
身高 (公分)	134.88	5.59
體重 (公斤)	30.75	6.89
BMI (公斤/公尺 ²)	16.77	2.97

表 4-1 受試者基本資料摘要表 (N = 26)

第二節 實驗操弄變項

一、情緒感受量表 (FS)

結果顯示，情緒變化量在三種情境中具有統計上顯著差異 ($F(2, 50) = 3.458, p = .039, \eta^2 = .122$)，其中低認知要求運動後之情緒下降程度最為明顯 ($M = -0.96$)，與控制情境之差異達顯著水準 ($p = .046$)，而高認知要求運動情境亦出現負向情緒變化 ($M = -0.73$)，但未與控制情境達顯著差異。

測量時間	控制情境 $M (SD)$	高認知 $M (SD)$	低認知 $M (SD)$
FS-前測	2.92 (2.17)	2.85 (1.97)	2.96 (1.99)
FS-後測	2.96 (2.16)	2.12 (2.50)	2.00 (2.88)

表 4-2 各情境情緒量表資料摘要表 (N = 26)

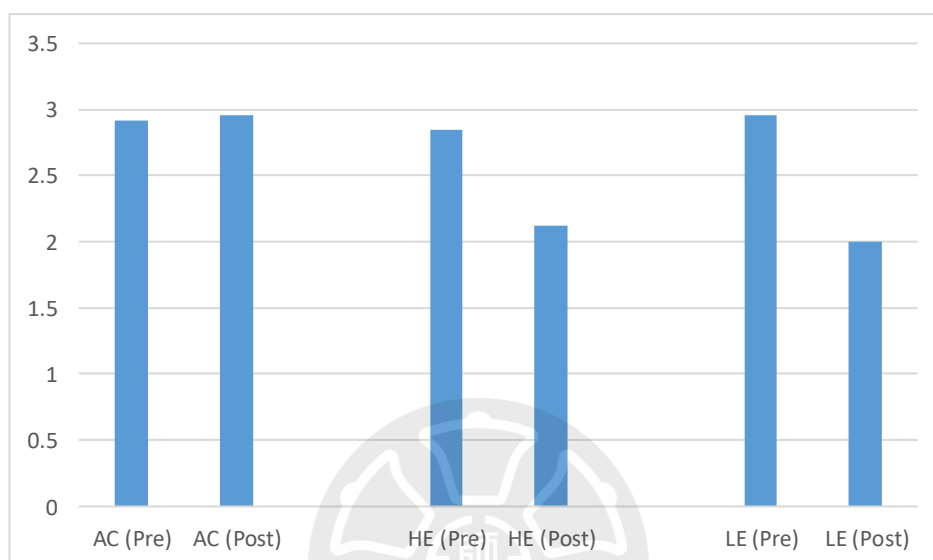


圖 4-1 各情境情緒量表 (FS) 前後測分數

二、運動自覺量表 RPE Brog10

結果顯示，在三種不同情境下參與者的主觀自覺運動強度 (RPE) 存在顯著差異 ($F(2, 50) = 44.184, p < .001, \eta^2 p = .639$)。控制情境的 RPE 明顯低於低認知要求與高認知要求情境 ($p < .001$)，而低認知與高認知組之間則無顯著差異 ($p = .533$)。

變項	M	SD
控制情境	2.12	0.86
低認知	5.62	2.02
高認知	5.38	2.10

表 4-3 運動自覺量表資料摘要表 (N = 26)

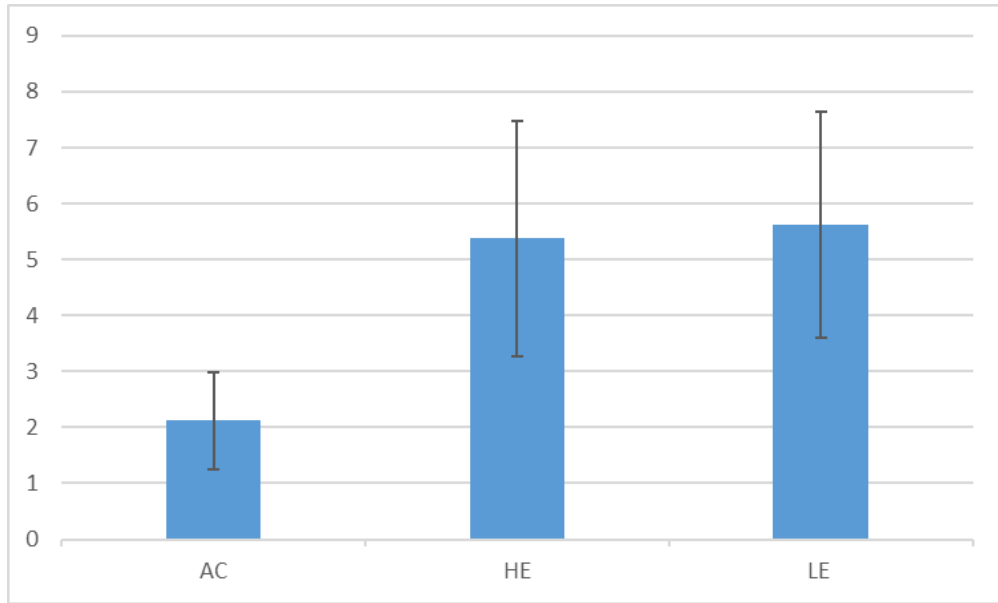


圖 4 - 2 各情境運動自覺量表 (RPE) 分數

三、 認知負荷評級量表 Cognitive Load

以重複量數單因子變異數分析比較三種介入情境下之認知負荷評級結果，分析顯示情境間存在顯著差異 ($F(2, 50) = 342.606, p < .001, \eta^2 = .932$)。其中，高認知要求情境顯著高於低認知要求情境及控制情境，且三組間皆達統計顯著差異 ($p < .001$)。

變項	<i>M</i>	<i>SD</i>
控制情境	1.15	0.37
低認知	2.88	0.91
高認知	6.08	1.16

表 4 - 4 認知負荷評級量表資料摘要表 (N = 26)

