

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

單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響

The Effects of Single Bouts Exercise with Different Cognitive

Demands on Inhibitory Control in Elementary School

Children

郭怡伶

Yi-Lin Kuo

指導教授：洪聰敏 博士

Advisor: Tsung-Min Hung, Ph.D.

中華民國 111 年 9 月

September 2022



# 單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響

2022 年 9 月

研究生：郭怡伶

指導教授：洪聰敏

## 摘要

本研究旨在探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響。以新北市新店區某國小之有運動習慣學生為研究對象，年齡介於 10 至 12 歲，共 26 名。本研究為組內設計方式，比較 20 分鐘單次性高認知要求運動、低認知要求運動與控制情境對孩童抑制控制表現之影響，受試者參與各實驗情境之順序以次序平衡隨機分派進行，以旁側干擾作業 (flanker task) 為認知測驗。以二因子變異數重複量數分析反應時間與正確率之改變量；另外，以單因子重複量數分析 Flanker effect 之反應時間。結果顯示，在反應正確率部分，在一致情境中，低認知要求運動情境顯著優於高認知要求運動情境，而高認知要求運動情境及低認知運動情境分別與控制情境無顯著差異；不一致情境中，三個情境並無顯著差異。在反應時間部分，僅在不一致情境中，高認知要求運動情境優於低認知要求運動情境。反應時間之 Flanker effect (不一致減去一致) 部分，高認知要求運動情境與低認知要求運動情境分別與控制情境沒有顯著差異，但高認知要求運動情境顯著優於低認知要求運動情境。整體而言，本研究發現認知要求高的運動對於孩童的急性認知效益可能反應在需要較高的抑制控制要求情境下，然而其效果仍需更多後續研究來確認。

**關鍵詞：**單次性運動、認知要求、抑制控制、國小孩童

# **The Effects of Single Bouts Exercise with Different Cognitive Demands on Inhibitory Control in Elementary School Children**

September, 2022

Author: Kuo, Yi-Lin  
Advisor: Hung, Tsung-Min

## **Abstract**

The purpose of this research was to explore the impact of a single bout of exercise with different cognitive demanding on the inhibitory control of children. A total of 26 students aged between 10 and 12 years old, who regularly participated in intermural sports from an elementary school in Xindian District, New Taipei City, were recruited. A within-subjects design was used to compare the effects of a single bout of high cognitive demand exercise (HE), low cognitive demand exercise (LE), and active control (AC) on the inhibitory control performance. The order in which the subjects performed the three experiment sessions were counterbalanced and randomized, and inhibition control was measured by the flanker task. Two-way repeated measures ANOVA was used to analyze the variation of reaction time and accuracy; one-way repeated measures ANOVA was used to analyze the reaction time of Flanker effect. The results showed that, in the consistent condition of the flanker task, LE resulted in higher accurate than HE, where as HE and LE were not significantly different from AC; in the inconsistent situation, LE, HE and AC have no significant difference. On the other hand, HE resulted in shorter reaction time than LE only in inconsistent condition. As for the Flanker effect (interference scores) of reaction time, despite no significant difference were observed between HE and LE and AC, HE was significantly better than LE. Overall, this study provides some support for the extra benefit of acute bout of cognitive demanding exercise on the response speed of tasks that require higher inhibitory control. Nevertheless, more follow-up studies are needed to confirm the effect.

**Key words: single bouts exercise, cognitive demands, inhibitory control, elementary school children**



# 目次

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目次.....	iv
表次.....	vi
圖次.....	vii

## 第壹章 緒論.....1

第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	4
第三節 研究假設.....	4
第四節 研究限制.....	5
第五節 研究的重要性.....	5

## 第貳章 文獻回顧.....6

第一節 孩童與抑制控制.....	6
第二節 單次性運動促進抑制功能可能機制.....	10
第三節 單次性不同認知要求運動與執行功能之相關文獻.....	16
第四節 文獻回顧總結.....	21

## 第參章 研究方法.....23

第一節 研究對象.....	23
第二節 研究工具.....	23
第三節 研究設計與流程.....	24
第四節 資料處理與統計分析.....	27
<b>第肆章 研究結果.....</b>	<b>28</b>
第一節 基本資料.....	28
第二節 實驗操弄變項變項.....	28
第三節 行為表現.....	29
<b>第伍章 討論與建議.....</b>	<b>33</b>
第一節 討論.....	33
第二節 研究限制與未來建議.....	36
<b>第陸章 結論.....</b>	<b>38</b>
參考文獻.....	39
附錄.....	56

# 表 次

表 2-1 運動所需的認知要求程度.....	16
表 4-1 基本資料摘要表.....	28
表 4-2 實驗操弄變項資料摘要表.....	29
表 4-3 正確率、反應時間資料摘要表.....	31
表 4-4 Flanker effect 資料摘要表.....	31





# 圖 次

圖 3-1 受試者介入流程圖.....	26
圖 3-2 實驗流程圖.....	26
圖 3-3 受試者與感應器位置圖.....	26
圖 4-1 正確率之交互作用圖.....	32
圖 4-2 反應時間之交互作用圖.....	32



# 第壹章 緒論

本研究旨在探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響：比較有規律運動之國小孩童透過不同認知要求的運動介入後，在旁側干擾作業下 (flanker task) 反應時間及正確性的影響。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

近年來許多的文獻回顧及統合分析已指出健身運動有助於促進認知功能，多數研究者們特別聚焦在如何促進執行功能 (Best, 2010; Chen et al., 2014; Egger et al., 2018; Ishihara et al., 2017; Ludyga et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014; Verburgh et al., 2014)。執行功能與我們的工作表現及心理健康有關 (Diamond, 2013)，其主要由前額葉 (prefrontal lobe) 負責，是一個有意識及主動的認知歷程 (Robbins & Arnsten, 2009)。包含三個重要子功能，抑制控制 (inhibitory control)、工作記憶 (working memory) 及認知彈性 (cognitive flexibility)，更高階的執行功能，例如：理解、規劃及解決問題能力等，也需仰賴這些子功能才能運作 (Diamond, 2013)。其中，抑制控制是執行功能中最核心的成分，影響著其他功能的運作，指一個人能控制自身的注意力、思想、情緒與行為的能力 (Browne et al., 2016)，使我們在面對外在刺激、內在衝動及無關或會分散注意力的事物或想法時，能不被影響而做出適當選擇的行為能力，過程通常和固有的傾向、習慣或本能相互衝突 (Diamond, 2013)。

抑制控制的發展延續一段很長的時間，在青春期前仍持續的發展，而兒童時期的抑制控制發展，可以預測往後的表現直到成人 (Diamond, 2013)。過去已有研究證實，單次性運動釋放正腎上腺素，能提高覺醒程度 (Poe et al., 2020)，幫助大腦過濾不必要的訊息，提升抑制控制表現，將有限的注意力資源放在當下事務上，有助於孩童學習表現。

過去許多研究發現孩童的抑制控制能力可以預測他們的數學、閱讀和識字成績 (Allan et al., 2014; Best et al., 2011; Blair & Razza, 2007; Clark et al., 2010; LeFevre et al., 2013; Monette et al., 2011; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Swanson, 2006)。因此，若能透過運動提高孩童的抑制控制能力，也能使孩童的學業成績提升。

而缺乏抑制控制能力的孩童也容易產生暴飲暴食的風險，導致體重增加 (Reyes et al., 2015)，進而造成健康問題產生，也會使孩童罹患慢性病的機率增加 (Piercy et al., 2018)。且抑制控制能力與外在行為亦有相當大的關係，Romero-López 等 (2021) 發現抑制控制缺陷的孩童難以抑制不當行為，因此可能會在社交場合中遇到困難，造成孩童人際關係不佳的情況發生。Gill 和 Calkins (2003) 也發現缺乏抑制控制能力可能會導致孩童引起移情和攻擊性的衝動行為。攻擊性行為可能會隨著時間推移日益增加，且攻擊性行為皆是從童年即開始，因此，須改善孩童的抑制控制以預防或減少攻擊性行為的出現 (Raaijmakers et al., 2008)。抑制控制能力對孩童往後社會發展至關重要，其使個人能夠調整、適應和遵守既定的社會規範，在建立適當的人際關係和學習過程中也具有重要作用 (Romero-López et al., 2021)。因此如何透過運動改善孩童抑制控制是一重要課題。

人的大腦僅佔人體重量的 2%，但卻需要消耗人體 20% 的能量 (Hart, 1975)。Herholz 等 (1987) 與 Ogoh 和 Ainslie (2009) 指出大腦神經元活動和新陳代謝會導致運動過程中大腦總血流量增加。而有氧運動已被證實可促進血管生成、增加微血管密度，使更多的血流入腦部，提供認知功能所需的結構與代謝資源，而氧氣藉由血液輸送，也使腦部組織獲得更多的氧氣，營養物質隨之增加，間接強化認知功能與活化大腦不同功能區域的連結，進而提升抑制控制、專注、學習及記憶等能力，使人更能有效率去轉換及運用其自身的注意力資源 (陳豐慈 & 張育愷, 2012; Black et al., 1987; Delp et al., 2001; Hillman et al., 2009; Moss & Scholey, 1996; Netz & Jacob, 1994; Tomporowski et al., 2015; Wang et al., 2012)。Krock 和 Hartung (1992) 指出學生只要在課堂中起立伸展，大腦就會多吸收 7% 的氧氣。Mahar 等 (2006) 也發現，在課堂中加入 10 分鐘的體育活動，即能改善孩童的學習效率。Ma 等 (2015) 甚至發現僅 4 分鐘的高強度間歇運動便能提升孩童的選擇性注意力。因此，若能將運動納入課程設計中，甚至僅是要求學生在課堂

中進行簡易的運動，都能增強大腦活動，使腦細胞因含氧量增加而活化，對孩童的未來產生深遠影響。Lox 等 (2011) 提出運動可能誘發數種對於神經元與大腦健康來說重要的生長因子增加，尤其是腦源性神經營養因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF)。在有氧運動後，血液中 BDNF 流入海馬迴的數量會提高，使海馬迴的神經元得到養分，讓神經元及突觸增長，進而強化認知表現 (Griffin et al., 2011)。因此，Hillman 等 (2008) 認為運動可以使大腦發展最佳化。

從事單次性運動已被許多研究證實有助於短暫的促進執行功能，Diamond (2015) 認為有認知要求參與的運動對執行功能的影響會比簡單的有氧運動及阻力訓練來得更好，因為在跑步機上跑步、騎固定的自行車或快速步行等有氧運動或阻力訓練很少需要思考。Best (2010)、Diamond (2015) 及 Diamond 和 Ling (2016) 也提出特定類型的運動可能與兒童的執行功能密切相關，因為與沒有認知參與的運動相比，有認知參與的運動似乎對執行功能有更實質性的影響。但過去幾項涉及認知要求的單次性運動對執行功能的影響卻有不同的研究結果。例如，具有高認知要求的單次性運動對注意力 (Budde et al., 2008)、工作記憶 (Ishihara et al., 2017; Zach & Shalom, 2016) 和認知彈性 (Benzing et al., 2016) 的影響結果都比純有氧運動來得更好，但也有其他研究發現認知要求高的運動對認知表現沒有額外的效益 (Egger et al., 2018; Gallotta et al., 2012; Giordano & Alesi, 2022; Koutsandreou et al., 2016; Zach & Shalom, 2016)。這種差異可能源自於進行研究的環境不同，包括使用電子遊戲器材 (Benzing et al., 2016)、以遊戲作為運動 (Egger et al., 2018; Ishihara et al., 2017)、同時執行運動和認知任務 (Kamijo & Abe, 2019)，以及不同的運動技能 (Gallotta et al., 2012)。在這些研究中，除了認知要求之外的因素，例如：個體差異、運動強度、社交互動之間的差異，都可能會影響認知表現。另外，過去許多研究大部分以電子遊戲器材及遊戲的方式作為運動介入，或是同時進行運動與認知任務，但這些方式較無法貼近現實生活，例如：我們很少會一邊騎腳踏車一邊算數學題目。因此，需要更進一步的研究，用更嚴謹的方式將不同程度的認知要求加入到運動介入中，藉此瞭解有認知要求參與的單次性運動對執行功能的影響。

先前文獻指出單次性運動能促進認知功能，以心理學觀點來看，認知刺激假說闡述單次性運動引起認知改善的可能機制。該假說認為認知要求高的運動能對認知功能帶來較大的益處，其假設顯示具有認知挑戰性的身體活動能預先活化用於控制高階認知過程的大腦區域或相關認知歷程，將其運用於後續的認知任務，有助於相對應的認知功能表現 (Best, 2010; Budde et al., 2008; Pesce, 2012; Tomporowski et al., 2015)。因此，單次性身體活動後增強的認知表現可以通過這些特定的預先活化來解釋，然後將其用於後續的認知任務 (Budde et al., 2008)。為了檢驗認知刺激假說，本研究使用 BlazePod 反應燈 (BlazePod Reaction Training) 介入，將不同程度之認知要求結合到運動中，藉此來操弄運動中認知要求的程度差異。BlazePod 反應燈之優勢是不受到空間及環境限制，不需要很大的空間，也不會受到天氣的影響及限制，任何可黏貼反應燈之處即可開始操作。本研究組內設計，共有三種情境，分別為高認知要求運動情境、低認知要求運動情境及控制情境。將三個 BlazePod 反應燈黏貼於牆面，在低認知要求運動情境中，三個反應燈僅會亮其中之一，且為固定顏色；而高認知要求運動情境則會同時亮起三個燈，順序隨機且為不同顏色，受試者只能針對指定顏色做出反應。根據認知刺激假說，我們認為在高認知要求運動情境介入時已需使用抑制控制能力，因為受試者必須抑制按下其他顏色反應燈的衝動，與 Flanker 作業之不一致情境中目標箭頭以外之干擾相似，因此，此設計能提前活化同樣的認知歷程，使高認知要求運動情境產生較大的認知效益。

## 第二節 研究目的

探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響。

## 第三節 研究假設

- 一、高認知要求運動情境及低認知要求運動情境相較於控制情境在抑制控制之反應時間皆有較短的反應時間。
- 二、高認知要求運動情境及低認知要求運動情境相較於控制情境在抑制控制之反應時

