國立臺灣師範大學運動與休閒學院體育學系

碩士論文

Department of Physical Education

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

以事件關聯電位探討多面向健身運動對執行功能之影響

The Effects of Multi-modal Exercises on Executive Functions: An ERP Study

蕭方慈

Siao, Fang-Cih

指導教授：張育愷 博士

Advisor：Chang, Yu-Kai, Ph.D.

中華民國 110 年 7 月

July 2021

謝辭

從國立臺灣體育運動大學畢業之後，我選擇到國立臺灣師範大學攻讀研究所，到臺北就讀需要獨自面對完全陌生的環境、陌生的人事物，對我來說是新的挑戰，雖對未來有不安、擔憂與害怕，但必須嘗試著突破自己，因為這是走出舒適圈關鍵的第一步。從事學術研究有別於過去所學，許多東西幾乎是從新開始，好在曾經是運動員有過類似的經驗，學習與訓練都需要經過長時間的磨練、忍受挫折，勇於面對自身缺點並改進之後才會看到進步，這個過程雖然辛苦，但在接下來兩年的時間裡，透過教授的引導、獨立的尋找與解決問題以及與研究夥伴們討論和交流中逐漸成長。

首先，感謝育愷老師讓我進入身體活動認知神經科學實驗室，能跟著這位獲得無數榮譽、屢屢創下佳績的大師學習我覺得很榮幸，兩年的時間讓我從老師身上獲得不少東西，所以在這邊再次感謝育愷老師的指導。除此之外，還要感謝實驗室的夥伴們，不管是在學術上的協助、實驗上的相互支援或是生活上的幫助，使我在研究所的學習過程增添了許多色彩與回憶，謝謝實驗室這個大家庭給予的溫暖，很開心能成為實驗室的一分子。

在碩士論文撰寫的過程，還需要感謝兩位同樣是運動心理學界的大師洪聰敏教授與黃崇儒教授,在研究計畫與學位論文口試中給予的寶貴建議,使我的論文內容更臻完整,並且與我討論如何將研究結果實際應用與推廣於社會大眾知悉，十分感謝兩位教授的支持與幫助。

另外，還要感謝睿君學姊當初在研究所甄審時，在準備研究所甄試備審資料與撰寫研究計劃上給予我諸多的建議，又將自己面試的經驗與訣竅傳授給我，使我能順利考上研究所，並在就讀期間鼓勵我持續努力，非常感謝妳。除此之外，還要感謝我的家人，資助我在北部讀書的一切費用，在我最挫折的時候一通電話回家，聊完之後感覺又有滿滿的動力繼續往前。雖然這兩年家中也發生了許多事情，但唯一不變的是你們對我的支持與鼓勵，讓家成為了我的避風港，謝謝你們。最後，感謝曾經幫助過我的貴人們，讓我得以順利完成研究所學業，成為更好的自己。

蕭方慈 謹致

2021 年 7 月

以事件關聯電位探討多面向健身運動對執行功能之影響

2021 年 7 月

研究生：蕭方慈
指導教授：張育愷

摘要

研究顯示健身運動與執行功能之間有正向關聯，而近年發現不同型態的健身運動與健康因子相結合亦對執行功能有正面的影響。此外，在系統性回顧與統合分析中發現相較於單一的健身運動，多面向健身運動對執行功能可能有較佳的效果，然而很少有研究同時探討不同成分的多面向健身運動對執行功能與事件關聯電位之影響。為此，本研究以事件關聯電位角度探討多面向健身運動對執行功能之影響，並同時量測身體適能。本研究採用準實驗設計之方法，總共招募 48 名健康大學生並分配到多面向健身運動組（有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動以及體適能知能）與太極拳組（伸展、阻力健身運動與社交互動），進行每周 100 分鐘、為期 12 週的介入。每位參與者在介入前與介入後皆以叫色測驗、次最大腳踏車測驗、屈膝仰臥起坐與坐姿體前彎等測驗，評估其執行功能、心肺適能、肌肉適能以及柔軟度，並同時記錄腦波資料。以介入前的數據作為共同變量進行控制後，結果發現與太極拳組相比，多面向健身運動組在叫色測驗的所有情境（中性、一致與不一致）之反應時間顯著減少，而在正確率上兩組沒有顯著差異；在事件關聯電位方面，多面向健身運動組與太極拳組之間在 P3 振幅沒有顯著差異；此外，在心肺適能方面兩組雖無顯著差異，但多面向健身運動組的肌肉適能與柔軟度皆顯著優於太極拳組。這些結果表明，兩組之間的心肺適能與 P3 振幅雖沒有顯著差異，但多面向健身運動可顯著提升行為表現，意即相較於太極拳組，為期 12 週的多面向健身運動可以有較佳之肌肉適能、柔軟度與執行功能。因此，本研究結果有利於提供增進年輕族群之身體適能與執行功能方面的運動處方，並鼓勵年輕族群規律的從事多面向健身運動，以提升不同面向的身體適能與認知表現。