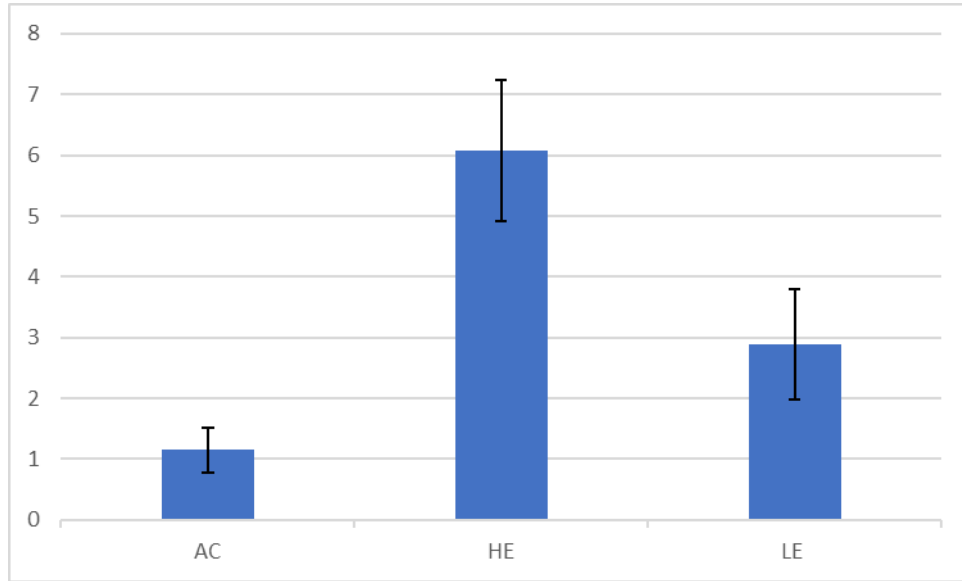


圖 4-3 各情境三認知負荷評級量表 (CL) 分數

四、心率指標

根據 Polar H10 感測器紀錄之數據，本研究分別計算三種運動情境下受試者的平均心率 (Mean HR)、最大心率 (HRmax) 以及中等強度心率區間 (101–142 bpm) 達標比例。結果如表 4-5 所示。控制情境 (靜態伸展) 平均心率為 89.3 ± 6.2 bpm，最大心率為 96.7 ± 7.4 bpm，達中等強度比例僅 $13.5\% \pm 10.1$ ；低認知跳繩組平均心率為 137.4 ± 9.8 bpm，最大心率為 146.3 ± 8.7 bpm，中等強度達標比例高達 $85.2\% \pm 7.6$ ；高認知跳繩組平均心率為 134.2 ± 11.5 bpm，最大心率為 143.8 ± 10.1 bpm，中等強度達標比例為 $81.4\% \pm 9.2$ 。整體而言，兩組跳繩活動皆能有效促進兒童心率達到中等強度標準，而低認知跳繩組因跳繩節奏穩定且間歇時間較短，呈現略高於高認知組的平均心率。

變項	Mean HR	HRmax
控制組	89.3 ± 6.2 bpm	96.7 ± 7.4 bpm
低認知	137.4 ± 9.8 bpm	146.3 ± 8.7 bpm
高認知	134.2 ± 11.5 bpm	143.8 ± 10.1 bpm

表 4-5 心率指標資料摘要表 (N = 26)

表 4-6 前測時各情境心生理數據

	AC	HE	LE
FS	2.29 ± 2.23	2.85 ± 1.97	2.96 ± 2.03

註：AC = 控制情境，HE = 高認知要求運動情境，LE = 低認知要求運動情境，FS = 情緒感覺量表，
* $p < .05$

表 4-7 介入期間各情境心生理數據

	AC	HE	LE
RPE	2.12 ± 0.86	5.38 ± 2.10	5.62 ± 2.02
CL	1.15 ± 0.37	6.08 ± 1.16	2.88 ± 0.91
HR (bpm)	96.70 ± 7.40	143.80 ± 10.10	146.30 ± 8.70

註：HE = 高認知要求運動情境，LE = 低認知要求運動情境，AC = 控制情境，FS = 情緒感覺量表，
RPE = 運動自覺量表，CL = 認知負荷評級量表 * $p < .05$

表 4-8 後測時各情境心生理數據

	AC	HE	LE
FS	2.96 ± 2.16	2.12 ± 2.50	2.00 ± 2.88

註：AC = 控制情境，HE = 高認知要求運動情境，LE = 低認知要求運動情境，FS = 情緒感覺量表，
* $p < .05$

第三節 行為表現

本研究以二因子變異數重複量數分析作業難度及介入情境對正確率表 4-10 與反應時間改變量表 4-9 之效果，以重複量數單因子變異數分析作業難度及介入情境對反應時間 Reaction Time 改變量之效果：

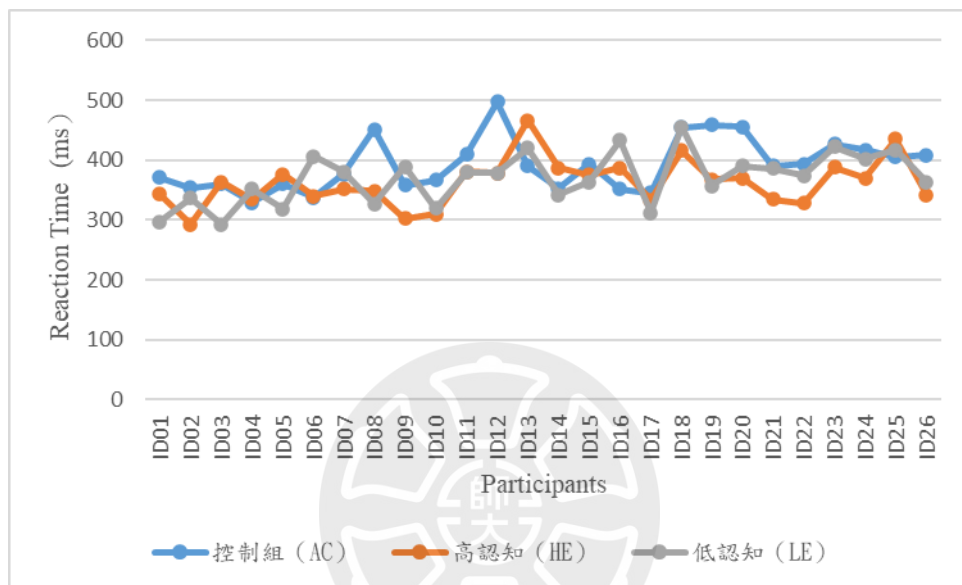


圖 4-4 各情境受試者 Go/No-go task 反應時間 (N=26)