間的 Flanker effect 皆有較大的改變量。

三、高認知要求運動情境相較於低認知要求運動情境及控制情境，在需要較高抑制控制的作業情境下（不一致情境）有較短的反應時間。

#### 第四節 研究限制

- 一、本研究僅針對抑制控制，無法推論至其他執行功能的次成分。
- 二、本研究對象為國小孩童，無法推論至其他年齡層。
- 三、因新冠肺炎 (COVID-19) 疫情導致實驗中斷，大部分受試者實驗間隔時間受到影響。
- 四、受試環境在國小教室，周圍干擾因素不可控，可能導致專注度受影響。

#### 第五節 研究的重要性

本研究預期不同認知要求運動相較於控制情境皆能提升國小孩童抑制控制，而高認知要求運動在認知作業需要較高抑制控制情境下產生更大的認知效益。本研究期許將實驗結果應用在未來國小體育課程設計，促進孩童執行功能之表現，進而提升孩童行為管理及學業表現。

## 第貳章 文獻探討

本研究旨在探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響，透過相關理論與研究文獻分析做為本研究設計的基礎。本章綜合整理相關文獻資料，歸納為四小節來探討：第一節、孩童與抑制控制；第二節、單次性運動促進執行功能可能機制；第三節、單次性不同認知要求運動與執行功能之相關文獻；第四節、文獻探討總結。各節分別說明如下：

### 第一節 孩童與抑制控制

執行功能影響著我們的成就、健康及快樂，其主要由前額葉負責，是一個有意識及主動的認知歷程 (Robbins & Arnsten, 2009)。包含三個重要子功能，抑制控制 (inhibitory control)、工作記憶 (working memory) 及認知彈性 (cognitive flexibility)，更高階的執行功能，例如：理解、規劃及解決問題能力等，也需仰賴這些子功能才能運作 (Diamond, 2013)。其中，抑制控制是執行功能中最核心的次成分，影響著其他功能的運作，指一個人能控制自身的注意力、思想、情緒與行為的能力 (Browne et al., 2016)。使我們在面對外在刺激、內在衝動及無關或會分散注意力的事物或想法時，能不被影響而做出適當選擇的行為能力，過程通常和固有的傾向、習慣或本能相互衝突 (Diamond, 2013)。

抑制控制包括兩個方面，即反應抑制和干擾控制。反應抑制是指在反應或行為層面上的抑制，例如：正在進行某項行為時抑制不必要的衝動 (Verbruggen & Logan, 2008)。干擾控制是指在知覺水平(注意抑制)或認知水平(認知抑制)上的注意力抑制 (Diamond, 2000)。此過程包含三個階段，第一階段為抑制優勢反應、第二階段為中斷正在進行之反應、第三階段為干擾控制。抑制優勢反應 (inhibition the prepotent response)，係指抑制先前已存在的認知，選擇使用相反的反應，例如：看到玩具車要指女孩，看到洋娃娃要指男孩；或者抑制可立即獲得的正增強或負增強反應，例如：想買喜歡的包包，但因為買

完就會沒有錢吃飯，因此選擇多存幾個月的薪水，等到有多餘的錢時再買。中斷所進行的反應 (interrupt ongoing response)，係指原定的規劃遇到中斷時，給個體延宕的時間去決定是否要對遇到的事物做改變或是持續進行原本的規劃，例如：平常的行車路線因車禍而大塞車，是否能迅速在腦中規劃出另一條不塞車的路。干擾控制 (interference control)，也稱選擇性注意力，係指對發生的事件保留延遲的時間，在行為中表現出獨立自主的反應，且不受其他事物的影響，最終達成目標。例如：到超市買生活必需品，是否能只選擇自己需要的物品，而不會被其他不需要的零食和飲料所吸引 (Barkley, 1997)。

抑制控制並不簡單，因為人很容易受到環境的影響，且常常是在自己無意識的狀態下受到控制並成為習慣，但抑制控制讓我們有選擇及改變的機會，使我們選擇是否要做出反應或要以何種行為去反應遇到的事物 (Diamond, 2013)。然而，Garon 等 (2008) 認為，許多抑制控制的測量作業，其實與工作記憶也十分相關，因此，將涉及較小工作記憶需求的抑制控制任務分類為簡單的反應抑制作業 (simple response inhibition tasks)，將涉及中等工作記憶需求的抑制控制任務分類為複雜的反應抑制作業 (complex response inhibition tasks)。簡單的反應抑制作業，是指能控制自己的情緒與行為、能抗拒誘惑、做事能堅持到底，以及可以為了得到將來更大的回饋而放棄立即的好處 (Diamond, 2013; Petersen et al., 2016)。延宕滿足作業 (delay of gratification) 是常見測量簡單的反應抑制作業的方法，通常在延宕滿足作業中，兒童會遇到兩種都想要的事物而造成左右為難的狀態，可能會出現無法等待的衝動情況，若能在等待的時間給予兒童幫助，常常可以避免衝動的情形發生 (Diamond, 2013)。簡單的反應抑制作業能衡量兒童在作業時，所需要的延宕能力或抑制衝動反應的能力 (Carlson & Moses, 2001)。在複雜的反應抑制作業中，兒童須在一開始就抑制反應，並對有衝突的反應做出選擇及應對，因此需要更多的工作記憶需求，也就是需要記住規則並對規則做出反應 (Garon et al., 2008)。在這類型的作業中，目標不僅是像簡單的反應抑制作業只需要拒絕衝動的反應，而是要做出與預期的反應不同的新反應 (Carlson & Moses, 2001)。

過去已有研究證實，單次性運動能提升覺醒程度、釋放正腎上腺素 (Poe et al., 2020)，幫助大腦過濾不需要的訊息，將有限的專注力資源放在最迫切的事務上。而學生的學業



表現十分受到關注，專注度會影響學習過程，因此改善抑制控制進而強化專注度是提升學習效率的有效方法。人在出生的第一年就擁有抑制控制的能力，包含新生兒抑制反射動作、抑制主要行為的反應 (Diamond, 1990; Petersen et al., 2016)。有關抑制控制的發展研究，大多集中在幼兒期到青少年期之間，並出現顯著的改善 (Petersen et al., 2016)。抑制控制的發展延續一段很長的時間，在青春期前仍持續的發展，而兒童時期的抑制控制發展，可以預測往後的表現直到成人 (Diamond, 2013)。抑制控制能預測兒童未來的表現，包括學業成績 (Alloway & Alloway, 2010; Blair & Diamond, 2008; Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008; Cameron et al., 2012; Grissmer et al., 2010; Jäger et al., 2014)、身體健康 (Miller et al., 2011; Seeyave et al., 2009; Yang et al., 2018)、心智狀態 (Morales-Muñoz et al., 2021)、行為 (Moffitt et al., 2011) 及未來成就 (Bailey, 2007; Moffitt et al., 2011)。

認知功能對處理新信息和構建新知識相當重要，尤其抑制控制是使孩童在解決數學問題時，懂得使用新學習策略的能力 (Khng & Lee, 2009; Robinson & Dubé, 2013)。過去研究發現孩童的抑制控制能力可以預測他們的數學、閱讀和識字成績 (Allan et al., 2014; Best et al., 2011; Blair & Razza, 2007; Clark et al., 2010; LeFevre et al., 2013; Monette et al., 2011; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Swanson, 2006)。Agostino 等 (2010) 與王駿濠等 (2012) 表示執行控制功能好壞與乘法解題能力相關，原因推測為乘法運算需要訊息維持、更新及整合的能力，因此抑制控制能力較佳的孩童也會有較好的乘法運算能力。而 Wilkinson 等 (2020) 也指出孩童在學習數學和科學時，必須克服容易因為過去經驗而引起的誤導或干擾，這種違反直覺的概念需要使用抑制控制的能力。因此，抑制控制較好的孩童在學習數學和科學時能表現得更好 (Baker et al., 2011; Brookman-Byrne et al., 2018; Vosniadou et al., 2018; Zaitchik et al., 2014)。幾項橫斷性的研究也發現，較差的有氧適能與閱讀及數學領域的學業成績下降有關 (Castelli et al., 2007; Grissom, 2005; Roberts et al., 2010)。Sallis (2010) 也指出，把學科上課時間減少、增加運動課程時間，不但不會影響孩童的學科成績，反而會提升學習效率與課業表現。因此，若能提高孩童的抑制控制能力，也能使孩童的學業成績提升。

兒童和青少年通常較少罹患心臟病、高血壓、第二型糖尿病及骨質疏鬆症等慢性疾病，但目前證據表明，肥胖和這些疾病的其他危險因素，在兒童和青少年中出現的比例越來越高 (Piercy et al., 2018)。Ogden 和 Carroll (2010) 發現，久坐不動的生活方式與肥胖的顯著增加有關，2 至 19 歲的兒童中有 17% 為肥胖體位。而 2018 年世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 也指出，在 2016 年全球超重或肥胖的兒童及青少年 (5-19 歲) 比例已高達 18.4%，已有超過 3.4 億名兒童和青少年體重超重或肥胖，且有逐年攀升的趨勢，自 1975 年以來，世界肥胖人數已增長近三倍。Martins 等 (2018) 認為學校體育課程扮演著影響未來健康生活型態的角色，學校體育課程的設計及實施方式會影響孩童未來對運動的喜好程度。因此，如何提升孩童參與學校體育課程的動機與對運動喜好的程度，進而減少肥胖的機率至關重要。肥胖可能對我們的健康造成很大的影響，肥胖與平時的飲食及運動習慣密切相關。若孩童身處在容易導致體重增加與不利減肥的致肥胖 (obesogenic) 環境時，會因為無法控制對食物的衝動，導致肥胖的產生，這可能也是源自於抑制控制能力的不足 (Guerrieri et al., 2007; Nederkoorn et al., 2006; Thamotharan et al., 2013)。缺乏抑制控制能力容易產生暴飲暴食的風險，導致體重增加，因此較好的抑制控制能力能避免肥胖的產生 (Reyes et al., 2015)。Piercy 等 (2018) 認為童年和青春期的發展運動技能、學習並養成健康運動習慣以及為終身健康幸福奠定穩固基礎的關鍵時期，因此建議 6 至 17 歲的兒童和青少年，每天應從事至少 60 分鐘以上，中等至劇烈強度的身體活動，其中包含有氧運動、肌肉強化運動及骨骼強化運動，以維持身心靈健康。

抑制控制能力與外在行為亦有相當大的關係，Romero-López 等 (2021) 提出抑制控制能力有缺陷的孩童，在需要合作行為的社交場合中可能會遇到困難，因為他們難以抑制不當行為。缺乏抑制控制能力可能會導致孩童引起移情和攻擊性的衝動行為 (Gill & Calkins, 2003)。Noten 等 (2020) 的研究也發現當孩童抑制控制處於高的狀態時，心率反應和攻擊性之間呈負相關，意即當孩童同時具有高水平的同理心和抑制控制時，他們的攻擊性就會降低，反之攻擊性即會提升，且抑制控制能緩和心率，降低移情事件的反應及攻擊性行為的產生。WHO 在 2020 年提出攻擊性行為已成為代價高昂的心理健康

問題之一，會大幅增加衛生、福利和刑事司法資源及費用，還會降低生產力。而抑制控制缺陷的孩童可能會隨著時間推移，導致攻擊性行為日益增加，且攻擊性行為皆是從童年即開始，因此，改善抑制控制可能是預防或減少兒童早期攻擊行為的重要措施 (Raaijmakers et al., 2008)。Moffitt 等 (2011) 招募 1000 位在同年同城市出生的兒童，進行長達 32 年的觀察，發現在 3 歲至 11 歲有較好的抑制控制的兒童，到青少年時期的輟學比例較低，且較不會做出冒險的選擇、吸煙或服用藥物等成癮行為。抑制過程也促進參與遵守社會規範和規則，防止社會偏差和破壞性、非法或不當行為 (Diamond & Ling, 2016)。抑制控制能力對孩童往後社會發展至關重要，使個人能夠調整、適應和遵守既定的社會規範，在建立適當的人際關係和學習過程中也具有重要作用 (Romero-López et al., 2021)。

綜上所述，抑制控制的好壞對孩童的學業成績、身體健康、心智狀態、行為及未來成就等皆會造成影響。因此，若能通過運動的方式提升孩童的抑制控制能力，無論是對孩童就學時期甚至長大成人後，皆能產生良好的作用，且能避免偏差及不當的行為產生。

## 第二節 單次性運動促進執行功能可能機制

Best (2010) 提出三種途徑能影響認知功能：第一種為透過前額葉皮質 (prefrontal cortex) 和灰質 (gray matter) 產生的生理變化 (Lubans et al., 2016)；第二種為透過參與與新的神經元路徑相關的認知需求活動，提高自我調節能力和目標導向行為；第三種是透過參與執行複雜認知需求的運動。

人的大腦僅佔人體重量的 2%，但卻需要消耗人體 20% 的能量 (Hart, 1975)。先前文獻指出運動能讓人更聰明，原因是腦神經受到刺激，腦細胞因含氧量增加而活化，強化大腦不同功能區域的連結，進而提升抑制控制、專注、學習及記憶等能力，使人更有效率去轉換及運用其自身的注意力資源 (張育愷 & 陳豐慈, 2011; Wang et al., 2012)。