關鍵詞：多面向健身運動、執行功能、社交互動、抑制

The Effects of Multi-modal Exercises on Executive Functions: An ERP Study

July, 2021

Author: SIAO, Fang-Cih
Advisor: CHANG, Yu-Kai

Abstract

Exercise has been linked to executive functions, while exercise combined with more than one component has a positive effect on executive functions. Recent studies have shown that multi-modal exercises (MME) have better effects on executive functions compared to any single type of exercise. However, few studies explored the effects of MME with different components on executive functions and event-related potential (ERP) simultaneously. Therefore, the aim of the current study was to compare the effects of two MMEs with different components on executive functions and ERP. In addition, this study was assessed by physical fitness. Applying a quasi-experimental design, forty-eight university students were recruited and assigned into experimental MME group (aerobic exercise, flexibility training, resistance exercise, social interaction, and fitness knowledge) or tai chi group (stretching, resistance exercise, and social interaction). The intervention included one session per week and lasted for 12 weeks. All of the participants have completed the physical fitness test including the YMCA submaximal ergometer test, crunch, and the sit and reach test. Subsequently finished the Stroop test and the P3 component of ERPs were measured prior to and following the intervention. Adjusted pre-test scores as a covariate, it was found that the physical fitness of the MME group including muscular fitness, flexibility in post-test were better than the tai chi group. The reaction times in all conditions (eg. Neu., Cong., and Incong.) of the Stroop test were shorter than the tai chi group. These results suggested that the 12-week MME can enhance executive functions, muscular fitness, and flexibility compared with the tai chi group. We have found the beneficial effects of MME on both basic information processing and inhibition. Notably, MME may be associated with more positive effects and provide the foundation for establishing exercise prescription regarding executive functions for the young adult population.

Keywords: multi-modal exercises, executive functions, social interaction, inhibition

目　次

表　次

圖　次

第壹章　緒論

本研究旨在以事件關聯電位探討多面向健身運動對執行功能之影響。本章內容包含：第一節為「研究背景」；第二節為「研究目的」；第三節為「研究假設」；第四節為「名詞解釋與操作型定義」。

第一節　研究背景

近年來，健身運動 (exercise)、認知功能 (cognitive functions) 與大腦健康 (brain health) 之間的關聯，已成為運動科學界主要探討的議題與趨勢之一（張育愷、洪巧菱，2010）。過去研究發現大腦區域結構的變化與特定認知功能表現有關，如大腦前額葉皮層的體積減少會導致認知功能下降 (Cardenas et al., 2011)。更為重要的是，相關研究顯示執行功能是最初開始下降的認知功能之一，在 20 歲過後會隨著年齡增加而呈現逐漸下降的趨勢 (Park et al., 2002)。因此，如何預防成年初期執行功能下降，為目前學界主要探究的議題之一。

認知功能為訊息處理過程的統稱，其涵蓋處理速度 (processing speed)、注意力 (attention)、記憶 (memory)、及執行功能 (executive functions) 等次成分 (Herrmann, Yoder, Gruneberg, & Payne, 2006; Nouchi et al., 2013)。認知功能除了是評估心理健康的重要指標，更被視為健康生活品質之重要條件之一 (Lox, Ginis, & Petruzzello, 2016)，其中在諸多的次成分之中執行功能為主要討論的面向。執行功能涉及前額葉皮層腦區，為由上而下的高階認知過程，係指透過組織和控制不同類型但相互重疊的訊息，來實現目標行為，並將其定義為個體完成既定目標並專注於當前任務的能力 (Funahashi, 2001)。執行功能囊括三種核心能力，分別為抑制 (inhibition)、工作記憶 (working memory)、認知彈性 (cognitive flexibility)。此外，該些核心能力對於個體的工作、基本日常生活的自主性有非常重要的影響力 (Lambiase, Gabriel, Kuller, & Matthews, 2014)。