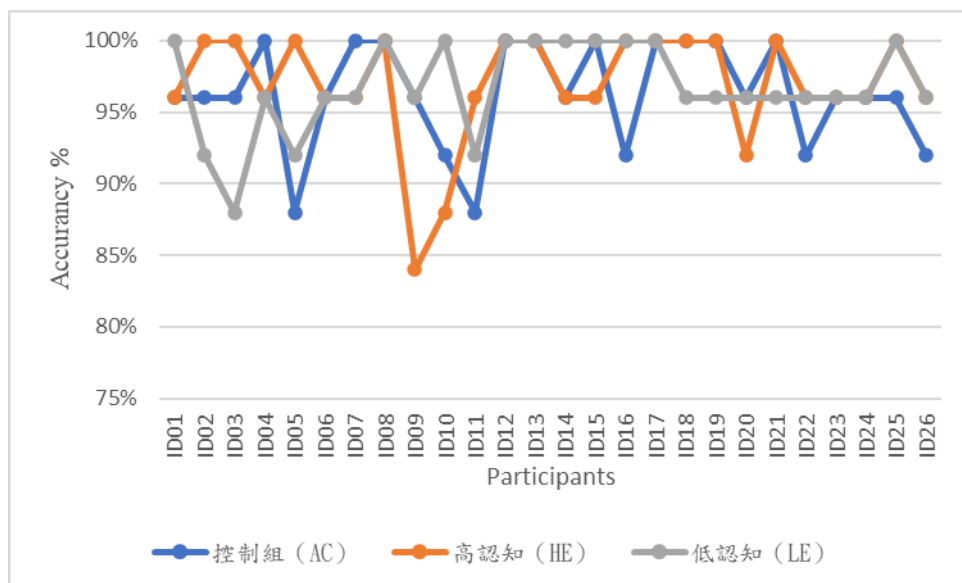


圖 4-5 各情境受試者 Go/No-go task 正確率 (N=26)

一、假設一：Go/No-go task 的反應時間縮短幅度高認知要求運動情境大於低認知要求運動情境大於控制組。

數值為負數且越小表示反應時間之改變量越高。將各情境的 Go/No-go task 反應時間改變量 (ΔRT) 進行重複量數單因子變異數分析。結果顯示，情境間存在顯著差異， $F(1.547, 38.675) = 8.40, p = .002$ ，偏 $\eta^2 = .251$ ，屬中等效果。事後比較 (Bonferroni 校正) 顯示低認知組與高認知組的反應時間表現優於控制組 (平均差=24.14 ms, $p = .043$; 30.93 ms, $p < .001$)，而低認知組與高認知組之間的差異不顯著 (平均差= 6.79 ms, $p = 1.000$)。

表 4-9 各情境 Go/No-go task 反應時間與改變量 (N = 26)

	前測 RT (ms)	後測 RT (ms)	ΔRT (ms)	結果
AC	380.09 ± 48.73	392.94 ± 43.78	11.80 ± 37.84	
HE	381.70 ± 48.58	362.56 ± 39.16	-12.34 ± 33.39*	HE、LE > AC
LE	382.34 ± 45.96	369.94 ± 43.12	-19.13 ± 29.71	

註：HE = 高認知要求運動情境，LE = 低認知要求運動情境，AC = 控制情境，RT = 反應時間， ΔRT = 反應時間改變量，* $p < .05$

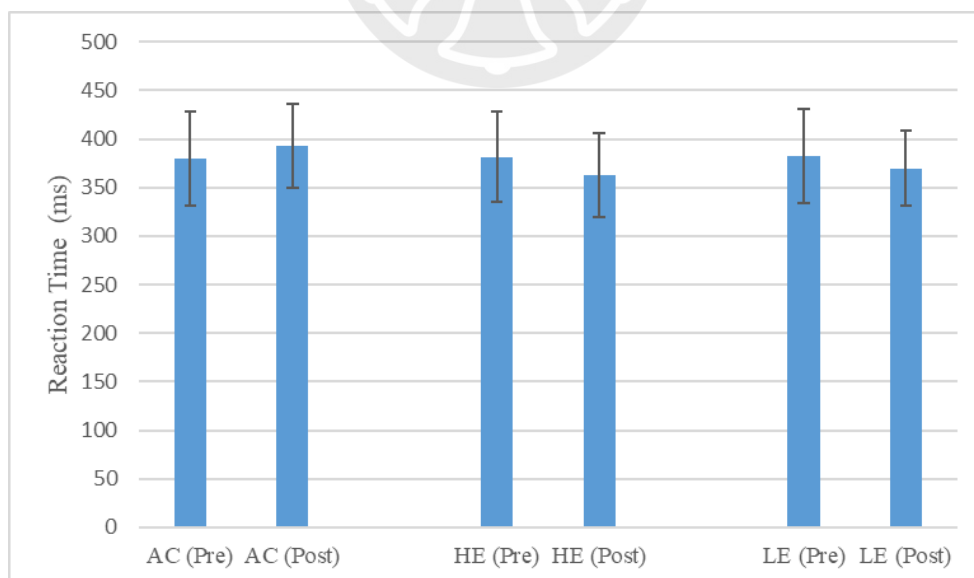


圖 4-6 各情境 Go/No-go task 反應時間前後測

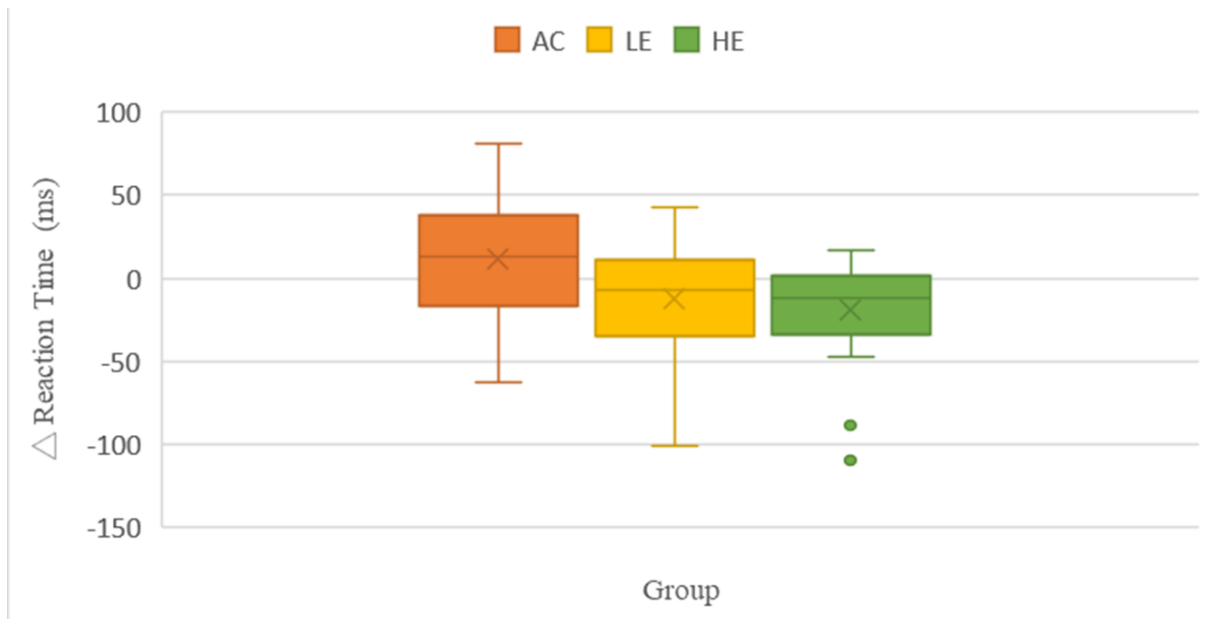


圖 4-7 各情境 Go/No-go task 反應時間改變量

二、假設二：Go/No-go task 的正確率進步幅度高認知要求運動情境大於低認知要求運動情境大於控制組。

數值為正數且越大表示正確率之改變量越高。結果顯示不同情境間之差異未達顯著水準， $F(2, 50) = 0.626, p = .539$ ，偏 $\eta^2 = .024$ ，為小效果量，三種情境間，皆未達統計顯著水準。本研究之三種不同認知要求介入並未對學童於 Go/No-go 任務中的正確率提升有顯著影響。