Casey 等 (2005) 認為人類會受到學習經驗的影響，使大腦結構進行突觸修剪 (pruning)，強化已連結的神經傳遞效率。無氧運動能刺激血管內皮生長因子與腦下垂體 (hypophysis) 分泌生長激素 (growth hormone)，並使海馬迴 (Hippocampus) 內的神經增生，進而提高神經突觸可塑性 (synaptic plasticity) 與記憶功能 (Vivar et al., 2012)。Lox 等 (2011) 提出運動可能誘發數種對於神經元與大腦健康來說重要的生長因子增加，提供突觸可塑性、細胞增生 (cell proliferation) 與分化 (differentiation) 及學習的訊號 (signals)，這些生長因子中最常被研究的是腦源性神經營養因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF)。Marquez 等 (2015) 也指出運動能促進 BDNF 釋放。血液中 BDNF 在有氧運動後，流入海馬迴的數量會提高，使海馬迴的神經元得到養分，讓神經元及突觸增長，進而強化認知表現 (Griffin et al., 2011)。BDNF 會影響執行功能 (Ferris et al., 2007; Winter et al., 2007)，特別涉及神經元的增殖和發育，並介導突觸傳遞和隨後的突觸可塑性 (Basso & Suzuki, 2017; Ferris et al., 2007; Jeon & Ha, 2015; Voss et al., 2013)。Gomez-Pinilla 等 (2008) 提出身體活動能透過釋放 BDNF 和增加海馬迴體積大小，對促進大腦功能產生相當大的作用。Chaddock, Erickson, Prakash, Kim, 等 (2010) 招募 49 名 9 至 10 歲的兒童，比較有氧適能、海馬迴體積和記憶力之間的關係，結果顯示，與高有氧適能兒童相比，低有氧適能兒童的雙側海馬迴體積較小，關係記憶任務表現也較差，海馬迴體積與關係記憶任務的表現呈正相關，但與非關係記憶任務的表現無關。海馬迴位於下顳葉皮質 (inferotemporal cortex) 的大腦區域，主要在空間記憶以及學習、形成新的關係記憶中發揮作用，BDNF 能透過運動在許多大腦區域中產生，其中，在海馬迴中出現的反應能持續的時間最長且效果亦最強 (Cotman et al., 2007)。而運動也已被證明可以增加海馬迴的體積與血流量 (Pereira et al., 2007; Van Praag et al., 2005; Vivar et al., 2012)，並能激活負責高級認知功能的額葉皮質 (frontal cortex) (Best, 2010; Raichle et al., 1994)。因此，Hillman 等 (2008) 認為運動可以使大腦發展最佳化。

過去研究提出運動也能誘發多巴胺 (dopamine)、血清素 (serotonin)、去甲腎上腺素 (norepinephrine) 和內啡肽 (endorphine) 等物質釋放 (Barenberg et al., 2011; Best, 2010)，可能對提高執行功能發揮關鍵作用 (Barenberg et al., 2011; Robbins & Arnsten, 2009)。除

了增加生長因子，運動也會觸發有利於學習和記憶的神經化學物質釋放，會影響情緒，可提高注意力、知覺和學習動機 (Basso & Suzuki, 2017)。情緒對孩童的學習至關重要，當掌控情緒的杏仁核 (Amygdala) 檢測到人體處於壓力、恐懼或憤怒等負面情緒狀態時，人體會產生過量的去甲腎上腺素和多巴胺 (Goleman, 1996; Willis, 2009)，使海馬迴對接受新訊息的處理時受到阻礙，即表示學習會受到阻礙 (Willis, 2009)。執行功能也會受到與壓力相關的去甲腎上腺素和皮質醇 (Cortisol) 釋放的影響，從而導致前額葉功能障礙 (Birnbaum et al., 1999; Liston et al., 2009)。身體活動可以降低兒童和青少年出現抑鬱症的機率 (Piercy et al., 2018)，Basso 和 Suzuki (2017) 與 Opendak 和 Gould (2015) 也指出運動可以改善情緒、減輕壓力、延長多巴胺和血清素的效期，進而減少壓力對大腦功能的負面影響，同時也有利於大腦功能。

對於運動改善認知功能的機轉，Herholz 等 (1987) 與 Ogoh 和 Ainslie (2009) 指出大腦神經元活動和新陳代謝會導致運動過程中大腦總血流量增加。有氧運動已被證實可增加肺活量、促進血管生成、增加微血管密度，使更多的血流入腦部，提供認知功能所需的結構與代謝資源，而氧氣藉由血液輸送，也使腦部組織獲得更多的氧氣，營養物質也隨之增加，間接強化認知功能與活化大腦 (Black et al., 1987; Delp et al., 2001; Hillman et al., 2009; Moss & Scholey, 1996; Netz & Jacob, 1994; Tomporowski et al., 2015)。Krock 和 Hartung (1992) 指出如果教師在課堂中，僅是要求學生起立伸展，大腦就會多吸收 7% 的氧氣，這對孩童的學習至關重要。Mahar 等 (2006) 也發現，在課堂中加入 10 分鐘的體育活動，對於孩童增加在校期間的運動時間和改善學習期間教師指派的任務行為是有效的方法。Ma 等 (2015) 甚至發現僅 4 分鐘的高強度間歇運動便能提升孩童的選擇性注意力，且運動時間只有 4 分鐘，可以穿插在課堂中進行。

此外，兒童時期久坐不動的生活方式不僅會影響身體健康，還會影響認知功能和大腦健康 (Chaddock et al., 2011)。根據 World Health Organization (2010) 的統計數據顯示，全球將近 80% 的青少年身體活動不足。且有越來越多的研究表示，低水平的體育活動與學業成績、認知功能和大腦結構的下降有關 (Castelli & Hillman, 2012; Castelli et al.,

2007; Chaddock, Erickson, Prakash, Kim, et al., 2010; Chaddock, Erickson, Prakash, VanPatter, et al., 2010; Pontifex et al., 2011)。

有認知參與的體育活動被認為是提高執行功能的關鍵因素，儘管其機制尚不清楚。Diamond (2015) 認為有認知要求參與的運動對執行功能的影響會比簡單的有氧運動及阻力訓練來得更好，因為在跑步機上跑步、騎固定的自行車或快速步行等有氧運動或阻力訓練很少需要思考。Best (2010)、Diamond (2015) 及 Diamond 和 Ling (2016) 也提出特定類型的運動可能與兒童的執行功能密切相關，因為與沒有認知參與的運動相比，有認知參與的運動似乎對執行功能有更實質性的影響。Crova 等 (2014) 則提出，在那些涉及認知參與的體育活動干預中，執行功能優先增加，研究表明，實驗組和控制組之間，在對認知要求最高的任務和群體中出現最大差異的執行功能，且不同的運動種類皆有相同結果。

急性有氧健身運動對認知表現的機制，大多以運動誘發的覺醒水準作為詮釋的主軸 (陳豐慈 & 張育愷, 2012)。Kamijo 等 (2007) 提出在最佳表現下，高認知要求的運動所需的覺醒程度會較低認知要求的運動低，以及前述研究發現，高強度運動會降低人類的覺醒程度 (Kamijo et al., 2004)。因此，Kamijo 等 (2007) 提出假設，在高強度運動之後的低覺醒可以促進較高認知要求的不一致情境表現，但可能對較低認知要求的中性 (neutral) 情境較無幫助，這些效果可以反映在行為及腦波的表現上。為檢驗這項假設，Kamijo 等 (2007) 讓 12 名年齡介於 20 至 30 歲的年輕受試者使用自行車測力計進行分級運動測試 (graded exercise test, GXT)，並比較其在執行 Eriksen flanker 作業的行為及腦波的表現。結果發現，所有的運動強度皆可以促進反應時間的表現，不過對正確率表現則無助益，此發現與先前 (Kamijo et al., 2004) 使用 Go/No-go 作業的發現不同，作者認為這可能是單次性運動對不同的認知作業有選擇性的效益所致。

此外，Arent 和 Landers (2003) 針對 8 種不同運動強度所誘發的覺醒水準對認知表現之影響進行探討。結果顯示，受試者的認知表現與覺醒程度呈現倒 U 的二次趨向曲線 (quadratic trend)。換句話說，中高強度儲備心跳率 (heart rate reserve, HRR) 的覺醒水準對認知表現的影響最佳，而過低或過高的覺醒水準則出現較差的現象，此結果符合

倒 U 型假說，表示若非處於個人最佳覺醒範圍之內，可能會產生注意力未達適合或過度的狀態，進而影響表現；反之在個人最適覺醒水準之內時，便會有較佳的認知表現 (陳豐慈 & 張育愷, 2012)。學者們一致的共識認為身體運動有益於健康，除改善身體和心理健康，還可以減少發生各種慢性疾病的風險。但是，不同類型的運動訓練有不同的影響，可能需要不同水平的改善，取決於體積之間的關係和強度 (Cassilhas et al., 2007)。因此，高強度運動後的低覺醒狀態是否能促進高認知要求作業的表現，仍須更多的研究支持。

單次性運動能引起大腦內的功能變化進而改善執行功能 (Best, 2010)。涉及額葉神經網絡的發展與認知控制的顯著改善有關 (Bunge et al., 2002)。Doherty 和 Forés Miravalles (2019) 與 Diamond (2000) 指出身體活動和執行功能與小腦、基底核 (basal ganglia) 和前額葉皮質之間的神經網絡激活具相互關聯。Chaddock-Heyman 等 (2018) 表明若大腦活動較強，海馬迴、前額葉區域和扣帶皮質 (cingulate cortex) 之間的連接性也更強。功能性大腦連接的額葉網絡和扣帶皮層網絡是兒童執行功能的基礎 (Engelhardt et al., 2019)。基底核在認知控制中扮演重要角色，包含動作準備、動作啟動、反應抑制、認知轉換等 (Aron et al., 2009)，Chaddock, Erickson, Prakash, VanPatter 等 (2010) 以旁側干擾作業研究有氧適能與孩童的基底核體積和執行控制功能的優劣是否相關，結果發現，有氧適能較高的孩童較不易受到旁側刺激的干擾，反應時間的表現也較優異，意即高有氧適能孩童相較於低有氧適能孩童在面對衝突刺激時的處理效率更佳。而前扣帶皮質是一個參與認知控制的大腦區域，會對大腦產生衝突的狀況做出反應 (Botvinick et al., 2001)。Bunge 等 (2002)、Travis (1998)、Ridderinkhof 等 (2004) 與 Rueda 等 (2005) 認為認知控制的改進與大腦網絡的成熟平行，特別是前額葉皮層、前扣帶皮層和基底核，以及來自腦島 (Insula) 和頂葉 (parietal lobe) 皮質以及額上溝 (Sulcus frontalis superior) 的額外貢獻。因此，執行功能的發展與響應執行功能需求而激活的大腦區域的神經生理學成熟相關 (Rusnáková & Rektor, 2012)。由於這些網絡包括直到成年早期才成熟的前額葉皮質 (Engelhardt et al., 2019; Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004) 等區域，因此執行功能是從整個兒童期和青春期發展到青年期。

不同年齡的發育速度各不相同，而執行功能在兒童時期發育特別快 (Best et al., 2009; Donnelly et al., 2016)，且他們似乎在這一時期在運動對執行功能的影響特別敏感 (Ludyga et al., 2016)。Donnelly 等 (2016) 在系統性文獻回顧中發現 5-13 歲兒童的認知功能發生積極變化，其中也包括執行功能。Verburgh 等 (2014) 在一項統合分析中納入兩項研究，該研究探討單次性運動對青春期前兒童抑制的影響，結果顯示有加入認知任務的單次性運動對抑制功能具有顯著的中等影響。

執行功能大概在 1 歲後開始發展，約 2 到 5 歲的時候產生重要變化，到 12 歲時，執行功能的表現可以到達成人表現的水平，最後在青少年期逐漸穩定 (Zelazo & Müller, 2002)。根據 Piaget (1972) 所提出，嬰兒時期獲得的第一個概念是感覺運動經驗，透過這些經驗學到的技能可以轉移到認知問題上，形成認知發展的基礎。Diamond (2013) 發現，執行功能是兒童與身體健康、認知、社會及心理發展相關之必須的技能，和學校及日常生活息息相關；過去也有研究證實，幼兒在學齡前有較佳的執行功能，未來於學業成就之層面亦會顯示出較佳的表現 (Diamond & Lee, 2011)。Carlson 和 Moses (2001) 認為執行功能的發展也與幼兒的語言能力有密切相關。

從心理學角度來看，單次性運動引起的認知改善可以用認知刺激假說來解釋。該假說認為認知要求高的運動能對認知功能帶來較大的益處，其假設顯示具有認知挑戰性的身體活動能預先活化用於控制高階認知過程的大腦區域或相關認知歷程，將其運用於後續的認知任務，有助於相對應的認知功能表現 (Best, 2010; Budde et al., 2008; Pesce, 2012; Tomporowski et al., 2015)。因此，單次性身體活動後增強的認知表現可以通過這些特定的預先活化來解釋，然後將其用於後續的認知任務 (Budde et al., 2008)。在理論框架中，運動和執行功能的重疊概念變得明顯。

綜上所述，執行功能的運作位於前額葉皮質，負責控制與調節認知，並能使個體專注與抑制自我，進而做出決策與計畫的能力。執行功能不僅與我們生活密切相關，若生命早期有較好的執行功能發展，將來在語言能力、學業成就也都有較好的表現。如果平時能將運動納入課程設計中，甚至僅是要求學生在課堂中進行短暫且簡易的運動，都能增強大腦活動，使腦細胞因含氧量增加而活化。改善認知和大腦健康可能對學業成績、



身體健康、生活品質和決策能力以及未來成就產生深遠的影響 (Diamond, 2013; Erickson et al., 2019)。

### 第三節 單次性不同認知要求運動與執行功能之相關文獻

Gentile (1987) 根據動作的複雜度區分運動所需的認知要求程度，以動作功能及環境背景為標準，分為 16 種不同程度 (如表 2-1)，數字與字母越小表示運動所需的認知要求越低，反之則越高。

表 2-1 運動所需的認知要求程度

動作功能 環境背景		身體穩定		身體移動	
		無操作物體	操作物體	無操作物體	操作物體
靜態限制 情境	一致性	1A	1B	1C	1D
	變異性	2A	2B	2C	2D
動態限制 情境	一致性	3A	3B	3C	3D
	變異性	4A	4B	4C	4D

曾竣璋 等 (2019) 招募 22 位平均年齡  $22.78 \pm 2.54$  歲的男性健康成人，採平衡次序研究設計，每人皆分別進行單次 30 分鐘、60% HRR 羽球及跑步運動，根據 Gentile (1987) 的分類標準，開放性運動所需之認知要求應比閉鎖性運動更高。研究結果發現 BDNF 之濃度在經過兩種運動後皆有提升；跑步運動能促進高與低干擾作業的表現，而羽球運動不僅能降低干擾效應，在提升高干擾作業表現的方面更為顯著。研究結果支持單次性運動對認知功能之效益，認知要求較低的閉鎖性運動呈現全面性的效果，而認知要求較高的開放性運動則特別對干擾控制認知處理流程大有裨益。

Chueh 等 (2017) 招募 48 名年齡介於 18 至 25 歲之受試者，開放性運動組為桌球或羽球運動員、閉鎖性運動組為田徑或游泳運動員及非運動員組，每組人數各為 16 人，以延遲和非延遲匹配樣本任務 (non-delayed and delayed match-to-sample task) 為工具，研究不同運動類型對視覺空間注意力和記憶處理的影響。研究結果發現，兩種運動