事實上，過去研究指出規律的從事健身運動可增進執行功能（闕廷宇、謝漱石、黃崇儒、洪聰敏，2016；陳豐慈、張育愷、齊璘，2018），健身運動被視為是提升或改善

執行功能的手段，且規律從事健身運動與較好的執行功能之間有顯著的正向關聯性 (Falck, Davis, Best, Crockett, & Liu-Ambrose, 2019; Verburgh, Königs, Scherder, & Oosterlaan, 2014)。舉例來說，Stern 等人 (2019) 探討有氧健身運動對執行功能的效益，研究共招募 132 名參與者，並將其隨機分為有氧健身運動組和伸展對照組，結果發現有氧健身運動組的執行功能顯著優於伸展對照組，而伸展對照組則無任何變化。另外一項研究則是探討長期性的阻力健身運動與執行功能之間的關聯性，Fortes 等人 (2018) 比較不同組數的阻力健身運動對執行功能的影響，其招募 27 名年齡 18-30 歲的參與者，分為 1 組、3 組和 5 組三種情境，共 40 周的介入，結果發現在進行 3 組和 5 組情境下執行功能表現顯著優於進行 1 組。上述結果顯示出規律地從事有氧健身運動或阻力健身運動可能是改善或增進執行功能的有效方法。

除上述單一健身運動型態之外，不同型態的健身運動相結合對執行功能亦有正面的影響，並於近年開始受到更多的關注。該種新型態的健身運動形式稱為多面向健身運動 (multi-modal exercise, MME)，其包含兩種以上的健身運動型態或健身運動結合健康因子（社交互動或體適能知能）等形式（蕭方慈等人，2021; Chang, Nien, Chen, & Yan, 2014; Lauenroth, Ioannidis, & Teichmann, 2016）。多面向健身運動對於健康之效益可在多個面向呈現，包括執行功能、身體適能以及生活品質 (Bouaziz et al., 2016)。值得注意的是，相較於單一型態健身運動，多面向健身運動對執行功能的效益可能較大 (Ludyga, Gerber, Pühse, Looser, & Kamijo, 2020; Sáez de Asteasu, Martínez-Velilla, Zambom-Ferraresi, Casas-Herrero, & Izquierdo, 2017)。

此外，近期統合分析顯示健身運動與健康因子結合之多面向健身運動形式對執行功能亦有正面效益 (Northey, Cherbuin, Pumpa, Smee, & Rattray, 2018)。健康因子係指對個體的執行功能有益之行為，如社交互動可增進大腦對於人際關係處理的能力，使個體能靈活調節情緒與抑制衝動的行為 (Nelson, Leibenluft, McClure, & Pine, 2005)。Kuiper 等人 (2016) 彙整過去健身運動結合社交互動對於執行功能影響之相關文獻，經該研究統整後得到之結果為較高的社交互動頻率與更好的執行功能有關，而缺乏社交互動則可能導致執行功能下降，顯示社交互動之健康因子可能對執行功能有保護作用。另外，實證

性研究 Mortimer 等人 (2012) 特別針對健身運動、社交互動和執行功能之間的關係進行探討，結果發現多面向健身運動組與社交互動組的執行功能皆有改善，而多面向健身運動組的執行功能改善程度較大，該研究結果再次驗證多面向健身運動與執行功能之間呈現正相關，並且進一步支持了健身運動結合社交互動的多面向健身運動形式對執行功能可能具有額外的效益。

除社交互動外，Kramer 與 Erickson (2007) 指出健康因子可能正向地影響執行功能，例如：個人教育程度、參與智能活動或學習新知等。根據此理論基礎，本研究的多面向健身運動將加入體適能知能面向（學習新知）來探討其對執行功能之影響。體適能知能 (fitness knowledge) 主要是在多面向健身運動介入中講授體適能、認知功能與大腦健康相關知識與重要性，讓參與者在介入的過程中學習新知。過去研究顯示，當在學習新知時能增加認知儲備 (cognitive reserve)，而透過增加認知儲備可對執行功能與大腦健康產生保護作用 (Roldán-Tapia, Cánovas, León, & García-Garcia, 2017)。這些研究顯示多面向健身運動、執行功能與大腦健康之間都存在正向的關聯性 (Boa Sorte Silva, Gill, & Petrella, 2020; Ludyga et al., 2020)。

然而在探討多面向健身運動對執行功能影響的相關研究後，多數研究在量測執行功能作業的使用上多聚焦於抑制功能。抑制功能為個體能專注於當下進行中的事務並抑制其他無關訊息的能力，其與選擇性的注意力有其關聯性，又被稱為注意力控制或注意力抑制 (Diamond, 2013)。抑制功能受背外側前額葉皮層調節，屬於由上而下的訊息處理過程，該腦區在需要忽略無關刺激時會被活化，能幫助個體不受干擾進而增進抑制功能表現 (Banich, 2009; Banich et al., 2000)。過去研究發現擁有較佳的抑制功能對於學習與健康方面都有益處，舉例來說，McClellan 等人 (2013) 的研究顯示抑制功能被認為是學習的必要條件之一，能使學生避免沉迷於遊戲或克制玩樂的慾望，且使其能更專注在學習上。Dohle 等人 (2018) 之研究發現健康的飲食習慣與較佳的抑制功能呈正相關，可幫助個體控制想要攝取不健康食物的衝動，如高熱量、高糖份以及高油脂的食物。此外，還可以降低因負面情緒所產生的不良飲食習慣，如暴飲暴食或厭食症等。上述研究結果說明，抑制功能不僅在生活中多種面向上扮演著非常重要的角色，還能增進個體因應環境