表 4-10 各情境 Go/No-go task 正確率與改變量 (N = 26)

	前測 ACC	後測 ACC	Δ ACC
AC	96.00%	96.31%	0.31%
HE	95.23%	96.92%	-1.69%
LE	95.85%	96.77%	0.92%

註：HE = 高認知要求運動情境，LE = 低認知要求運動情境，AC = 控制情境，ACC = 正確率， Δ ACC = 正確率改變量，* $p < .05$

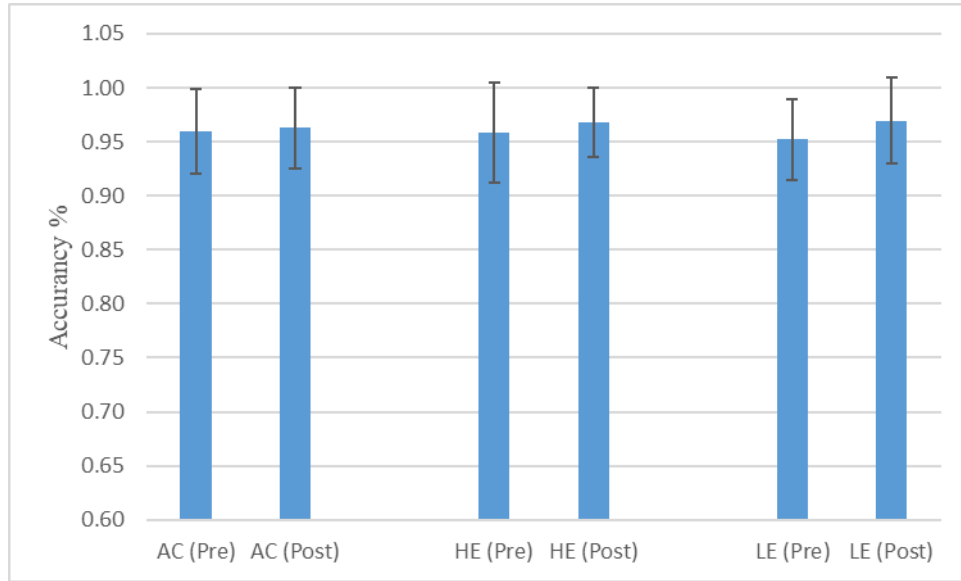


圖 4 - 8 各情境 Go/No-go task 正確率前後測

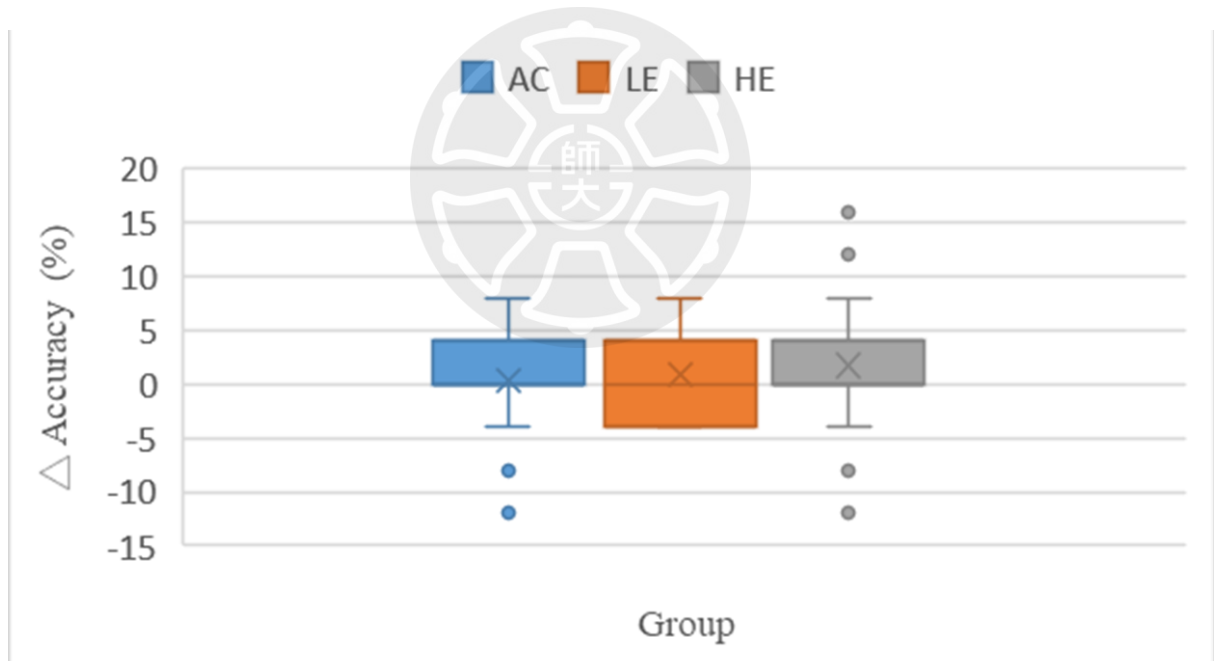


圖 4 - 9 各情境 Go/No-go task 正確率改變量

整體而言，研究結果顯示不同認知要求之跳繩介入對於學童在抑制控制能力皆有正向影響，且高認知要求跳繩介入效果最為明顯。

第五章 討論

第一節 討論

本研究操弄成效良好，心率與運動自覺量 (RPE) 結果顯示，兩種運動情境 (高、低認知要求) 之運動強度皆顯著高於控制情境，且兩者間無顯著差異，確認運動強度控制一致；同時，認知負荷評級結果也呈現顯著差異，高認知要求組主觀負荷最高，依序為低認知與控制組，顯示參與者對於不同情境之認知負荷程度有正確的感受。整體而言，不同認知要求跳繩的介入皆有效促進兒童達到中等強度運動標準，並在抑制控制表現方面有正向趨勢，尤其在反應時間改善幅度上顯著優於控制組，然而對正確率之提升沒有顯著成效。