組別在執行測驗的反應時間都比非運動員組短，因此，不論是開放性運動或閉鎖性運動的訓練皆對視覺空間注意力、記憶力有正向影響。

Hung 等 (2018) 比較開放性運動和閉鎖性運動對產生 BDNF 和任務轉換性能的影響。招募 20 名平均年齡為  $23.15 \pm 2.48$  歲之無規律運動習慣男性，採平衡次序研究設計，每個人都會參與開放性運動（羽球）和閉鎖性運動（跑步）的訓練課程。運動課程包括 5 分鐘熱身運動，與 30 分鐘  $60\% (\pm 5\%)$  HRR 跑步或羽球運動。結果顯示，無論運動種類，參與者在運動過後血液中的 BDNF 濃度皆有上升，且與跑步運動相比，BDNF 在進行羽球運動後濃度更高。而羽球運動在作業轉換的反應時間，有較小的整體轉換成本 (global switch costs) 趨勢。

Wang 等 (2013) 招募 60 名男性大學生，其中 20 名為網球運動員（平均年齡  $20.23 \pm 2.39$  歲）、20 名游泳運動員（平均年齡  $19.31 \pm 0.75$  歲）及 20 名非運動員（平均年齡  $20.92 \pm 2.33$  歲），使用停止信號任務 (Stop-signal task) 來測試研究對象的反應時間。研究結果發現，網球運動員的抑制反應時間相較游泳運動員及非運動員有顯著差異，而游泳運動員和非運動員的控制組之間沒有差異，顯示網球運動員相較於其他兩組對於抑制不必要的反應有更好的控制能力。

Ballester 等 (2018) 招募 60 名平均年齡為  $11 \pm 0.20$  歲的兒童，20 名為足球運動員、20 名為田徑運動員與 20 名非運動員，使用精神運動警覺性任務 (Psychomotor Vigilance Task, PVT) 來測試研究對象的注意力、警覺性及反應時間。結果發現田徑運動員與非運動員之 PVT 表現沒有顯著差異，但足球運動員顯著優於田徑運動員及非運動員，說明認知要求較高之開放性運動對執行功能的影響優於認知要求較低之閉鎖性運動及控制情境。

Van den Berg 等 (2016) 招募 195 名 5、6 年級（10 至 13 歲）國小孩童，研究三種不同類型的運動對國小高年級孩童訊息處理速度和選擇性注意力之影響，運動類型分別為有氧運動、協調運動和阻力運動。三種運動皆包含相同的前 1.5 分鐘熱身和最後 0.5 分鐘緩和，以及 10 分鐘不同的運動內容，持續時間共 12 分鐘。有氧運動為簡單和重複的動作；協調運動包括更複雜的動作，強調協調技能；阻力訓練則是動態和靜態

阻力鍛煉。結果表示，無論何種運動類型，皆對國小高年級孩童的訊息處理速度和選擇性注意力沒有影響。

Elleberg 和 St-Louis-Deschênes (2010) 招募 72 名男孩，包含 7 歲和 10 歲各 36 名，並將兩種年齡層的男孩再分為運動介入組與控制組，以低認知要求的腳踏車測功器為運動介入方式，研究 30 分鐘中等強度有氧運動對 7 歲和 10 歲男孩執行功能的影響。研究表明，無論 7 歲或 10 歲的男孩，運動介入組相較於控制組的反應時間都有積極影響。

Chen 等 (2014) 及 Egger 等 (2018) 發現認知要求低的運動對認知彈性有不同的效果。Chen 等 (2014) 招募 34 名三年級兒童和 53 名五年級兒童，並隨機分配到單次性運動組或控制組，單次性運動為 30 分鐘的中等強度集體慢跑。結果發現無論何種年齡，與控制組相比，單次性運動組後測的反應時間皆比前測更短，且五年級的改變量比三年級更高。Egger 等 (2018) 則將 216 名兒童 (平均年齡  $7.94 \pm 0.44$  歲) 隨機分配到四種不同的組別，分別為組合組 (高身體活動 (CE)，高認知 (PE)， $n=59$ )：邊跑邊聽同一首歌，每次持續兩分鐘，共播放三次。每當歌曲中提到關鍵詞時，孩子們必須盡快做出相對應的動作 (如：汽車 = 跳起來，硬幣 = 旋轉，郵局 = 坐下)，規則會隨著難度增加而改變；認知組 (高 CE，低 PE， $n=53$ )：孩子們坐著圍成一圈，聽著與高身體活動加高認知參與組相同的歌曲，聽到關鍵詞時僅需用手臂和手指盡快做出反應；有氧組 (低 CE，高 PE， $n=50$ )：邊聽同一首歌邊跑，在聽到三個不同的關鍵詞時，只需做出完全相同的動作；控制組 (低 CE，低 PE， $n=54$ )：孩子們舒適地圍成一圈，聽 20 分鐘適合年齡的有聲讀物。結果指出無論何種組別，在後測的反應時間皆較前測增加。

Lambrick 等 (2016) 為瞭解單次性連續或間歇的中等強度跑步運動對兒童執行功能的影響，招募 20 名平均年齡  $8.8 \pm 0.8$  歲的健康兒童，採用隨機交叉設計。連續運動情境中，受試者須以相當於 90% 氣體交換閾值 (gas exchange threshold, GET) 的程度連續跑步 15 分鐘；間歇運動情境則是重複六次 2.5 分鐘的運動，總共 15 分鐘，其中包含高強度 45 秒 (跑步速度相當於 40% delta)，中等強度 33 秒 (跑步速度相當於

90% GET)，高強度 10 秒（跑步速度相當於受試者在漸進負荷運動測驗（continuous graded exercise test, GXT）的最大峰值）和低強度 62 秒（受試者自行決定速度的步行）。受試者會在運動前及後的 1、15 和 30 分鐘執行叫色作業（Stroop task）。研究者認為相較於連續運動情境，間歇運動情境較為複雜，因連續運動情境僅有中等強度運動的跑步，而間歇運動情境則包含低、中、高不同的運動強度，受試者必須要一直變換跑步方式及速度，須使用較高的執行功能才得以完成，說明間歇運動情境所需之認知要求較高。研究結果發現，兩種運動情境在運動後 1 分鐘即得到執行功能的改善，且正面影響一直持續至 30 分鐘後，值得注意的是，受試者在間歇運動情境的表現優於連續運動情境。而透過近紅外光譜（near-infrared spectroscopy, NIRS）顯示，僅在間歇運動情境中達到顯著差異，連續運動情境則無此趨勢。

Stein 等 (2017) 為研究 5 至 6 歲兒童運動和執行功能之間的關係及測試兒童個體運動功能的單次性運動介入是否會影響不同的執行功能，包含運動抑制、認知抑制和轉移功能。因此，研究者招募 102 名 5 至 6 歲兒童，將受試者隨機分配到協調介入組或控制組。協調介入組會進行五項練習（例如：用左、右手或腳將球扔或踢到目標上），而控制組則參加五項幾乎不涉及協調技能的簡單活動。結果顯示，認知要求較高之單次性協調運動介入似乎沒有對幼兒園兒童執行功能造成影響。

Ludyga 等 (2017) 招募 5 名注意力不足過動症（attention deficit hyperactivity disorder, ADHD）兒童及 8 名健康控制組兒童，使用交叉設計將兒童分為 20 分鐘的自行車運動組、協調運動組以及控制情境組，研究不同運動類型對兒童抑制控制與注意力之影響。研究結果顯示，無論何種運動類型，單次性運動皆可以改善抑制控制能力和注意力資源的分配。而在改善 ADHD 兒童的抑制控制缺陷方面，結果發現有氧運動似乎比協調運動更有效。

Jäger 等 (2014) 研究單次性身體活動介入對孩童執行功能影響，招募 104 名 6 至 8 歲的孩童，其中一半接受 20 分鐘高認知參與和娛樂形式的體育活動，另一半則被分配到控制組。研究結果顯示，高認知參與和娛樂形式的體育活動組孩童的抑制控制能力

改善幅度明顯比控制組更強，而單次性身體活動似乎對孩童的更新和轉移能力沒有特定影響。

Janssen 等 (2014) 招募 123 名 10 至 11 歲的兒童，組內設計，按照隨機順序進行四次實驗，先進行 1 小時的常規數學或語言課程，接著是 15 分鐘不同的條件：不休息（繼續進行數學或語言課程，且過程中不被允許向老師尋求協助）、被動休息（聽老師朗讀一則故事，既無進行身體活動也沒有繼續課程）、中等強度的身體活動（先從教室步行至體育場館，接著由研究人員指導進行慢跑、傳球、運球等身體活動，結束後再步行回原教室）及劇烈強度的身體活動（也包含教室至體育場館往返之步行，皆著進行跑步、跳躍、跳繩的組合練習）。結果顯示，兒童在經過中等強度和劇烈強度身體活動後，注意力表現皆明顯優於不休息組，而被動休息組、中等強度及劇烈強度身體活動對選擇性注意力都有顯著的正面影響，其中，又以中等強度身體活動的影響幅度最大。

Gallotta 等 (2015) 欲瞭解不同類型的單次性身體活動對國小兒童即時與延遲注意力之影響，招募 116 名 8 至 11 歲孩童參與實驗，其中包含三年級 (8-9 歲) 36 名孩童，四年級 (9-10 歲) 26 名孩童，五年級 (10-11 歲) 54 名孩童。隨機分為認知組 (39 名)、運動組 (31 名) 及認知運動組 (46 名)。受試者皆會在實驗前、實驗後立即與實驗後 50 分鐘執行相同的注意力測試。認知組進行一個 50 分鐘關於人文主題的學術課程；運動組及認知運動組總持續時間為皆 50 分鐘，兩組包含 15 分鐘相同的熱身、30 分鐘相同強度（中等到劇烈）但不同內容的身體活動，以及 5 分鐘相同的放鬆和伸展。運動組之身體活動內容為持續的有氧循環訓練，透過不同類型的動作（例如快走、跑步、跳躍）提升心血管耐力，無需任何協調要求；認知運動組則以與過往不同之規則進行籃球遊戲，並涉及決策性和操控性技能的各種任務，因此認知運動組需要較高之認知要求。研究結果發現，單次性運動可以增加注意力資源分配，而認知組之注意力表現最差，但與其他兩組相比，可能因為運動類型影響，導致認知運動組的 CP 值（正確字母數減去錯誤字母數）隨時間的變化改善幅度較低。

根據過去研究發現，較複雜的運動任務或含有認知要求的遊戲能顯著提高兒童抑制控制功能 (Jäger et al., 2014; Janssen et al., 2014)。Paschen 等 (2019) 以中等強度的 7.0

MET 運動為干預，設計低認知要求運動時間持續 20 分鐘，而高認知要求運動則為 15 分鐘，其假設具有高認知要求的單次性運動可能包括額外的刺激以提高執行功能。上述結果的比較表明，具有高認知要求的運動時間比低認知要求的運動時間短，因此可以推測，具有高認知要求的運動可以使用更短的運動時間，與較長時間的低認知要求運動產生類似的效果。

綜上所述，Best (2010) 和 Diamond (2015) 假設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，因為更具認知參與的運動可能會激活更高階的認知過程。過去許多研究發現，有認知要求參與之單次性運動能提升兒童執行功能 (曾竣瑋 et al., 2019; Ballester et al., 2018; Chen et al., 2014; Chueh et al., 2017; Ellemborg & St-Louis-Deschênes, 2010; Hung et al., 2018; Janssen et al., 2014; Lambrick et al., 2016; Ludyga et al., 2017; Wang et al., 2013)；然而，幾項研究皆未發現具有認知要求的單次性運動對執行功能的影響存在顯著差異 (Egger et al., 2018; Gallotta et al., 2015; Stein et al., 2017; Van den Berg et al., 2016)；而 Jäger 等 (2014) 僅發現單次性運動對抑制控制功能有改善，而其他執行功能次成分則無發現影響。因此，還需要更多研究瞭解有認知要求參與之單次性運動對兒童執行功能之影響。

#### 第四節 文獻探討總結

抑制控制是執行功能中最重要的次成分，不但會影響學業成績，也會影響孩童的未來表現，因此如何透過運動的方式提升國小孩童之抑制控制能力，是一個很受重視的議題。如果平時能將運動納入課程設計中，甚至教師僅在課堂中穿插短暫且簡易的運動時間，都能增強大腦活動，進而提升學習動機及學業表現。執行功能不僅與我們生活密切相關，若在生命早期有較好的執行功能發展，無論是對就學時期的表現甚至是未來的日常生活，皆能造成良好的影響。雖單次性健身運動對認知功能的正面效益已被許多研究

所支持，但過去幾項涉及認知要求的單次性運動對認知功能的影響卻有不同的研究結果，因此需要再進一步研究，以瞭解不同認知要求運動對執行功能之影響為何。



## 第參章 研究方法

本章內容為研究方法與步驟，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

本研究的研究對象為有運動習慣孩童，選取的必要條件：（一）每週中高強度身體活動超過 150 分鐘以上；（二）10-12 歲；（三）BMI < 27 kg/m<sup>2</sup>；（四）視力正常或矯正後視力正常；（五）慣用手為右手。另外排除條件為經鑑定後的身心障礙者，如：行為障礙、情緒障礙、注意力缺陷、過動障礙、學習障礙、肢體障礙。以新北市新店區某國小孩童 30 名為受試者，本研究徵得新北市新店區某國小同意後，在此學校進行本研究。實驗前先告知孩童實驗流程與目的後，再填寫家長同意書，同意後成為本研究的受試者。

### 第二節 研究工具

#### 一、認知測驗

本研究採用修正版 Flanker 作業 (modified flanker task)(Eriksen & Eriksen, 1974) 評估抑制控制。此作業包含兩種刺激型態，受試者需對一致刺激 (<<<<< 或 >>>>>) 及不一致刺激 (<<><< 或 >><>>) 的中間箭頭方向做出相對應的反應。中間箭頭指向右邊時，受試者需用右手食指快速按下數字 1 的按鍵，若中間箭頭指向左邊時，則需用左手食指快速按下數字 3 的按鍵。兩種刺激型態出現機率分別為一致刺激三分之二、不一致刺激三分之一。

螢幕背景為黑色，並以 5 公分之白色箭頭呈現刺激。每次試做會先於螢幕正中間出現 1000 毫秒之十字注視點 (fixation)，接著呈現刺激 1000 毫秒，受試者有 1000 毫秒的反應時間，試做間隔 (inter-trial-interval) 為 1300~1500 毫秒。說明作業內容後，