需求的功能表現與組織日常活動的能力 (Banich, 2009; Ligeza, Maciejczyk, Kałamała, Szygula, & Wyczesany, 2018)。過去研究已經發現健身運動與抑制功能之間有著正向的關聯性，近期的研究顯示多面向健身運動亦對於抑制功能有正面的影響。

過去在多面向健身運動與抑制功能相關研究，Forte 等人 (2013) 以多面向健身運動與單一型態的健身運動進行比較，招募 42 名參與者並隨機分為多面向健身運動組與對照組，進行為期 12 周的介入。多面向健身運動組以肌肉協調、平衡、敏捷訓練等作為介入內容，對照組則以漸進式阻力健身運動作為介入內容。結果發現，在 12 周的介入後多面向健身運動組與對照組的抑制功能表現皆顯著改善。此外，中介分析的結果顯示多面向健身運動似乎能直接對抑制功能產生正面效益，而阻力健身運動則是透過增加參與者的肌肉力量，進而提升抑制功能。另外一項研究，Nouchi 等人 (2014) 以有氧健身運動、阻力健身運動與伸展訓練結合的多面向健身運動介入形式也發現其對於抑制功能可產生正面的影響。與上述之研究發現類似，Vedovelli 等人 (2017) 以多面向健身運動與無介入的控制組對於抑制功能的效果進行探討，將參與者隨機分為多面向健身運動組及控制組，進行了為期 12 週的介入。結果發現，多面向健身運動組抑制功能表現顯著優於控制組。上述這些研究結果都支持了多面向健身運動介入與抑制功能的增進有關，顯示多面向健身運動對於抑制功能有正面的影響。

過去回顧性研究顯示太極拳包含有氧健身運動、阻力健身運動、協調性動作以及社交互動等成分，能增進大腦結構且有益於大腦功能 (Chang, Nien, Chen, & Yen, 2014)，亦屬於多面向健身運動之一。Adcock 等人 (2019) 之研究即探討太極拳對抑制功能之影響，研究招募 31 名參與者，隨機分至太極拳組與控制組（健康教育），進行每周 60 分鐘／兩次、為期 24 周的介入，並以叫色測驗（維多利亞版本）量測抑制功能指標。結果顯示太極拳組在抑制功能上顯著優於控制組。另外，Yang 等人 (2019) 之研究使用旁側作業來量測太極拳對於抑制功能的效益，以每周 45 分鐘／三次，進行為期 8 周的介入。研究將參與者隨機分成太極拳組與控制組（維持日常生活習慣）。結果顯示與控制組相比，太極拳組後測的抑制功能表現更佳。此外，在旁測作業的不一致情境中與控制組相比太極拳組的反應時間顯著較快。這些研究結果表示可能因為太極拳所包含的健身

運動特性（有氧健身運動、肌肉力量和社交互動等），從而促進了抑制功能。

與上述之研究結果不同，Coubard 等人 (2011) 招募 110 名參與者，分為以多面向健身運動（太極拳）進行介入的太極拳組與以舞蹈進行介入的對照組。兩組皆進行每周 60 分鐘／一次，總共 5 個月的介入。研究發現太極拳組與對照組之間在抑制功能上沒有顯著差異。同樣 Chang 等人 (2011) 的研究以組內設計的方式進行每周 40 分鐘／兩次，為期 15 周的多面向健身運動（太極拳）介入。結果發現相較於前測，後測的抑制功能表現沒有達到統計水準上的顯著差異。上述研究結果都發現多面向健身運動可增進抑制功能，僅有少數的研究結果不一致，後續可探究結果不一致的可能原因。

多面向健身運動除了對抑制功能有效益，亦能同時增進身體適能。過去研究顯示較低的身體適能與認知相關疾病風險增加、或執行功能下降有其相關性 (Kueper, Speechley, Lingum, & Montero-Odasso, 2017)。Albinet 等人 (2016) 之研究即探討多面向健身運動對抑制功能與身體適能的影響，以叫色測驗作為量測抑制功能的指標。在介入 21 周後，多面向健身運動組（有氧健身運動與阻力健身運動）叫色測驗的干擾分數顯著降低。此外，僅多面向健身運動組的心肺適能 (VO_2 max) 顯著提升。顯示多面向健身運動、抑制功能與身體適能之間可能有其關連性。Park 等人 (2019) 之研究將三種健身運動型態（有氧健身運動與伸展訓練）再加入認知訓練的組合形式，探討其對於抑制功能以及身體適能的影響，以每周 110 分鐘／一次的多面向健身運動進行介入，為期 6 個月。結果發現，多面向健身運動組在抑制功能與身體適能上都顯著優於控制組。表示多面向健身運動對於行為表現有正面的效益，這些效益可在抑制功能與身體適能等面向上呈現。