一、運動強度與認知操弄成效

本研究在實驗設計中操弄了運動強度與認知負荷以及情緒三種變因。從心率與運動自覺量表結果可見，高認知與低認知兩組皆顯著高於控制組，表示操弄成功。主觀認知負荷量表則顯示，高認知組顯著高於其他兩組，其次為低認知要求組，而控制組的負荷感受最低，結果顯示參與者能明確區辨不同介入活動中所設計的認知負荷程度，驗證本研究在認知操弄強度上的有效性，結果顯示三種介入條件在主觀認知負荷感受上存在顯著差異。由此可推論，本研究三組介入情境在認知與體能條件上的區別，能被受試者明確辨識，亦可合理解釋後續在執行功能表現上的差異。而不管高認知要求還是低認知要求運動介入，運動強度皆達到中等強度，兩者的抑制控制皆有正向的影響，與先前研究所提到的，中等強度的運動能夠促進腦源性神經營養因子分泌，進而增強認知功能結果一致 (Wheeler et al., 2020)。

此外，無論是心率數據或主觀運動強度 (RPE) 指標均顯示，高認知與低認知要求組之間的運動強度並無顯著差異，代表著不同認知程度要求運動介入條件在生理強度上相當。由此可推論，兩組在認知表現上的差異主要反映於介入的認知要求的不同，而非因運動強度造成的影響。

二、不同認知要求運動介入對反應時間之表現：

本研究發現，高低認知負荷的急性運動都能提升抑制控制的反應速度，但是高、低認知負荷之間並無差異。部分持研究假設一，只要有認知運動介入都有效，不管認知負荷的高低，結果也與過去研究一致，皆指出結合認知挑戰之運動有助於提升抑制控制表現 (Ali et al., 2022; Maillot et al., 2012)。過去研究與本實驗相同，以跳繩介入，結果指出，跳繩運動能有效提升抑制控制，證明其對抑制功能具促進作用；而本研究則進一步發現，即使是急性介入，亦能在反應時間上有顯著效益，彌補過去大多以長期介入為主的文獻 (Liu et al., 2024 ; Deng et al., 2024)。

過去研究大多將介入的情境僅分為兩種，分別是認知要求運動情境與控制情境，較少實驗將認知要求運動情境再加以分為高認知要求情境介入與低認知要求情境，本研究所設計之跳繩運動介入，融入了與 Go/No-go task 相同之抑制控制原理，透過要求兒童在特定提示出現時做出反應、在其他提示出現時抑制反應，模擬 Go/No-go 任務中對反應選擇與抑制的認知歷程，確保運動介入與測量工具間的理論一致性。此外，認知負荷評級量表作為受試者評估各介入情境中主觀認知負荷程度的工具，對不同認知要求給予直接的回饋。

值得注意的是，本研究假設高認知要求情境兒童在 Go/No-go task 中縮短幅度又大於低認知要求情境，然而實驗結果顯示高認知要求運動與低認知要求運動介入後，兩種之間無顯著差異，但看的到趨勢。這種結果與預期不同，Diamond (2015) 認為認知要求較高的運動可能比認知要求較低的運動對執行功能產生更大的影響，因為具有較高認知參與的運動可能會激活更高階的認知過程。不過本次實驗結果亦與 Ludyga 等人 (2024) 之研究相符。他們探討不同認知與身體負荷的急性運動對兒童抑制控制的影響，發現在標準 Stroop 任務中，不論運動是否具備高認知負荷，其反應時間皆未出現顯著差異，亦有其他研究結果部分顯示兩者在認知功能提升上效果相當，且各自在特定執行功能上佔有優勢 (Tsai et al., 2017)。因此可推論，在本研究的 Go/No-go task 中，高認知負荷運動可能未能進一步提升反應速度，原因可能包括測驗任務本身的敏感度不足、受試者已有較佳基線表現而產生天花板效應，或反應時間本身受限於認知資源的即時配置，未能充

分反映主觀負荷的差異以及樣本量的不足。

整體而言，本研究與前人研究皆指出，主觀認知負荷雖可因運動設計而有所區辨，但反應時間作為指標時，對高與低認知負荷運動之間的即時效益差異呈現有限。

三、不同認知要求運動介入對反應正確率之表現：

在正確率結果中，研究假設高認知要求運動情境及低認知要求運動情境相比於控制情境，在 Go/No-go task 中的正確率較高，而高認知要求情境正確率又高於低認知要求情境，不過結果顯示，不同情境間正確率之差異未達顯著水準，與先前研究使用不同認知要求的反應燈介入，在一致與不一致情境中反應正確率未顯顯著差異相同（郭怡伶，2022）。雖然本研究中受試者在反應時間上呈現顯著改善，但各介入情境間的正確率差異未達統計顯著水準。

第二節 研究限制

本研究在執行過程中仍存在若干限制，後續研究可進一步補強與延伸。首先，研究樣本侷限於臺北市某國小三年級學童，年齡與背景較為單一，可能限制結果的外部效度與推論性，建議未來可擴大樣本範圍，涵蓋不同年齡層與地區，以提升研究結果之普遍性與代表性。

此外，研究僅聚焦於執行功能中的抑制控制，尚未涵蓋工作記憶與認知彈性等其他核心成分，無法全面掌握運動介入對整體執行功能的影響。後續研究可納入更多元的執行功能測驗，從多面向探討不同認知要求運動對兒童整體認知能力的促進效益。

然而部分測量工具，如認知負荷評級量表與運動自覺量表 (RPE) 屬主觀評估，易受到受試者感受與環境因素影響，建議未來可搭配客觀生理指標 (如腦波 ERP、眼動儀、心率變異 HRV 等)，以提升資料的信效度與解釋力。認知測驗方面，本研究採用 Go/No-go task 進行抑制控制評估，雖為常見工具，但在此年齡層中可能存在分數集中

或變異性不足的情形，導致介入前後之表現變化難以有效偵測，亦可能產生天花板效應，影響測量的敏感度與效度，建議未來可調整任務難度，或搭配其他如 Stroop 或 Flanker 任務等具挑戰性的執行功能測驗，提升整體認知評估的精準性。

我們不只關注研究結果，更希望能將研究延伸到教育現場，Martins 等 (2021) 認為學校體育課程對於兒童的生活與健康，有很大的影響力，高認知要求運動和開放性運動，如跆拳道、足球及體感遊戲等，能活化前額葉皮質，進而促進執行功能表現 (Kadri et al., 2019; Pan et al., 2016)。近期研究也強調，具節奏感的 HIIT 跳繩訓練可透過提升神經傳導物質活性進而強化注意與反應控制 (Yamashita & Yamamoto, 2021)，呼應了 Kao 等 (2017) 關於短時間高強度訓練對抑制控制之立即效果，本研究結果也顯示，設計高認知要求的跳繩活動，可作為提升抑制控制的有效方法。