先給予受試者 20 次試做 (trials) 練習，並指導受試者正確且迅速的做出反應。受試者練習正確率達 80% 以上並確定他們瞭解作業後，即開始正式測驗，所有受試者皆需達此標準。正式測驗為 3 回合 (block) 共 216 次試做，回合間讓受試者短暫的休息。

## 二、feeling arousal state 及 feeling state

本研究在介入前進行 FSA 及 FS 的評估，瞭解受試者分別在接受三個情境的介入前的覺醒和心情狀態。Svebak 和 Murgatroyd (1985) 使用數字將 FAS 分為六級 (如附錄 - 1)，數字越大代表覺醒狀態越高，反之則覺醒狀態越低，是一個單項活化指標。Hardy 和 Rejeski (1989) 將 FS 採用 11 分制評分 (如附錄 - 2)，從 -5 表示心情非常不好，到 +5 代表心情非常好，是受試者心情狀態的單項指標。

## 三、OMNI 感知勞累量表 (RPE)

RPE 是以心理感覺自我評估在運動中所感受到強度的一種方法，受測者在運動中或後，可以依照心率、呼吸頻率、流汗多寡及肌肉疲勞程度等作為依據，從主觀的角度判斷運動強度 (Borg, 1982; Robertson et al., 2003)。本研究採用 Utter 等 (2002) 所提出兒童步行或跑步之 OMNI 感知勞累量表 (RPE) (如附錄 - 3、附錄 - 4)，以數字將運動強度區分成 11 個等級，數字越大代表強度越高，反之則強度越低。

## 四、認知負荷評級量表

Sweller (1988) 表示學習者在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負荷。本研究採用 (Paas, 1992) 提出之認知負荷評級量表 (如附錄 - 5)，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腦力消耗越高，反之則腦力消耗越低。

### 第三節 研究設計與流程

本研究組內設計，受試者皆會參與三種介入情境，分別是高認知要求運動(A)、低認知要求運動(B)及控制情境(C)。受試者進行實驗的順序做次序平衡，分成 ABC、ACB、BCA、BAC、CAB、CBA 六種 (如圖 3-1)。熟悉期會向受試者說明實驗流程及練習認

知測驗，在熟悉期後至少間隔 72 小時才進行第一次介入。為減少介入情境間的相互影響，每次介入間隔時間亦至少 72 小時。受試者每次會在介入前進行 FAS 及 FS 兩種問卷，確保受試者分別在接受三個情境的介入前皆是相同的覺醒和心情狀態，並於介入前、後 10 分鐘進行認知測驗（如圖 3-3）。介入內容說明如下：

#### 一、不同認知要求運動：

以 Blaze Pod 反應燈介入，將三個感應器以邊長 50 公分之正三角形的三個角黏貼於白色牆面（如圖 3-4），下方兩個感應器距離地面 1 公尺（如圖 3-4）。受試者站立於距離牆面 2 公尺之預備線後（如圖 3-4），每次拍完感應器須回到預備線後。感應器每次發光時間最長為 2 秒，受試者未於 2 秒內拍到指定之感應器則會熄燈，發光的間隔時間為 1-3 秒。根據 Lambrick 等 (2016) 提出相較於連續性運動，間歇性運動對兒童的執行功能效益更高，且 Lopes 等 (2006) 表示國小孩童平時進行身體活動的特點是在非常短的時間內完成，並有休息或輕度身體活動作為間隔，因此將介入設計為每運動 2 分鐘休息 30 秒。根據 Chang 等 (2012) 的統合分析指出，持續時間大於 11 分鐘的運動能引起執行功能的變化最為顯著。因此本研究設計介入時間共 20 分鐘，介入完成休息 10 分鐘後進行 Flanker 作業。分為以下兩種不同認知要求情境：

（一）低認知要求運動：三個感應器中只有一個會發光，發光順序隨機，受試者需用手拍發光的目標感應器。

（二）高認知要求運動：三個感應器會同時亮不同顏色的光，發光及光的顏色順序隨機，受試者須拍指定顏色之目標感應器。

二、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。

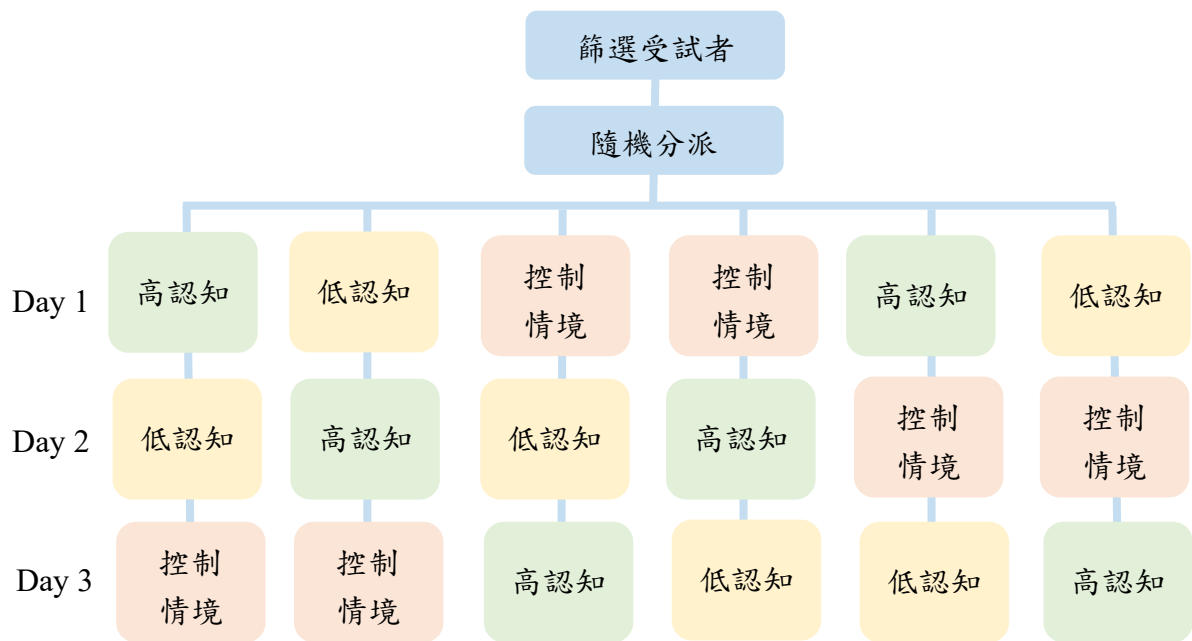


圖 3-1 受試者介入流程圖

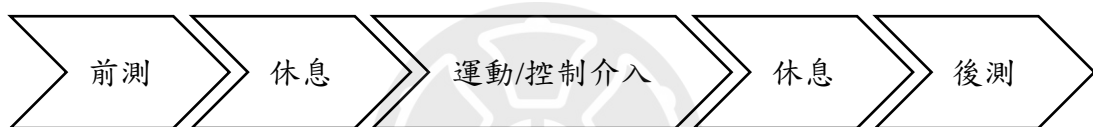


圖 3-2 實驗流程圖



圖 3-3 受試者與感應器位置圖

三、介入時間：為減少日夜節律之影響，每次介入時間將固定在 7:40-8:40 或 16:00-17:00 進行。

四、心率、RPE、認知負荷量表：每次介入期間，每隔 2 分鐘將使用 Polar HR 監測器 (Polar RS800CX; Polar Electro Oy) 測量運動中平均心率。RPE 及認知負荷量表是個人實驗當下的主觀評價，將在介入後立即評估。

五、實驗環境：

(一) 教室空間：長 25 公尺、寬 30 公尺。

(二) 座位：受試者坐於距離螢幕約 45 公分之椅子上，電腦擺放於高 50 公分之桌上。

#### 第四節 資料處理與統計分析

以單因子重複量數分析三個介入情境前（高認知要求運動情境、低認知要求運動情境、控制情境）的 FSA 及 FS。在實驗操弄變項方面，以單因子重複量數分析三個介入情境（高認知要求運動情境、低認知要求運動情境、控制情境）在 RPE、認知負荷評級量表與心率之差異。在抑制功能表現方面，針對孩童在 flanker 作業在不一致情境及一致情境的反應時間與正確率之改變量，以二因子變異數重複量數 3（介入：高認知要求運動情境、低認知要求運動情境、控制情境）x 2（作業難度：一致情境、不一致情境）進行分析。另外，以單因子重複量數（介入：高認知要求運動情境、低認知要求運動情境、控制情境）分析 Flanker effect (interference scores) 之反應時間。將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 30 名孩童為受試者，其中 4 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。

### 第二節 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 15 人，女性人數 11 人。受試者為新北市新店區某國小高年級孩童，平均年齡  $11.76 \pm 0.50$  歲；身高  $153.88 \pm 5.62$  公分；體重  $40.08 \pm 7.10$  公斤；BMI  $16.83 \pm 16.83$  公斤/公尺<sup>2</sup>。

表 4-1 受試者基本資料摘要表 (N = 26)

變項	M	SD
年齡 (歲)	11.76	0.50
身高 (公分)	153.88	5.62
體重 (公斤)	40.08	7.10
BMI (公斤/公尺 <sup>2</sup> )	16.83	16.83

### 第三節 實驗操弄變項

以單因子重複量數分析 FAS、FS、RPE、認知負荷評級量表及心率在三種介入情境中是否存在差異，結果可見表 4-1。結果顯示：FAS ( $F(2,50) = 1.77, p = .181, \eta^2_p = 0.066$ ) 在三種介入情境中無顯著差異；FS ( $F(2,50) = 1.18, p = .314, \eta^2_p = 0.045$ ) 亦沒有達到顯著差異；而 RPE ( $F(2,50) = 131.67, p < .001, \eta^2_p = 0.840$ ) 達到顯著差異，事後比較顯示高認知要求運動情境與低認知要求運動情境無顯著差異，但兩者皆顯著大於控制情境；認知負荷評級量表 ( $F(2,50) = 26.72, p < .001, \eta^2_p = 0.517$ )，事後比較顯示三者皆有顯著差異，其中以高認知要求運動情境最高，依序為低認知要求運動情境

及控制情境；心率 ( $F(2,16) = 3360.57, p < .001, \eta^2_p = 0.998$ ) 達到顯著差異，事後比較顯示控制情境顯著低於高認知要求運動情境與低認知要求運動情境，而高認知要求運動情境及低認知要求運動情境則無存在差異。

表 4-1 實驗操弄變項資料摘要表 (N = 26)

變項	高認知要求運動		低認知要求運動		控制情境	
	M	SD	M	SD	M	SD
FAS	4.35	0.89	4.62	1.30	4.23	1.21
FS	3.35	1.47	3.08	2.26	3.62	1.65
RPE	7.31	2.20	7.19	2.12	2.00	1.02
認知負荷	3.96	1.66	2.81	1.81	1.65	0.85
心率(bpm)	166.30	2.92	165.65	3.03	113.38	0.92

#### 第四節 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與反應時間改變量之效果，結果如表 4-2；以單因子變異數重複量數分析作業難度及介入情境對反應時間之 Flanker effect 改變量之效果，結果可見表 4-3 所示：

##### 一、正確率

數值為正數且越大表示正確率之改變量越高。結果顯示，作業難度 ( $F(1,25) = 12.346, p = .002, \eta^2_p = .331$ ) 及介入情境 ( $F(2,50) = 3.551, p = .036, \eta^2_p = .124$ ) 皆有顯著效果。作業難度 X 介入情境在正確率上有顯著交互作用效果， $F(2,20) = 16.624, p < .001, \eta^2_p = 0.399$ 。單純主要效果檢定顯示：對低認知要求運動情境來說，作業難度達到顯著， $F(1,75) = 41.366, p < .001, \eta^2_p = 0.355$ ，一致情境高於不一致情境；在一致情境中，介入情境也有單純主要效果， $F(2,100) = 331.717, p < .001, \eta^2_p = 0.213$ 。事後比較顯示，在一致情境中，低認知要求運動情境顯著大於高認知要求運動情境 ( $p = .026$ )，而高認知

要求運動情境與控制情境及低認知運動情境分別與控制情境無顯著差異；在不一致情境中，三個情境並無顯著差異。

## 二、反應時間

數值為負數且越小表示反應時間之改變量越高。結果顯示，作業難度 ( $F(1,25) = 15.128, p = .001, \eta^2_p = .377$ ) 與介入情境 ( $F(2,50) = 4.541, p = .015, \eta^2_p = .154$ ) 皆有顯著效果。作業難度 X 介入情境在反應時間上有顯著交互作用效果， $F(2,50) = 3.242, p = 0.047, \eta^2_p = 0.115$ 。單純主要效果檢定顯示，高認知要求運動情境 ( $F(1,75) = 10.291, p = .002, \eta^2_p = 0.121$ ) 及控制情境 ( $F(1,75) = 12.708, p = .001, \eta^2_p = 0.145$ ) 中，不一致情境改變量皆高於一致情境，而低認知控制情境則無達到顯著。此外，在不一致情境 ( $F(2,100) = 4.453, p = .014, \eta^2_p = 0.082$ ) 及一致情境 ( $F(2,100) = 4.312, p = .016, \eta^2_p = 0.079$ ) 中，介入皆有單純主要效果。事後比較顯示，無論作業難度，皆為高認知要求運動情境表現最佳，其次為低認知要求運動情境，控制情境最後，但未達統計上顯著。其中僅在不一致情境中，高認知要求運動情境顯著優於低認知要求運動情境 ( $p = .017$ )。

## 三、反應時間之 Flanker effect

數值為負數且越小表示反應時間之改變量越高。結果顯示，不同介入情境在反應時間之 Flanker effect 上有顯著差異， $F(2,50) = 3.242, p = .047, \eta^2_p = 0.115$ 。事後比較顯示，雖結果為高認知要求運動情境表現最佳，其次為低認知要求運動情境，控制情境最後，但僅高認知要求運動情境優於低認知要求運動情境有達到顯著 ( $p = .033$ )，而高認知要求運動情境與低認知要求運動情境分別皆與控制情境沒有顯著差異。

表 4-2 正確率、反應時間資料摘要表 (N = 26)