多面向健身運動對執行功能的影響，除了探討行為表現之外，大腦健康亦是判斷執行功能的重要指標之一，據此探討大腦功能逐漸受到學界關注 (Chen et al., 2020)。以探討大腦功能而言，事件關聯電位 (event-related potential, ERP) 主要透過不同刺激或事件引起之腦波電位變化來檢測大腦活動，為腦電圖 (electroencephalogram, EEG) 的相關技術，具非侵入性與高時間解析度之特點。事件關聯電位最常被探討的指標為 P3 成分，是刺激出現後 300-800 毫秒 (ms) 間的最大正向波，為評估注意力的指標，能顯示出大腦注意力資源的分配程度 (Kao et al., 2020)，通常會配合行為表現來探討健身運動對執

行功能之影響，以檢測大腦對特定訊息的處理過程（王駿濠、蔡佳良， 2011）。

過去研究顯示多面向健身運動與事件關聯電位之間可能有正向關聯，Hsieh 等人 (2017) 以多面向健身運動介入對執行功能與事件關聯電位之益處進行討論，隨機分為多面向健身運動組及控制組，多面向健身運動組以有氧健身運動、阻力健身運動、肌耐力訓練、柔軟度訓練和動作技能訓練，進行了為期 8 週的多面向健身運動介入，控制組則是請參與者保持原生活作息。研究結果發現，與控制組相比多面向健身運動組的 P3 振幅顯著增加。另外，Ludyga 等人 (2018) 針對多面向健身運動運動對 P3 指標的影響進行探究，同樣進行為期 8 周的健身運動介入。該研究分為多面向健身運動組（有氧健身運動與協調訓練）與控制組（保持原生活習慣），研究結果發現，多面向健身運動組在認知測驗的一致情境與不一致情境，P3 振幅皆顯著增加。顯示多面向健身運動與 P3 振幅之間可能有正向關聯。

過去研究顯示多面向健身運動、抑制功能、身體適能與 P3 振幅之間可能有其關聯性，以多面向健身運動進行介入之組別通常有較佳的行為表現（抑制功能、身體適能表現）與大腦功能（P3 振幅）(Albinet et al., 2016; Forte et al., 2013; Hsieh et al., 2017; Ludyga et al., 2018; Vedovelli et al., 2017)。然該些研究研究多僅聚焦在兩種以上之多面向健身運動或健身運動結合健康因子等形式，而本研究將整合該兩種多面向健身運動型態，以兩種以上健身運動結合健康因子之型態，即以有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能進行介入。除此之外，研究多與單一型態健身運動或是無介入進行比較，對於較佳的多面向健身運動介入形式之探究有所限制，本研究將與同樣為多面向健身運動的太極拳（伸展、阻力健身運動與社交互動）進行比較，探討不同成分的多面向健身運動介入，何種形式對行為表現與大腦功能可以有較佳的效果，然過去太極拳對抑制功能的影響上正反意見皆有，從中比較同樣屬於多面向健身運動為何會產生不同結果，並佐證本研究設計之多面向健身運動為何能有較佳效益之原因。值得注意的是，多面向健身運動介入亦可增進 P3 振幅 (Hsieh et al., 2017; Ludyga et al., 2018)，然經過探索，多面向健身運動介入在事件關聯電位上的發現仍較少。根據此，本研究將以事件關聯電位的角度比較兩種包含不同成分的多面向健身運動對行為表現與大腦功能之影響，

並使用有氧健身運動、柔軟度訓練與阻力健身運動結合社交互動與體適能知能（多面向健身運動）以及伸展、阻力健身運動結合社交互動（太極拳）之型態進行介入。

本研究目的為比較不同成分的多面向健身運動介入後對身體適能指標、抑制功能相關認知測驗指標與事件關聯電位之影響。本研究假設，在不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組的身體適能指標（心肺適能、肌肉適能與柔軟度）較佳、抑制功能表現（反應時間較短、正確率較高）較佳以及 P3 振幅較大。

第二節　研究目的

本研究目的即是要比較不同成分的多面向健身運動後對身體適能指標、抑制功能相關認知測驗指標與事件關聯電位之影響：

一、比較不同成分的多面向健身運動對身體適能指標（心肺適能、肌肉適能與柔軟度）的影響。

二、比較不同成分的多面向健身運動對抑制功能表現（反應時間與正確率）的影響。

三、比較不同成分的多面向健身運動對事件關聯電位 P3 成分的影響。

第三節　研究假設

一、身體適能指標

在不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組的心肺適能、肌肉適能與柔軟度較佳。

二、抑制功能表現

在不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組的抑制功能表現之反應時間較短、正確率較高。

三、事件關聯電位之 P3 振幅

在不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組的 P3 振幅較大。

第四節　操作性名詞定義解釋

一、執行功能 (executive functions)