因此，未來班級在推動晨間運動與課堂內活動設計上，可以優先選擇具認知要求以及開放性的運動，並結合節奏、規則變化或團隊合作等元素，以活化學童前額葉皮質，進而促進執行功能表現，希望能提升學童在校的人際關係、學業成績以及注意力。

第陸章 結論與建議

第一節 研究結論

本研究結果表明，在中等強度的急性跳繩後有助於抑制控制表現的提升，且在運動中加入認知要求，能夠使抑制控制中的反應時間縮短幅度有更好的促進效果。另外，本研究中未在中強度的急性跳繩運動後看到 GO/NO go task 準確率提升的效果，可以了解急性運動改變準確率本來就是一件較困難的事情，特別是在受試者具備一定的基礎下，改變空間有限，不過值得開心的事情是，運動過後的反應時間有進步的趨勢，受試者不會因為想要反應快，而影響準確率。



第二節 未來建議

最後，本研究採用急性運動介入設計，僅能觀察短期效益，無法推論運動後認知效應的持續性。未來研究可於介入後不同時間點（如1至2小時）進行延遲測驗，以評估運動效益的延續性與變化趨勢，進一步釐清急性運動所引發之即時反應與短期認知效益之間的關聯性。此外，未來研究亦可考慮導入數位科技，如將跳繩活動結合虛擬實境 (VR)、擴增實境 (AR) 或感應互動裝置，不僅可提升學童參與動機與訓練趣味性，亦有助於增加介入的創新性與實務應用價值。研究結果亦可作為特殊教育實務設計的參考基礎，建議後續可應用於ADHD、自閉症或發展遲緩兒童等特殊族群，以深入了解高認知要求運動對其認知與行為能力之潛在促進效果。

參考文獻

壹、中文文獻

郭怡伶 (2022)。單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響 (碩士論文)。國立臺灣師範大學體育與運動科學系。

吳紹瑀 (2023)。單次性高低認知要求運動對成年人抑制控制之影響 (碩士論文)。國立臺灣師範大學體育與運動科學系。

貳、英文文獻

Ali, N., Tian, H., Thabane, L., Ma, J., Wu, H., & Zhong, Q. (2022). The effects of dual-task training on cognitive and physical functions in older adults with cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, 9(3), 359–370. <https://doi.org/10.14283/jpad.2022.16>

Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaíno, V. (2017). The effect of physical activity interventions on children's cognition and metacognition: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(9), 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>

Anderson, C., & Horne, J. A. (2003). Prefrontal cortex: Links between low frequency delta EEG in sleep and neuropsychological performance in healthy, older people. *Psychophysiology*, 40(3), 349–357. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00038>

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(4), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>

Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94.

<https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>

Benzing, V., & Schmidt, M. (2017). Cognitively and physically demanding exergaming to improve executive functions of children with attention deficit hyperactivity disorder: A randomised clinical trial. *BMC Pediatrics*, *17*(1), Article 8.

<https://doi.org/10.1186/s12887-016-0757-9>

Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, *30*(4), 331–351.

<https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>

Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, *81*(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>

Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: Effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*(1), 1–6.

<https://doi.org/10.1111/nyas.12682>

Biddle, S. J. H., & Asare, M. (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents: A review of reviews. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(11), 886–895.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090185>

Biddle, S. J., Ciaccioni, S., Thomas, G., & Vergeer, I. (2019). Physical activity and mental health in children and adolescents: An updated review of reviews and an analysis of causality. *Psychology of Sport and Exercise*, *42*, 146–155.

<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.011>

Bustillo-Casero, P., Cebrián-Bou, S., Cruz-Montecinos, C., Pardo, A., & García-Massó, X. (2020). Effects of a dual-task intervention in postural control and cognitive performance in adolescents. *Journal of Motor Behavior*, *52*(2), 187–195.

<https://doi.org/10.1080/00222895.2019.1600467>

Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., & Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *NeuroImage*, *98*, 336–345.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.04.067>

Carlson, S. M., Mandell, D. J., & Williams, L. (2004). Executive function and theory of mind:

- Stability and prediction from ages 2 to 3. *Developmental Psychology*, 40(6), 1105–1122.
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.6.1105>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Chang, Y.-K., Alderman, B. L., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Song, T.-F., & Chen, F.-T. (2017). Acute exercise has a general facilitative effect on cognitive function: A combined ERP temporal dynamics and BDNF study. *Psychophysiology*, 54(2), 289–300.
<https://doi.org/10.1111/psyp.12784>
- Church, T. S., Thomas, D. M., Tudor-Locke, C., Katzmarzyk, P. T., Earnest, C. P., Larson-Meyer, D. E., ... Bouchard, C. (2011). Trends over 5 decades in U.S. occupation-related physical activity and their associations with obesity. *PLoS One*, 6(5), e19657. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019657>
- Cuypers, K., De Ridder, K., & Strandheim, A. (2011). The effect of therapeutic horseback riding on 5 children with attention deficit hyperactivity disorder: A pilot study. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 17(10), 901–908.
<https://doi.org/10.1089/acm.2010.0547>
- Deng, L., Wu, X., Ruan, Y., Xu, X., Pang, C., & Shi, Y. (2024). Effects of fancy rope-skipping intervention on motor coordination and selective attention in children aged 7–9 years: A quasi-experimental study. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1383397.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1383397>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2014a). Want to optimize executive functions and academic outcomes? Simple, just nourish the human spirit. *Minnesota Symposium on Child Psychology*, 37, 205–232.
- Diamond, A. (2015). Effects of physical exercise on executive functions: Going beyond simply moving to moving with thought. *Annals of Sports Medicine Research*, 2(1), 1011.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive

function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(6), 1197–1222.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>

Drollette, E. S., Hillman, C. H., Scudder, M. R., & Themanson, J. R. (2013). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 4, 137–152. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.11.002>

Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B., Pontifex, M. B., Hillman, C. H. (2012). Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Frontiers in Psychology*, 3, Article 265.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00265>

Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 53–64.

<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.11.001>

Eisenberg, N., Sadovsky, A., Spinrad, T. L., Fabes, R. A., Losoya, S. H., Valiente, C., Reiser, M., Cumberland, A., & Shepard, S. A. (2005). The relations of problem behavior status to children's negative emotionality, effortful control, and impulsivity: Concurrent relations and prediction of change. *Developmental Psychology*, 41(1), 193–211.