變項	作業難度	高認知要求運動		低認知要求運動		控制情境	
		M	SD	M	SD	M	SD
正確率	不一致	-1.192	5.146	-1.046	4.799	0.830	6.020
	一致	-0.112	2.233	5.485	5.807	-1.158	6.063
反應時間 (毫秒)	不一致	-35.067	42.155	-6.432	25.509	-3.293	42.868
	一致	-15.797	39.064	-4.114	25.842	18.121	60.477

表 4-3 Flanker effect 資料摘要表 (N = 26)

變項	高認知要求運動		低認知要求運動		控制情境	
	M	SD	M	M	SD	M
反應時間之 Flanker effect (毫秒)	-19.270	21.924	-2.318	19.309	-21.414	44.285



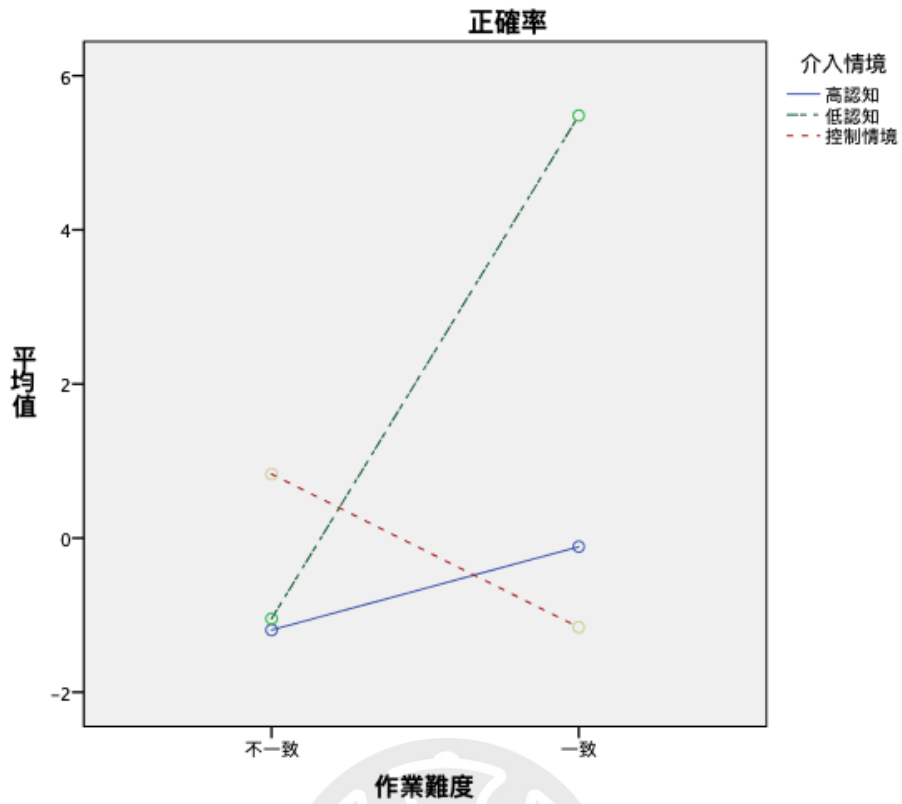


圖 4-1 正確率之交互作用圖

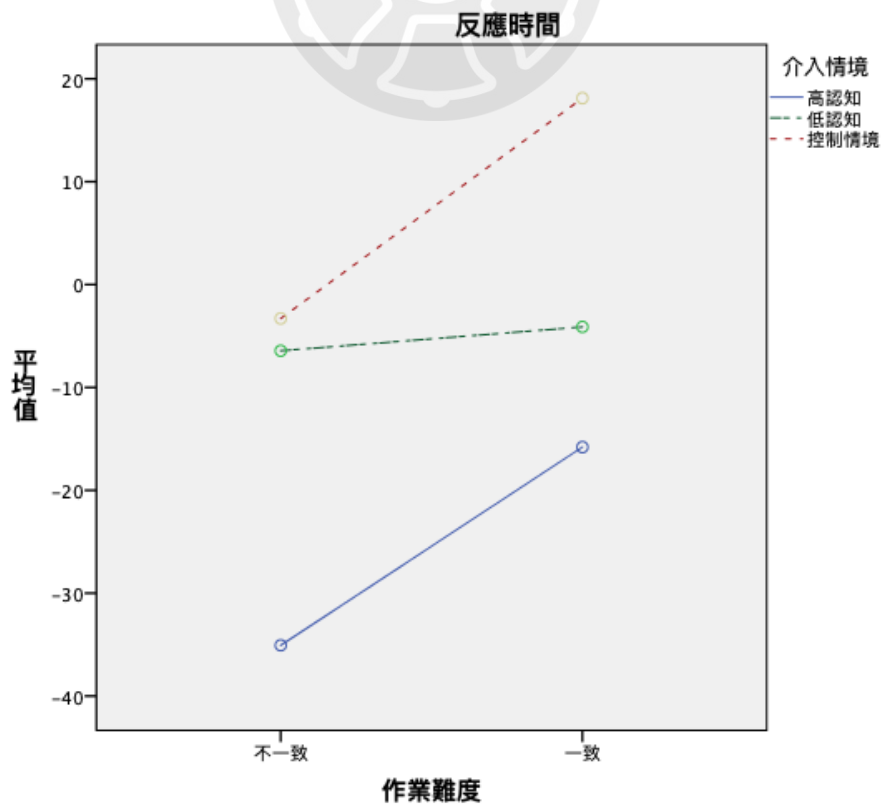


圖 4-2 反應時間之交互作用圖

## 第五章 討論與建議

本研究旨在探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響。以文獻探討之相關資料蒐集奠定研究基礎，以 flanker task 做為本研究之認知實驗工具，透過資料數據的蒐集進行統整與分析，探討實驗介入後之結果，最後說明實驗限制與提供實驗相關建議，以供後續研究學者做為參考。

### 第一節 討論

本研究旨在探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響，並期許將實驗結果應用在未來國小孩童體育課程設計，促進孩童執行功能之表現，進而提升孩童行為管理及學業表現。在實驗操弄變項中，運動中心率及 RPE 顯示兩個運動情境皆顯著高於控制情境，而兩個運動情境間並無顯著差異；運動中認知負荷評級量表結果顯示，孩童在高認知要求運動中認知負荷最高，依序為低認知要求運動情境及控制情境。在抑制控制正確率表現中，低認知要求運動情境在一致情境顯著優於高認知要求運動情境，而兩個運動情境與控制情境並無顯著差異。在反應時間結果顯示，僅在不一致情境中，高認知要求運動情境顯著優於低認知要求運動情境。反應時間之 Flanker effect 結果顯示，高認知要求運動情境顯著小於低認知要求運動情境，但兩個運動情境與控制情境並無發現到顯著差異。整體而言，本研究發現高認知要求運動對於孩童的認知效益可能反應在需要較高的抑制控制要求的情境下，然而其效果仍需更多後續研究來確認。

在反應時間結果中，作業難度與介入情境皆有顯著效果，作業難度 X 介入情境亦有顯著交互作用效果。本研究雖有效操弄運動強度，然而並未觀察到中高強度運動對於抑制控制之正面效果。本研究假設為高認知要求運動情境及低認知要求運動情境相較於控制情境在抑制控制之反應時間皆有較短的反應時間，此結果雖不支持研究假設，但與過去研究相似 (Egger et al., 2018; Jäger et al., 2015)。Egger 等 (2018) 與 Jäger 等 (2015) 發現無論是否有認知參與之單次性中高強度運動，在抑制控制之反應時間皆與控制情境

無顯著差異。此外，本研究希冀將研究結果實際應用於未來教學場域，因此研究介入的實驗場域選定於更符合真實環境的國小教室。然而，因受試環境為國小教室，導致實驗時所發生的周遭環境較無法有效控制，可能使受試者於參與實驗的過程受到干擾，如：教室外嬉戲吵鬧聲及午後突如其來的驟雨雷聲等，使受試者在操作認知測驗時，其專注度受到間接影響，進而導致受試者在反應時間控制情境之標準差過大，最終造成高認知要求運動與控制情境未達統計上顯著之差異。Jäger 等 (2015) 也提出要在現實環境中透過單次性運動獲得對抑制控制的積極效果，可能比在實驗室的環境中更難，可能需要在生理和認知要求方面根據個人能力進行調整，才能使介入達到效果。

值得注意的是，本研究假設高認知要求運動情境相較於低認知要求運動情境及控制情境，在需要較高抑制控制的作業情境下（不一致情境）有較短的反應時間，結果顯示高認知要求運動在反應時間之不一致情境中改變量高於低認知要求運動情境，此結果部分支持研究假設。Best (2010) 與 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。且認知刺激假說認為認知要求高的運動能對認知功能帶來較大的益處，其假設具有認知挑戰性的身體活動能預先活化用於控制高階認知過程的大腦區域或相關認知歷程，將其運用於後續的認知任務，有助於相對應的認知功能表現 (Best, 2010; Budde et al., 2008; Pesce, 2012; Tomporowski et al., 2015)。根據認知刺激假說，我們認為在高認知要求運動情境介入時已需使用抑制控制能力，因為受試者必須抑制按下其他顏色反應燈的衝動，與 Flanker 作業之不一致情境中目標箭頭以外之干擾相似，因此此設計能提前活化同樣的認知歷程，使高認知要求運動情境產生較大的認知效益。

過去研究 (Chen et al., 2014; Ellemberg & St-Louis-Deschênes, 2010; Jäger et al., 2014; Janssen et al., 2014; Mierau et al., 2014; Niemann et al., 2013; Vazou & Smiley-Oyen, 2014) 僅將介入情境分為兩種，分別是認知要求運動情境與控制情境，較少與本研究將認知要求運動情境同時納入高及低兩種不同程度有相同設計，本研究對認知要求程度設計較為嚴謹，與過去研究有不同之處，以探究不同程度認知要求運動對抑制控制表現之差異比較。另外，認知負荷評級量表為受試者對不同介入情境主觀的認知負荷程度判斷依據，

在完成介入情境後皆會進行調查。結果顯示三種介入情境之認知負荷皆存在差異，且達到統計上顯著。其中又以高認知要求運動情境之認知負荷最高，其次為低認知要求運動情境，而控制情境之認知要求最低，表示受試者能區辨出高認知要求運動情境及低認知要求運動情境中不同程度認知條件的設計。且無論是 RPE 或心率測量的結果都顯示，高認知要求運動情境及低認知要求運動情境無存在差異。表示高認知要求運動與低認知要求運動之運動強度相同，因此也能說明影響兩種運動介入情境結果的條件是認知要求程度不同，而非運動強度。

反應時間之 Flanker effect 為不一致情境反應時間減去一致情境反應時間的結果，數值越小則代表受試者在抑制控制的表現越好。研究假設為高認知要求運動情境及低認知要求運動情境相較於控制情境在抑制控制之反應時間的 Flanker effect 皆有較大的改變量，結果顯示不同介入情境在反應時間之 Flanker effect 上有顯著差異，其結果部分支持研究假設，也呼應不一致反應時間結果。結果顯示高認知要求運動情境後的反應時間之 Flanker effect 數值顯著小於低認知要求運動情境，顯示高認知要求運動相較於低認知要求運動能更有效的抑制與作業無關的干擾，專注在當下重要事物上。然而，高認知要求運動情境卻與控制情境無存在差異，原因推測為控制情境在一致情境退步幅度太高，且在不一致情境之改變量較少，導致高認知要求運動情境與控制情境沒有差異。

在正確率結果中，作業難度及介入情境皆有顯著效果，作業難度 X 介入情境亦有顯著交互作用效果。在一致情境中，低認知要求運動情境顯著高於高認知要求運動情境，而兩個運動情境與控制情境無顯著差異。值得注意的是，本研究發現僅在低認知要求運動情境之不一致情境反應時間改變量未顯著高於一致情境，而低認知要求運動情境相較於高認知要求運動情境在一致情境的反應時間有較長的趨勢 ( $p = .623$ )，因此不符合原本研究假設的可能是受試者在參與低認知要求運動情境後，孩童在面對一致情境時為了求正確率而犧牲掉反應時間。

Martins 等 (2018) 認為學校體育課程扮演著影響孩童未來生活型態健康與否的角色，因此如何實施學校體育課程事關重大。體育是透過運動的教育，本研究期許能將實驗結果應用在未來國小體育課程設計，研究結果發現無論作業難度，皆為高認知要求運

動情境之反應時間改變量最高，其次為低認知要求運動情境，控制情境最低，雖未達統計上顯著但能發現有此趨勢。因此，本研究希望能將高認知要求條件納入在體育課程的運動中，例如：較高認知要求之開放性運動 (Gentile, 1987)，除籃球、羽球與排球等常見體育課程外，也能將卡巴迪 (Kabaddi)、合球 (Korfball) 及健球 (Kin-Ball) 等非傳統課程中的運動加入課程設計中。卡巴迪是類似民間遊戲「老鷹抓小雞」的運動，在臺灣屬於新興運動，甚至對許多人來說是一項陌生的運動，能培養反應、速度、爆發力、耐力及敏捷等能力 (張銘麟 et al., 2011)；合球又稱荷蘭式籃球，由男女共同組成隊伍，對於促進兩性互助合作及相互尊重亦有實質幫助，且規則明定不得有過分的身體接觸 (吳正奇, 2005)，相當適合學校體育課程；健球亦為男女混合之運動，是目前唯一可同時間同場地三隊競賽的運動項目，強調是互相尊重、共融以及團隊合作的體育精神，能培養注意力、反應力、平衡、協調等能力 (Lara-Sánchez et al., 2010)。上述三項運動皆為團體運動，不只有高認知要求參與，能促進抑制控制以外，還能培養團體合作之能力，藉以增進孩童之人際關係。

## 第二節 研究限制與未來建議

本研究存在幾項研究限制。因新冠肺炎疫情嚴峻，導致學校停課時間長達三週，後續班級也都有個別停課的狀況，使實驗過程遭到中斷，其中有二十位受試者在三次實驗介入的間隔時間受到影響，可能也會成為影響研究結果之限制之一。另外，因本研究僅針對抑制控制，無法推論至其他執行功能次成分，且目前針對兒童的研究較少將執行功能的三個核心功能共同探討 (Egger et al., 2018)。基於對抑制控制有正向效果，建議未來研究可納入其他執行功能測驗，更全面探討不同認知要求運動對兒童的執行功能其他次成分之影響。而本研究之研究對象為國小高年級孩童，無法推論至其他年齡層，因此，建議未來研究可針對不同年齡層的兒童進行研究及分析比較，進一步探討不同認知要求運動對各年齡層抑制控制功能之影響。本研究之目的為探討單次性不同認知要求運動對國小孩童抑制控制之影響，未涉及單次性運動後對國小孩童抑制控制影響之延續時間，