執行功能為由上而下的高階認知過程，係指透過組織和控制不同類型但相互重疊的訊息，來實現目標行為，並將其定義為個體完成既定目標並專注於當前任務的能力，包含抑制、工作記憶、認知彈性等。

二、多面向健身運動 (multi-modal exercise, MME)

多面向健身運動係指包含兩種以上的健身運動型態或健身運動結合健康因子（社交互動或體適能知能）等形式。舉例來說，有氧健身運動結合阻力健身運動，即是屬於兩種以上的健身運動型態；阻力健身運動、認知訓練結合營養補充則是健身運動結合健康因子的形式，亦屬於多面向健身運動之一，像是社交互動、體適能知能、認知訓練、飲食或營養補充等，過去研究發現其對執行功能有益之因素皆可視為健康因子。而本研究中所指的多面向健身運動組係包含有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能。

三、抑制功能 (inhibition)

抑制功能為個體能專注於當下進行中的事務並抑制其他無關訊息的能力，受背外側前額葉皮層調節，該腦區在需要忽略無關刺激時會被活化，能幫助個體不受干擾進而增進抑制功能表現。

四、事件關聯電位 (event-related potential, ERP)

事件關聯電位主要透過不同刺激或事件引起之腦波電位變化來檢測大腦活動，為腦電圖的相關技術，具非侵入性與高時間解析度之特點。事件關聯電位之假定為每次刺激都會產生相同的成分並且可能會在相同的時間點誘發。本研究主要探討 P3 成分，其為參與者對認知作業刺激之反應所誘發的腦波晚期成分，又可稱為刺激鎖定成分。

五、P3 振幅 (P3 amplitude)

P3 振幅定義為刺激出現後 300-800 毫秒 (ms) 之間出現的最大正向波，為評估注意力的指標，能顯示出大腦注意力資源的分配程度。

六、心肺適能 (cardiorespiratory fitness)

係指個體之心臟與肺臟將空氣中的氧氣，利用血液輸送至組織、細胞或是肌肉加以使用之能力。因此，心肺適能亦可以說是個體的有氧能力指標。

七、肌肉適能 (muscle fitness)

其主要可分為肌肉力量（肌力）以及肌耐力等兩大能力，該兩種能力都是以身體的肌肉為主，因此又被合稱為肌肉適能。肌力係指肌肉在一次收縮時所能產生的最大力量，或是在對抗某種阻力時所發出之力量。而肌耐力係指肌肉可以持續用力的時間或反覆次數。

八、柔軟度 (flexibility)

柔軟度是人體各關節所能伸展的最大活動範圍，或個體在肌肉、肌腱與韌帶等組織可最大限度伸展的能力。

九、體適能知能 (fitness knowledge)

體適能知能主要是在多面向健身運動介入中講授體適能、認知功能與大腦健康相關知識與重要性。

第貳章　文獻探討

本章節共分六節：第一節為「健身運動對執行功能之影響」；第二節為「多面向健身運動對執行功能與身體適能之影響」；第三節為「健身運動與社交互動對執行功能之影響」；第四節為「體適能知能對執行功能之影響」；第五節為「多面向健身運動對事件關聯電位之影響」；第六節為「文獻總結」。

第一節　健身運動對執行功能之影響

過去研究在健身運動與執行功能之間的相關議題已經做了諸多的探討，不僅在橫斷式研究發現正面效益 (Chang et al., 2017)，更在縱貫式研究發現兩者之間有正向關聯性 (Chen et al., 2020; Dai, Chang, Huang, & Hung, 2013)。執行功能為由上而下高階的認知功能，主要依賴前額葉皮層，其可幫助個體完成既定目標並專注於當前任務 (Funahashi, 2001)。執行功能有三種核心能力，分別為抑制、工作記憶、認知彈性。抑制功能可在訊息處理的過程中幫助個體排除與當前任務無關的干擾或是控制其行為表現和情緒等 (Anderson & Green, 2001; Diamond, 2013)，如在吵雜的環境之中閱讀書籍，需要抑制外在環境中聲音的干擾才能專心的閱讀。工作記憶為將接收到訊息儲存於大腦並進行編碼的能力 (Smith & Jonides, 1999)，其與抑制功能有著密不可分的關係，如將課堂中老師口頭講解的重點記錄下來，並且重新彙整成自己容易讀懂的課堂筆記。而認知彈性則是以抑制功能與工作記憶為基礎，其能針對事件或環境需求進行思維的轉換 (Diamond, 2013)，如在每日騎車通勤的路線上突然遇到前方道路施工導致路段暫時封閉，這時就需要使用到認知彈性來幫助個體進行通勤路線的轉換，尋找替代的方案或是新的通勤路線。除上述的核心執行功能之外，還有推理 (reasoning)、問題解決 (problem solving) 與計畫 (planning) 等高階的執行功能 (Collins & Koechlin, 2012)，它們可以幫助人們日常工作順利進行與維持生活品質。