<https://doi.org/10.1037/0012-1649.41.1.193>

Erickson, K. I., Hillman, C. H., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R. F., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., & Powell, K. E. (2019). Physical activity, cognition, and brain outcomes: A review of the 2018 Physical Activity Guidelines. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(6), 1242–1251.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>

Esteban-Cornejo, I., Hallal, P. C., Mielke, G. I., Menezes, A. M. B., Gonçalves, H., Wehrmeister, F. C., Ekelund, U., & Rombaldi, A. J. (2015). Physical activity throughout adolescence and cognitive performance at 18 years of age. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(12), 2552–2557. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000706>

- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2008). Developmental trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: A behavioral genetic analysis. *Developmental Psychology*, *44*(5), 1146–1158.
- Gallotta, M. C., Emerenziani, G. P., Franciosi, E., Meucci, M., Guidetti, L., & Baldari, C. (2015). Acute physical activity and delayed attention in primary school students. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(3), e331–e338.
<https://doi.org/10.1111/sms.12310>
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*(7), 1334–1359.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
- Gejl, A. K., Bugge, A., Ernst, M. T., Tarp, J., Hillman, C. H., Nielsen, M. H., Froberg, K., & Andersen, L. B. (2018). The acute effects of short bouts of exercise on inhibitory control in adolescents. *Mental Health and Physical Activity*, *15*, 34–39.
<https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2018.06.003>
- Gu, Q., Zou, L., Loprinzi, P. D., Quan, M., & Huang, T. (2019). Effects of open versus closed skill exercise on cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, *10*, Article 1707. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01707>
- Hagovská, M., & Nagyová, I. (2017). The transfer of skills from cognitive and physical training to activities of daily living: A randomised controlled study. *European Journal of Ageing*, *14*(2), 133–142. <https://doi.org/10.1007/s10433-016-0395-y>
- Haji, F. A., Khan, R., Regehr, G., Drake, J., de Ribaupierre, S., & Dubrowski, A. (2015). Measuring cognitive load during simulation-based psychomotor skills training: Sensitivity of secondary-task performance and subjective ratings. *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, *20*(5), 1237–1253.
<https://doi.org/10.1007/s10459-015-9599-8>
- Hattabi, S., Forte, P., Kukic, F., Bouden, A., Have, M., & Chtourou, H. (2022). A randomized trial of a swimming-based alternative treatment for children with attention deficit

hyperactivity disorder. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), Article 16238. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316238>

Healey, D. M., & Halperin, J. M. (2015). Enhancing neurobehavioural gains with the aid of games and exercise (ENGAGE): Initial open trial of a novel early intervention fostering the development of preschoolers' self-regulation. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 7, Article 8. <https://doi.org/10.1080/09297049.2014.906567>

Herold, F., Hamacher, D., Törpel, A., Goldschmidt, L., Müller, N. G., & Schega, L. (2018). Thinking while moving or moving while thinking? Concepts of motor-cognitive training for cognitive performance enhancement. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, Article 228. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00228>

Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>

Isbell, E., Wray, A. H., & Neville, H. J. (2017). Development of selective attention in preschool-age children from lower socioeconomic status backgrounds. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 26, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.06.006>

Kadri, A., Slimani, M., Bragazzi, N. L., Tod, D., & Azaiez, F. (2019). Effect of Taekwondo practice on cognitive function in adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), 204. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020204>

Kao, S. C., Baumgartner, N., Noh, K., Wang, C.-H., & Schmitt, S. (2017). Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control. *Psychophysiology*, 54(9), 1335–1345. <https://doi.org/10.1111/psyp.12889>

Kayama, H., Okamoto, K., Nishiguchi, S., Yamada, M., Kuroda, T., & Aoyama, T. (2014). Effect of a Kinect-based exercise game on improving executive cognitive performance in

- community-dwelling elderly: A case–control study. *Journal of Medical Internet Research*, 16(2), e61. <https://doi.org/10.2196/jmir.3108>
- Liang, X., Li, R., Wong, S. H. S., Sum, R. K. W., & Sit, C. H. P. (2021). The impact of exercise interventions concerning executive functions of children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 18(1), Article 68. <https://doi.org/10.1186/s12966-021-01135-6>
- Liang, Z., Zhang, Z., Qi, S., Yu, J., & Wei, Z. (2023). Effects of a single bout of endurance exercise on brain-derived neurotrophic factor in humans: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Biology*, 12(1), Article 126. <https://doi.org/10.3390/biology12010126>
- Liu, Y., Dong, X., He, Q., & Jia, Y. (2024). Effects of acute rope skipping exercises of different modes on cognitive function in children aged 9–10 years. *Scientific Reports*, 14, Article 80987. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80987-x>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611–1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- Ludyga, S., Gerber, M., Schwarz, A., Greco, A., Müller, T., Pühse, U., & Hanke, M. (2024). Effects of cognitive and physical load of acute exercise on inhibitory control and prefrontal cortex hemodynamics in children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56(7), 1328–1336. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003410>
- Mahar, M. T., Murphy, S. K., Rowe, D. A., Golden, J., Shields, A. T., & Raedeke, T. D. (2006). Effects of a classroom-based program on physical activity and on-task behavior. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(12), 2086–2094. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000235359.16685.a3>
- Maillot, P., Perrot, A., & Hartley, A. (2012). Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychology and Aging*, 27(3), 589–600. <https://doi.org/10.1037/a0026268>
- Martins, J., Costa, J., Sarmiento, H., Marques, A., Farias, C., Onofre, M., & Valeiro, M. G.

- (2021). Adolescents' perspectives on the barriers and facilitators of physical activity: An updated systematic review of qualitative studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4954. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094954>
- Mehren, A., Özyurt, J., Philomena Lam, A., & Philipsen, A. (2019). Effects of acute aerobic exercise on response inhibition in adult patients with ADHD: An fMRI study. *Scientific Reports*, 9, Article 19884. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56332-y>
- Neural plasticity. (1998–). Neural Plasticity. Patrinton/East Yorkshire; Hindawi Pub. Corp. ISSN 2090-5904 (Print); 1687-5443 (Electronic).
- Northey, J. M., Cherbuin, N., Pumpa, K. L., Smee, D. J., & Rattray, B. (2018). Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(3), 154–160. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096587>
- Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E., & Dunstan, D. W. (2010). Too much sitting: The population-health science of sedentary behavior. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(3), 105–113. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181e373a2>
- Paillard, T. (2015). Preventive effects of regular physical exercise against cognitive decline and the risk of dementia with age advancement. *Sports Medicine - Open*, 1(1), Article 20. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0016-x>
- Pan, C.-Y., Chu, C.-H., Tsai, C.-L., Lo, S.-Y., Cheng, Y.-W., & Liu, Y.-J. (2016). A racket-sport intervention improves behavioral and cognitive performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.06.009>
- Plebanek, D. J., & Sloutsky, V. M. (2019). Selective attention, filtering, and the development of working memory. *Developmental Science*, 22(2), e12727. <https://doi.org/10.1111/desc.12727>
- Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., Valentini, T. A., & McAuley, E. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>