因此,建議未來研究可針對單次性運動改善孩童抑制控制之持續時間做深入探究。最後,有鑑於受試環境無法控制干擾因素,建議未來研究若於實際場域進行實驗操作,可同時納入可能會影響的干擾因素,藉以控制潛在變項,亦有機會瞭解可能干擾之外在環境。



## 第陸章 結論

本研究預期不同認知要求運動相較於控制情境能提升國小孩童抑制控制，而高認知要求運動在認知作業需要較高抑制控制情境下產生更大的認知效益。結果發現在不一致情境中，高認知要求運動情境之反應時間改變量顯著優於低認知要求運動情境。因此，本研究認為認知要求高的運動對於國小孩童的認知效益，可能反應在需要較高的抑制控制要求的情境下。而本研究期許將實驗結果應用在未來國小體育課程設計，結果發現無論作業難度，皆為高認知要求運動情境之反應時間改變量最高，其次為低認知要求運動情境，控制情境最低，雖未達統計上顯著但能發現有此趨勢。因此，本研究建議能將高認知要求條件納入在體育課程的運動中，藉此促進孩童執行功能之表現，進而提升孩童行為管理及學業表現。



## 參考文獻

- 王駿濠, 張哲千, 梁衍明, 邱文聲, 洪蘭, 曾志朗, & 阮啟弘. (2012). 運動對孩童認知功能及學業表現的影響: 文獻回顧與展望. *教育科學研究期刊*, 57(2), 65-94.
- 吳正奇. (2005). 國內合球運動發展之我見. *輔仁大學體育學刊*(4), 376-382.
- 張育愷, & 陳豐慈. (2011). 急性有氧健身運動對執行功能影響之探討-以施測時間點與神經心理測驗的視角. *臺灣運動心理學報*(18), 1-16.
- 張銘麟, 廖宏哲, & 聶喬齡. (2011). 陌生的亞運項目-卡巴迪. *大專體育*(114), 5-12.
- 陳豐慈, & 張育愷. (2012). 阻力健身運動對老人認知功能影響之回顧. *臺灣運動心理學報*, 12(2), 37-56.
- 曾竣瑋, 洪巧菱, 趙曉涵, 洪聰敏, & 王鶴森. (2019). 不同急性運動類型對 BDNF 及干擾控制之影響. *體育學報*, 52(3), 307-318.
- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of experimental child psychology*, 105(4), 286-305.
- Allan, N. P., Hume, L. E., Allan, D. M., Farrington, A. L., & Lonigan, C. J. (2014). Relations between inhibitory control and the development of academic skills in preschool and kindergarten: a meta-analysis. *Developmental psychology*, 50(10), 2368.
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of experimental child psychology*, 106(1), 20-29.
- Arent, S. M., & Landers, D. M. (2003). Arousal, anxiety, and performance: A reexamination of the inverted-U hypothesis. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(4), 436-444.
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141.



- Baker, S. T., Gjersoe, N. L., Sibielska-Woch, K., Leslie, A. M., & Hood, B. M. (2011). Inhibitory control interacts with core knowledge in toddlers' manual search for an occluded object. *Developmental Science, 14*(2), 270-279.
- Ballester, R., Huertas, F., Molina, E., & Sanabria, D. (2018). Sport participation and vigilance in children: Influence of different sport expertise. *Journal of Sport and Health Science, 7*(4), 497-504.
- Barenberg, J., Berse, T., & Dutke, S. (2011). Executive functions in learning processes: do they benefit from physical activity? *Educational Research Review, 6*(3), 208-222.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin, 121*(1), 65.
- Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology, and neurochemical pathways: A review. *Brain Plasticity, 2*(2), 127-152.
- Benzing, V., Heinks, T., Eggenberger, N., & Schmidt, M. (2016). Acute cognitively engaging exergame-based physical activity enhances executive functions in adolescents. *PloS one, 11*(12), e0167501.
- 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.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental review, 29*(3), 180-200.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences, 21*(4), 327-336.
- Birnbaum, S., Gobeske, K. T., Auerbach, J., Taylor, J. R., & Arnsten, A. F. (1999). A role for norepinephrine in stress-induced cognitive deficits:  $\alpha$ -1-adrenoceptor mediation in the prefrontal cortex. *Biological psychiatry, 46*(9), 1266-1274.
- Black, J. E., Greenough, W. T., Anderson, B. J., & Isaacs, K. R. (1987). Environment and the

- aging brain. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 41, 111.
- Blair, C., & Diamond, A. (2008). Biological processes in prevention and intervention: The promotion of self-regulation as a means of preventing school failure. *Development and psychopathology*, 20(3), 899-911.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, 78(2), 647-663.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & science in sports & exercise*.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological review*, 108(3), 624.
- Brookman-Byrne, A., Mareschal, D., Tolmie, A. K., & Dumontheil, I. (2018). Inhibitory control and counterintuitive science and maths reasoning in adolescence. *PloS one*, 13(6), e0198973.
- Browne, R. A. V., Costa, E. C., Sales, M. M., Fonteles, A. I., Moraes, J. F. V. N. d., & Barros, J. d. F. (2016). Acute effect of vigorous aerobic exercise on the inhibitory control in adolescents. *Revista Paulista de Pediatria*, 34, 154-161.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, 441(2), 219-223.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental neuropsychology*, 33(3), 205-228.
- Bunge, S. A., Dudukovic, N. M., Thomason, M. E., Vaidya, C. J., & Gabrieli, J. D. (2002). Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: evidence from fMRI. *Neuron*, 33(2), 301-311.
- Cameron, C. E., Brock, L. L., Murrah, W. M., Bell, L. H., Worzalla, S. L., Grissmer, D., & Morrison, F. J. (2012). Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. *Child development*, 83(4), 1229-1244.

- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032-1053.
- Casey, B., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in cognitive sciences*, 9(3), 104-110.
- Castelli, D. M., & Hillman, C. H. (2012). Physical activity, cognition, and school performance: from neurons to neighborhoods. In *Physical Activity Across the Lifespan* (pp. 41-63). Springer.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third-and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(2), 239-252.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Konkel, A., & Hillman, C. H. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain research*, 1358, 172-183.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental neuroscience*, 32(3), 249-256.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2011). A review of the relation of aerobic fitness and physical activity to brain structure and function in children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(6), 975-985.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Kienzler, C., Drollette, E. S., Raine, L. B., Kao, S.-C., Bensken, J., Weisshappel, R., Castelli, D. M., & Hillman, C. H. (2018). Physical activity increases white matter microstructure in children. *Frontiers in neuroscience*, 950.
- 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.

- Chen, A.-G., Yan, J., Yin, H.-C., Pan, C.-Y., & Chang, Y.-K. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychology of Sport and Exercise, 15*(6), 627-636.
- Chueh, T.-Y., Huang, C.-J., Hsieh, S.-S., Chen, K.-F., Chang, Y.-K., & Hung, T.-M. (2017). Sports training enhances visuo-spatial cognition regardless of open-closed typology. *PeerJ, 5*, e3336.
- Clark, C. A., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental psychology, 46*(5), 1176.
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in neurosciences, 30*(9), 464-472.
- Crova, C., Struzzolino, I., Marchetti, R., Masci, I., Vannozzi, G., Forte, R., & Pesce, C. (2014). Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children. *Journal of sports sciences, 32*(3), 201-211.
- Delp, M. D., Armstrong, R., Godfrey, D. A., Laughlin, M. H., Ross, C. D., & Wilkerson, M. K. (2001). Exercise increases blood flow to locomotor, vestibular, cardiorespiratory and visual regions of the brain in miniature swine. *The Journal of Physiology, 533*(3), 849-859.
- Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of, inhibitory control in reaching a. *Annals of the New York Academy of Sciences, 608*(1), 637-676.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child development, 71*(1), 44-56.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology, 64*, 135.
- Diamond, A. (2015). Effects of physical exercise on executive functions: going beyond simply moving to moving with thought. *Annals of sports medicine and research, 2*(1), 1011.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in

children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.

- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, 34-48.
- Doherty, A., & Forés Miravalles, A. (2019). Physical activity and cognition: Inseparable in the classroom. *Frontiers in Education*,
- 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 and science in sports and exercise*, 48(6), 1197.
- Egger, F., Conzelmann, A., & Schmidt, M. (2018). The effect of acute cognitively engaging physical activity breaks on children's executive functions: Too much of a good thing? *Psychology of Sport and Exercise*, 36, 178-186.
- Ellemborg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(2), 122-126.
- Engelhardt, L. E., Harden, K. P., Tucker-Drob, E. M., & Church, J. A. (2019). The neural architecture of executive functions is established by middle childhood. *NeuroImage*, 185, 479-489.
- Erickson, K. I., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., 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 and science in sports and exercise*, 51(6), 1242.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & psychophysics*, 16(1), 143-149.
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C.-L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 728.
- Gallotta, M., 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.
- Gallotta, M. C., Guidetti, L., Franciosi, E., Emerenziani, G. P., Bonavolonta, V., & Baldari, C. (2012). Effects of varying type of exertion on children's attention capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(3), 550-555.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological bulletin*, 134(1), 31.
- Gentile, A. M. (1987). Skill acquisition: Action, movement, and the neuromotor processes. *Movement science: Foundations for physical therapy in rehabilitation*.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Gill, K. L., & Calkins, S. D. (2003). Do aggressive/destructive toddlers lack concern for others? Behavioral and physiological indicators of empathic responding in 2-year-old children. *Development and psychopathology*, 15(1), 55-71.
- Giordano, G., & Alesi, M. (2022). Does Physical Activity Improve Inhibition in Kindergarteners? A Pilot Study. *Perceptual and motor skills*, 00315125221109216.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent III, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., & Toga, A. W. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 101(21), 8174-8179.
- Goleman, D. (1996). *Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ*. Bloomsbury Publishing.
- Gomez-Pinilla, F., Vaynman, S., & Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2278-2287.
- Griffin, É. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, Á. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the

- serum of young adult males. *Physiology & behavior*, 104(5), 934-941.
- Grissmer, D., Grimm, K. J., Aiyer, S. M., Murrah, W. M., & Steele, J. S. (2010). Fine motor skills and early comprehension of the world: two new school readiness indicators. *Developmental psychology*, 46(5), 1008.
- Grissom, J. B. (2005). Physical fitness and academic achievement. *Journal of Exercise Physiology Online*, 8(1).
- Guerrieri, R., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2007). How impulsiveness and variety influence food intake in a sample of healthy women. *Appetite*, 48(1), 119-122.
- Hardy, C. J., & Rejeski, W. J. (1989). Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11(3), 304-317.
- Hart, L. A. (1975). *How the brain works*. Basic Books.
- Herholz, K., Buskies, W., Rist, M., Pawlik, G., Hollmann, W., & Heiss, W. (1987). Regional cerebral blood flow in man at rest and during exercise. *Journal of neurology*, 234(1), 9-13.
- 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.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054.
- Hung, C.-L., Tseng, J.-W., Chao, H.-H., Hung, T.-M., & Wang, H.-S. (2018). Effect of acute exercise mode on serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and task switching performance. *Journal of Clinical Medicine*, 7(10), 301.
- Ishihara, T., Sugawara, S., Matsuda, Y., & Mizuno, M. (2017). The beneficial effects of game-based exercise using age-appropriate tennis lessons on the executive functions of 6–12-year-old children. *Neuroscience letters*, 642, 97-101.
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebbers, C. M. (2014). Cognitive and physiological effects of an acute physical activity intervention in elementary school

- children. *Frontiers in psychology*, 5, 1473.
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebbers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental health and physical activity*, 9, 1-9.
- Janssen, M., Chinapaw, M., Rauh, S., Toussaint, H., Van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2014). A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. *Mental health and physical activity*, 7(3), 129-134.
- Jeon, Y. K., & Ha, C. H. (2015). Expression of brain-derived neurotrophic factor, IGF-1 and cortisol elicited by regular aerobic exercise in adolescents. *Journal of physical therapy science*, 27(3), 737-741.
- Kamijo, K., & Abe, R. (2019). Aftereffects of cognitively demanding acute aerobic exercise on working memory. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(1), 153.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., & Kuroiwa, K. (2004). Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. *European journal of applied physiology*, 92(3), 305-311.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Higashiura, T., & Kuroiwa, K. (2007). The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International journal of psychophysiology*, 65(2), 114-121.
- Khng, K. H., & Lee, K. (2009). Inhibiting interference from prior knowledge: Arithmetic intrusions in algebra word problem solving. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 262-268.
- Koutsandreu, F., Wegner, M., Niemann, C., & Budde, H. (2016). Effects of Motor versus Cardiovascular Exercise Training on Children's Working Memory. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(6), 1144-1152.
- Krock, L. P., & Hartung, G. H. (1992). Influence of post-exercise activity on plasma catecholamines, blood pressure and heart rate in normal subjects. *Clinical Autonomic Research*, 2(2), 89-97.



- Lambrick, D., Stoner, L., Grigg, R., & Faulkner, J. (2016). Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8–10 years. *Psychophysiology*, *53*(9), 1335-1342.
- Lara-Sánchez, A. J., Zagalaz-Sánchez, M. L., Martínez-López, E. J., & Berdejo-Del-Fresno, D. (2010). Non-traditional sports at school. Benefits for physical and motor development. *Citius Altius Fortius*, *29*(4), 47.
- LeFevre, J.-A., Berrigan, L., Vendetti, C., Kamawar, D., Bisanz, J., Skwarchuk, S.-L., & Smith-Chant, B. L. (2013). The role of executive attention in the acquisition of mathematical skills for children in Grades 2 through 4. *Journal of experimental child psychology*, *114*(2), 243-261.
- Liston, C., McEwen, B. S., & Casey, B. (2009). Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, *106*(3), 912-917.
- Lopes, V. P., Vasques, C., Pereira, B., Maia, J. A., & Malina, R. M. (2006). Physical activity patterns during school recess: a study in children 6 to 10 years old.
- Lox, C., Ginis, K. A. M., & Petruzzello, S. J. (2011). 健身運動心理學: 理論與實務的整合. He feng chu ban.
- Lubans, D., Richards, J., Hillman, C., Faulkner, G., Beauchamp, M., Nilsson, M., Kelly, P., Smith, J., Raine, L., & Biddle, S. (2016). Physical activity for cognitive and mental health in youth: a systematic review of mechanisms. *Pediatrics*, *138*(3).
- Ludyga, S., Brand, S., Gerber, M., Weber, P., Brotzmann, M., Habibifar, F., & Pühse, U. (2017). An event-related potential investigation of the acute effects of aerobic and coordinative exercise on inhibitory control in children with ADHD. *Developmental cognitive neuroscience*, *28*, 21-28.
- 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.
- Ma, J. K., Le Mare, L., & Gurd, B. J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9-to 11-year olds. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, *40*(3), 238-244.