先前的研究顯示，不同型態的健身運動可以通過不同的途徑來促進執行功能。舉例來說，Stern 等人 (2019) 以隨機對照試驗探討有氧健身運動對於年輕人與中老年人的執

行功能產生的效果。該研究從社區中招募 132 名參與者，將其隨機分為實驗組（以 55-75%最大心跳率漸進式的有氧健身運動介入）和對照組（伸展健身運動介入），而實驗組在健身運動介入課程中全程配戴心率帶，監測參與者的心跳變化。在介入方面進行每周四次、每次 70 分鐘的健身運動課程，總共 6 個月的健身運動介入。結果發現，經過 6 個月的健身運動課程後，實驗組執行功能顯著改善。此外，實驗組的有氧能力（最大攝氧量，VO_2 max）顯著提升，對照組則無任何變化。過去在有氧健身運動與執行功能之相關研究皆發現 VO_2 max 的增加會促進執行功能，兩者之間存在顯著的正向關聯性，VO_2 max 亦被認為是增進執行功能的可能調節機制。另一項研究，Prehn 等人 (2019) 同樣以有氧健身運動來討論其對執行功能之影響，此外，該研究再結合功能性磁共振造影 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 來探究大腦結構的變化。採用隨機分派分為實驗組（中等強度的有氧健身運動）和主動控制組（伸展訓練），並進行為期六個月，每周 45 分鐘／兩次的介入。以路徑追蹤描繪、叫色測驗、德文版的聽覺語言學習測驗 (german version of the auditory verbal learning test, VLMT) 以及記憶廣度測驗 (digit span test) 作為量測執行功能的工具。結果發現，與主動控制組相比，實驗組的轉換能力與記憶顯著提升。在大腦結構方面，實驗組的背外側前額葉皮層的靜止狀態連結顯著優於主動控制組。此外，內側扣帶迴皮質的灰質亦有增加的趨勢。代表有氧健身運動能提升和維持大腦的功能與結構。

與上述的健身運動型態不同，Fortes 等人 (2018) 探討不同強度（負荷量）的阻力健身運動對於執行功能的影響。研究以隨機交叉控制實驗設計進行研究，共招募 31 名男性參與者，每位參與者皆會經過 1 組、3 組和 5 組三種情境的 80% 10-RM 阻力健身運動，每種情境各 8 周的介入，兩種情境之間間隔 8 周的緩和期，共 40 周的阻力健身運動介入。執行功能評估採用叫色測驗 (Stroop test) 進行量測。結果發現，與進行 1 組情境相比，進行 3 組和 5 組情境的反應時間顯著較快。然而該研究可能存在成熟的內在效度威脅，其缺乏控制組或者對照組，因此對於該研究之結果需要更加謹慎的解釋。

Liu-Ambrose 等人 (2010) 同樣探討阻力健身運動對抑制功能的影響，但其加入控制組，降低了成熟內在效度的風險。研究招募 155 名參與者，所有參與者在過去 6 個月

中有規律地進行阻力健身運動、神經退行性疾病、抑鬱症等病症，接著以隨機分配方式進行分組，分為兩個實驗組（每周一次與每週二次阻力健身運動介入）和控制組（健康教育），進行每周 60 分鐘，總共 12 個月的阻力健身運動介入。使用叫色測驗和追蹤描繪測驗量測執行功能。結果發現，相較於控制組，兩個阻力健身運動組顯著提升抑制功能與處理速度。該研究使用的認知作業主要用來量測選擇性注意力以及衝突解決，顯示阻力健身運動可以增進選擇性注意力和衝突解決。