- Raaijmakers, M. A. J., Smidts, D. P., Sergeant, J. A., Maassen, G. H., Posthumus, J. A., van Engeland, H., & Matthys, W. (2008). Executive functions in preschool children with aggressive behavior: Impairments in inhibitory control. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *36*(7), 1097–1107. <https://doi.org/10.1007/s10802-008-9235-7>
- Raichlen, D. A., & Alexander, G. E. (2017). Adaptive capacity: An evolutionary neuroscience model linking exercise, cognition, and brain health. *Trends in Neurosciences*, *40*(7), 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.05.001>
- Robbins, T. W., & Arnsten, A. F. T. (2009). The neuropsychopharmacology of fronto-executive function: Monoaminergic modulation. *Annual Review of Neuroscience*, *32*, 267–287. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135535>
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., & Nielsen, J. B. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(8), 1645–1666. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.012>
- Romero-López, M., Pichardo, C., De Hoces, I., & García-Berbén, T. (2021). Problematic internet use among university students and its relationship with social skills. *Brain Sciences*, *11*(10), Article 1301. <https://doi.org/10.3390/brainsci11101301>
- Sánchez-Alcalá, M., Aibar-Almazán, A., Carcelén-Fraile, M. d. C., Castellote-Caballero, Y., Cano-Sánchez, J., Achalandabaso-Ochoa, A., Muñoz-Perete, J. M., & Hita-Contreras, F. (2025). Effects of dance-based aerobic training on frailty and cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: A randomized controlled trial. *Diagnostics*, *15*(3), Article 351. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15030351>
- Sandi, C. (2013). Stress and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *4*(3), 245–261. <https://doi.org/10.1002/wcs.1222>
- Shema-Shiratzky, S., Brozgol, M., Cornejo-Thumm, P., Geva-Dayan, K., Rotstein, M., Leitner, Y., Hausdorff, J. M., & Mirelman, A. (2019). Virtual reality training to enhance behavior and cognitive function among children with attention-deficit/hyperactivity disorder: brief report. *Developmental Neurorehabilitation*, *22*(6), 431–436. <https://doi.org/10.1080/17518423.2018.1476602>
- Silva, A. P. S., Prado, S. O. S., Scardovelli, T. A., Boschi, S. R. M. S., Campos, L. C., & Frère,

- A. F. (2015). Measurement of the effect of physical exercise on the concentration of individuals with ADHD. *PLoS ONE*, *10*(3), Article e0122119. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122119>
- Takahashi, S., & Grove, P. M. (2023). Impact of acute open-skill exercise on inhibitory control and brain activation: A functional near-infrared spectroscopy study. *PLoS ONE*, *18*(3), Article e0276148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276148>
- Tian, S., Mou, H., Fang, Q., Zhang, X., Meng, F., & Qiu, F. (2021). Comparison of the sustainability effects of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on cognitive flexibility. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(18), Article 9631. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189631>
- Tsai, C.-L., Hung, T.-M., Wang, C.-H., Lee, Y.-H., & Chang, Y.-K. (2017). Six-month open- versus closed-skill exercise intervention improves cognitive flexibility in older adults: An ERP study of task switching. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, Article 260. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00260>
- Tsai, C.-L., Wang, C.-H., Pan, C.-Y., Chen, F.-C., Huang, T.-H., & Chou, F.-Y. (2014). Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *8*, Article 262. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00262>
- Tsai, C.-L., Pan, C.-Y., Chen, F.-C., Tseng, Y.-T. (2017) ◦ Open- and closed-skill exercise interventions produce different neurocognitive effects on executive functions in the elderly: A 6-month randomized, controlled trial ◦ 《Frontiers in Aging Neuroscience, 9》, 294 ◦ <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00294>
- Tse, A. C. Y., Anderson, D. I., Liu, V. H. L., & Tsui, S. S. L. (2021). Improving executive function of children with autism spectrum disorder through cycling skill acquisition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(7), 1417–1424. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002609>
- Ureña, N., Fernández, N., Cárdenas, D., Madinabeitia, I., & Alarcón, F. (2020). Acute effect of cognitive compromise during physical exercise on self-regulation in early childhood education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(24), 9325. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249325>

- Vandorpe, B., Vandendriessche, J., Vaeyens, R., Pion, J., Matthys, S., Lefevre, J., Philippaerts, R., & Lenoir, M. (2012). Relationship between sports participation and the level of motor coordination in childhood: A longitudinal approach. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(3), 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.09.006>
- Wang, J., Li, C., Yu, X., Zhao, Y., Shan, E., Xing, Y., & Li, X. (2024). Effect of emotional stimulus on response inhibition in people with mild cognitive impairment: An event-related potential study. *Frontiers in Neuroscience*, 18, Article 1357435. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1357435>
- Wheeler, M. J., Green, D. J., Ellis, K. A., Cerin, E., Heinonen, I., Naylor, L. H., Larsen, R., Wennberg, P., Boraxbekk, C. J., Lewis, J., Eikelis, N., Lautenschlager, N. T., Kingwell, B. A., Lambert, G., Owen, N., & Dunstan, D. W. (2020). Distinct effects of acute exercise and breaks in sitting on working memory and executive function in older adults: A three-arm, randomised cross-over trial to evaluate the effects of exercise with and without breaks in sitting on cognition. *British Journal of Sports Medicine*, 54(13), 776–781. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100168>
- Williams, B. R., Ponsesse, J. S., Schachar, R. J., Logan, G. D., & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72(2), 193–217. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2519>
- Yamashita, M., & Yamamoto, T. (2021). Impact of long-rope jumping on monoamine and attention in young adults. *Brain Sciences*, 11(10), 1347. <https://doi.org/10.3390/brainsci11101347>
[researchgate.net+11frontiersin.org+11pubmed.ncbi.nlm.nih.gov+11](https://www.researchgate.net/publication/35811101347)
- Zhao, Q., Wang, Y., Niu, Y., & Liu, S. (2023). Jumping rope improves the physical fitness of preadolescents aged 10–12 years: A meta-analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*, 22(2), 367–380. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.367>
- Zhu, Y., Sun, F., Li, C., Huang, J., Hu, M., Wang, K., He, S., & Wu, J. (2022). Acute effects of mindfulness-based intervention on athlete cognitive function: An fNIRS investigation. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 20(2), 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.01.003>