- 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 and science in sports and exercise*, 38(12), 2086.
- Marquez, C. M. S., Vanaudenaerde, B., Troosters, T., & Wenderoth, N. (2015). High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise. *Journal of applied physiology*.
- Martins, J., Marques, A., Rodrigues, A., Sarmiento, H., Onofre, M., & Carreiro da Costa, F. (2018). Exploring the perspectives of physically active and inactive adolescents: how does physical education influence their lifestyles? *Sport, Education and Society*, 23(5), 505-519.
- Medicine, A. C. o. S. (2013). *ACSM's Resources for the Personal Trainer*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Mierau, A., Hülsdünker, T., Mierau, J., Hense, A., Hense, J., & Strüder, H. K. (2014). Acute exercise induces cortical inhibition and reduces arousal in response to visual stimulation in young children. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 34, 1-8.
- Miller, H. V., Barnes, J., & Beaver, K. M. (2011). Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *American journal of health behavior*, 35(1), 15-27.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., & Ross, S. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 108(7), 2693-2698.
- Monette, S., Bigras, M., & Guay, M.-C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of experimental child psychology*, 109(2), 158-173.
- Morales-Muñoz, I., Upthegrove, R., Mallikarjun, P. K., Broome, M. R., & Marwaha, S. (2021). Longitudinal associations between cognitive deficits in childhood and psychopathological symptoms in adolescence and young adulthood. *JAMA network open*, 4(4), e214724-e214724.

- Moss, M. C., & Scholey, A. B. (1996). Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults. *Psychopharmacology*, *124*(3), 255-260.
- Nederkoorn, C., Braet, C., Van Eijs, Y., Tanghe, A., & Jansen, A. (2006). Why obese children cannot resist food: the role of impulsivity. *Eating behaviors*, *7*(4), 315-322.
- Netz, Y., & Jacob, T. (1994). Exercise and the psychological state of institutionalized elderly: a review. *Perceptual and motor skills*, *79*(3), 1107-1118.
- Niemann, C., Wegner, M., Voelcker-Rehage, C., Holzweg, M., Arafat, A. M., & Budde, H. (2013). Influence of acute and chronic physical activity on cognitive performance and saliva testosterone in preadolescent school children. *Mental health and physical activity*, *6*(3), 197-204.
- Noten, M. M., Van der Heijden, K. B., Huijbregts, S. C., Van Goozen, S. H., & Swaab, H. (2020). Associations between empathy, inhibitory control, and physical aggression in toddlerhood. *Developmental psychobiology*, *62*(6), 871-881.
- Ogden, C., & Carroll, M. (2010). Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963-1965 through 2007-2008.
- Ogoh, S., & Ainslie, P. N. (2009). Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *Journal of applied physiology*, *107*(5), 1370-1380.
- Opendak, M., & Gould, E. (2015). Adult neurogenesis: a substrate for experience-dependent change. *Trends in cognitive sciences*, *19*(3), 151-161.
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, *84*(4), 429.
- Paschen, L., Lehmann, T., Kehne, M., & Baumeister, J. (2019). Effects of acute physical exercise with low and high cognitive demands on executive functions in children: A systematic review. *Pediatric Exercise Science*, *31*(3), 267-281.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., Sloan, R., Gage, F. H., Brown, T. R., & Small, S. A. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the*

*national Academy of Sciences, 104(13), 5638-5643.*

- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 34(6), 766-786.*
- Petersen, I. T., Hoyniak, C. P., McQuillan, M. E., Bates, J. E., & Staples, A. D. (2016). Measuring the development of inhibitory control: The challenge of heterotypic continuity. *Developmental review, 40, 25-71.*
- Piercy, K. L., Troiano, R. P., Ballard, R. M., Carlson, S. A., Fulton, J. E., Galuska, D. A., George, S. M., & Olson, R. D. (2018). The physical activity guidelines for Americans. *Jama, 320(19), 2020-2028.*
- Poe, G. R., Foote, S., Eschenko, O., Johansen, J. P., Bouret, S., Aston-Jones, G., Harley, C. W., Manahan-Vaughan, D., Weinshenker, D., & Valentino, R. (2020). Locus coeruleus: a new look at the blue spot. *Nature Reviews Neuroscience, 21(11), 644-659.*
- Pontifex, M. B., Raine, L. B., Johnson, C. R., Chaddock, L., Voss, M. W., Cohen, N. J., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *Journal of cognitive neuroscience, 23(6), 1332-1345.*
- Raaijmakers, M. A., 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.*
- Raichle, M. E., Fiez, J. A., Videen, T. O., MacLeod, A.-M. K., Pardo, J. V., Fox, P. T., & Petersen, S. E. (1994). Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning. *Cerebral cortex, 4(1), 8-26.*
- Reyes, S., Peirano, P., Peigneux, P., Lozoff, B., & Algarin, C. (2015). Inhibitory control in otherwise healthy overweight 10-year-old children. *International journal of obesity, 39(8), 1230-1235.*
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science, 306(5695), 443-447.*

- Robbins, T. W., & Arnsten, A. (2009). The neuropsychopharmacology of fronto-executive function: monoaminergic modulation. *Annual review of neuroscience*, 32, 267.
- Roberts, C. K., Freed, B., & McCarthy, W. J. (2010). Low aerobic fitness and obesity are associated with lower standardized test scores in children. *The Journal of pediatrics*, 156(5), 711-718. e711.
- Robertson, R. J., GOSS, F. L., RUTKOWSKI, J., LENZ, B., DIXON, C., TIMMER, J., FRAZEE, K., DUBE, J., & ANDREACCI, J. (2003). Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(2), 333-341.
- Robinson, K. M., & Dubé, A. K. (2013). Children's additive concepts: Promoting understanding and the role of inhibition. *Learning and Individual Differences*, 23, 101-107.
- Romero-López, M., Pichardo, M. C., Justicia-Arráez, A., & Bembibre-Serrano, J. (2021). Reducing Aggression by Developing Emotional and Inhibitory Control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5263.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 102(41), 14931-14936.
- Rusnáková, Š., & Rektor, I. (2012). The neurocognitive networks of the executive functions. *Advances in Clinical Neurophysiology; Croatia: InTech*, 161-170.
- Sallis, J. F. (2010). We do not have to sacrifice children's health to achieve academic goals. *The Journal of pediatrics*, 156(5), 696-697.
- Seeyave, D. M., Coleman, S., Appugliese, D., Corwyn, R. F., Bradley, R. H., Davidson, N. S., Kaciroti, N., & Lumeng, J. C. (2009). Ability to delay gratification at age 4 years and risk of overweight at age 11 years. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 163(4), 303-308.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly journal of experimental psychology*, 59(4), 745-759.

- Stein, M., Auerswald, M., & Ebersbach, M. (2017). Relationships between motor and executive functions and the effect of an acute coordinative intervention on executive functions in kindergartners. *Frontiers in psychology, 8*, 859.
- Svebak, S., & Murgatroyd, S. (1985). Metamotivational dominance: a multimethod validation of reversal theory constructs. *Journal of personality and social psychology, 48*(1), 107.
- Swanson, H. L. (2006). Cognitive processes that underlie mathematical precociousness in young children. *Journal of experimental child psychology, 93*(3), 239-264.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science, 12*(2), 257-285.
- Thamotharan, S., Lange, K., Zale, E. L., Huffhines, L., & Fields, S. (2013). The role of impulsivity in pediatric obesity and weight status: a meta-analytic review. *Clinical psychology review, 33*(2), 253-262.
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science, 4*(1), 47-55.
- Travis, F. (1998). Cortical and cognitive development in 4th, 8th and 12th grade students: The contribution of speed of processing and executive functioning to cognitive development. *Biological psychology, 48*(1), 37-56.
- Utter, A. C., Robertson, R. J., Nieman, D. C., & Kang, J. (2002). Children's OMNI Scale of Perceived Exertion: walking/running evaluation. *Medicine and science in sports and exercise, 34*(1), 139-144.
- Van den Berg, V., Saliassi, E., De Groot, R. H., Jolles, J., Chinapaw, M. J., & Singh, A. S. (2016). Physical activity in the school setting: Cognitive performance is not affected by three different types of acute exercise. *Frontiers in psychology, 7*, 723.
- Van Praag, H., Shubert, T., Zhao, C., & Gage, F. H. (2005). Exercise enhances learning and hippocampal neurogenesis in aged mice. *Journal of Neuroscience, 25*(38), 8680-8685.

- Vazou, S., & Smiley-Oyen, A. (2014). Moving and academic learning are not antagonists: acute effects on executive function and enjoyment. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 36*(5), 474-485.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology: General, 137*(4), 649.
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British journal of sports medicine, 48*(12), 973-979.
- Vivar, C., Potter, M. C., & Praag, H. v. (2012). All about running: synaptic plasticity, growth factors and adult hippocampal neurogenesis. *Neurogenesis and neural plasticity, 189-210*.
- Vosniadou, S., Pnevmatikos, D., & Makris, N. (2018). The role of executive function in the construction and employment of scientific and mathematical concepts that require conceptual change learning. *Neuroeducation Journal, 5*(2), 58-68.
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Kim, J. S., Alves, H., Szabo, A., Phillips, S. M., Wójcicki, T. R., & Mailey, E. L. (2013). Neurobiological markers of exercise-related brain plasticity in older adults. *Brain, behavior, and immunity, 28*, 90-99.
- Wang, C.-C., Chen, F.-T., Chi, L., & Chang, Y.-K. (2012). 急性健身運動時對威斯康辛卡片分類測驗之影響. *大專體育學刊, 14*(3), 349-358.
- Wang, C.-H., Chang, C.-C., Liang, Y.-M., Shih, C.-M., Chiu, W.-S., Tseng, P., Hung, D. L., Tzeng, O. J., Muggleton, N. G., & Juan, C.-H. (2013). Open vs. closed skill sports and the modulation of inhibitory control. *PloS one, 8*(2), e55773.
- Wilkinson, H. R., Smid, C., Morris, S., Farran, E. K., Dumontheil, I., Mayer, S., Tolmie, A., Bell, D., Porayska-Pomsta, K., & Holmes, W. (2020). Domain-specific inhibitory control training to improve children's learning of counterintuitive concepts in mathematics and science. *Journal of Cognitive Enhancement, 4*(3), 296-314.
- Willis, J. (2009). What you should know about your brain. *Educational Leadership, 67*(4), 1-3.

- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Krueger, K., Fromme, A., Korsukewitz, C., & Floel, A. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of learning and memory*, 87(4), 597-609.
- World Health Organization, t. (2010). *Global recommendations on physical activity for health*. World Health Organization.
- Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 225-244.
- Zach, S., & Shalom, E. (2016). The influence of acute physical activity on working memory. *Perceptual and motor skills*, 122(2), 365-374.
- Zaitchik, D., Iqbal, Y., & Carey, S. (2014). The effect of executive function on biological reasoning in young children: An individual differences study. *Child development*, 85(1), 160-175.
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). The balance beam in the balance: Reflections on rules, relational complexity, and developmental processes. *Journal of experimental child psychology*, 81(4), 458-465.



附錄

<p>請依據清醒程度來回答 1 代表想睡覺；6 代表很嗨</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">feeling arousal state</th> </tr> <tr> <th>Value</th> <th>Arousal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+6</td> <td>高覺醒</td> </tr> <tr> <td>+5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+1</td> <td>低覺醒</td> </tr> </tbody> </table>	feeling arousal state		Value	Arousal	+6	高覺醒	+5		+4		+3		+2		+1	低覺醒	<p>請依據心情回答</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">feeling state</th> </tr> <tr> <th>Value</th> <th>feeling</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+5</td> <td>非常好</td> </tr> <tr> <td>+4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+3</td> <td>好</td> </tr> <tr> <td>+2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>+1</td> <td>一點點好</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>還好</td> </tr> <tr> <td>-1</td> <td>一點點好</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>不好</td> </tr> <tr> <td>-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-5</td> <td>非常不好</td> </tr> </tbody> </table>	feeling state		Value	feeling	+5	非常好	+4		+3	好	+2		+1	一點點好	0	還好	-1	一點點好	-2		-3	不好	-4		-5	非常不好
feeling arousal state																																											
Value	Arousal																																										
+6	高覺醒																																										
+5																																											
+4																																											
+3																																											
+2																																											
+1	低覺醒																																										
feeling state																																											
Value	feeling																																										
+5	非常好																																										
+4																																											
+3	好																																										
+2																																											
+1	一點點好																																										
0	還好																																										
-1	一點點好																																										
-2																																											
-3	不好																																										
-4																																											
-5	非常不好																																										
<p>附錄 - 1 feeling arousal state</p>	<p>附錄 - 2 feeling state</p>																																										
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RPE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>極度輕鬆</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>非常輕鬆</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>輕鬆</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>有點輕鬆</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>適度的輕鬆</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>適度的困難</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>有點困難</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>困難</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>非常困難</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>極度困難</td> </tr> </tbody> </table>	RPE		1	極度輕鬆	2	非常輕鬆	3	輕鬆	4	有點輕鬆	5	適度的輕鬆	6	適度的困難	7	有點困難	8	困難	9	非常困難	10	極度困難																					
RPE																																											
1	極度輕鬆																																										
2	非常輕鬆																																										
3	輕鬆																																										
4	有點輕鬆																																										
5	適度的輕鬆																																										
6	適度的困難																																										
7	有點困難																																										
8	困難																																										
9	非常困難																																										
10	極度困難																																										
<p>附錄 - 3 OMNI 感知勞累量表文字敘述</p>	<p>附錄 - 4 OMNI 感知勞累量表</p>																																										

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

附錄 - 5 認知負荷量表