除此之外，過去研究也探討了不同型態的健身運動與執行功能之間的關係，Tsai 等人 (2017) 招募 64 位無神經疾病、腦部損傷、憂鬱症狀，以及認知障礙且慣用右手的參與者，將其隨機分成三組：（一）開放式技能組（桌球）；（二）封閉式技能組（70-75%保留心跳率的跑步或自行車騎行）；（三）對照組（平衡與伸展訓練）。兩個介入組都進行每周 3 次／每次 40 分鐘的健身運動訓練，為期 24 周。執行功能採用任務轉換作業 (task-switching) 和 N-back 任務 (N-back task) 進行量測。結果發現，與其他兩組相比，開放式技能組的反應時間顯著降低，正確率則無增加；另外，與基準值相比，開放式技能組在轉換情境中的反應時間較快。在 N-back 任務方面，開放式與封閉式技能組的反應時間皆降低，在 1-back 情境中開放式與封閉式技能組的正確率皆有增進，然 2-back 情境僅封閉式技能組的正確率有改善。顯示不同型態的健身運動對於執行功能有不同的益處，開放式健身運動可能有助於降低認知任務中轉換情境對訊息處理的時間，而封閉式的健身運動對於需工作記憶參與的認知任務的效益較佳。

Iuliano 等人 (2015) 研究目的是比較不同健身運動形式對執行功能的影響，研究者以隨機分組的方式將 80 位參與者分為四組（三組為實驗組、一組為控制組），進行每周 30 分鐘／三次，為期 12 周的介入。阻力健身運動組以漸進的方式 (80-85% 1-RM) 針對六個肌群進行訓練；有氧健身運動組使用固定式腳踏車進行介入，強度為 70-80% HRR；主動控制組進行平衡訓練；控制組則不做任何介入。該研究使用注意力測驗 (attentive test)、Raven 測驗 (Raven test)、叫色測驗、路徑描繪測驗與繪圖複製測驗 (drawing copy test) 驗量測執行功能。結果發現，相較於主動控制組與控制組，阻力健身運動組改善了實踐相關的執行功能，而有氧健身運動組增進了注意力和抽象推理相關的

執行功能。代表這兩種健身運動型態均可對不同的執行功能面向產生正面的影響，且可能對執行功能有選擇性作用。

綜合上述過去研究的結果，可以發現執行功能與健身運動之間存在著正向的關聯。不同健身運動型態對於不同的執行功能面向有正面的效益，而健身運動可能透過不同機制來促進執行功能，例如最大攝氧量 (VO_2 max) 可調節有氧健身運動與執行功能之間的關係，阻力健身運動可調節選擇性注意力與衝突抑制相關的能力。除此之外，近期學界不再探究何種單一型態的健身運動對於執行功能之效益更好，而是將兩種以上之健身運動結合來討論其對於執行功能的效益是否更佳。

第二節　多面向健身運動對執行功能與身體適能之影響

多面向健身運動定義為結合兩種以上的健身運動或健身運動結合健康因子等形式，具有互補與多樣化之優點 (Falck et al., 2019)，其對於維持與改善執行功能亦有正面的影響 （陳豐慈、黃植懋、王俊智、張育愷，2018；Northey et al., 2018）。在最新版的「美國國民身體活動指引方針」中建議，可從事由有氧健身運動、阻力健身運動、平衡訓練等多種不同健身運動型態結合的多面向健身運動來促進個人的整體健康 (Piercy et al., 2018)。另外，近期的回顧性文章 Boa Sorte Silva 等人 (2020) 探討多面向健身運動對執行功能之影響，該文章經過一系列的納入條件篩選後，最後總共納入 33 篇文章。值得注意的是，其中大部分的研究都是進行縱貫性的健身運動介入，運動型態包含有氧健身運動、阻力健身運動、平衡訓練與敏捷訓練或是多面向健身運動，單次運動持續時間大約在 30-90 分鐘之間，介入週期最短 1.5 個月、最長達 24 個月。該篇研究結果顯示相較於單一型態的健身運動，多面向健身運動對執行功能的效益較大。

在近期的實證研究中亦發現類似的效果，Vedovelli 等人 (2017) 之研究以有氧健身運動與阻力健身運動結合，探討其對於執行功能之影響並與控制組進行比較。其將 31 名參與者隨機分為多面向健身運動組(有氧健身運動與阻力健身運動)和控制組(無介入)，進行每周 60 分鐘／三次的健身運動介入，為期 12 周。多面向健身運動組以彈力帶進行

阻力健身運動介入，強度為 50％ 1-RM 逐漸增加至 75％ 1-RM。有氧健身運動則以 75-85％的最大心跳率步行指定距離，直到參與者能完成 30 分鐘的步行距離為止，並於過程中監測參與者的心跳率。控制組則維持日常生活作息以及避免從事任何的健身運動。結果發現，多面向健身運動組在記憶、注意力與抑制功能皆顯著優於控制組。顯示多面向健身運動不僅能增進多個面向的認知功能，甚至對高階認知功能亦有正面的影響。

過去研究以較多種健身運動型態之結合與單一型態健身運動對執行功能的影響進行探討，Forte 等人 (2013) 的研究招募 77 名參與者，通過篩選條件：每周從事健身運動少於一次、無心臟病、腦血管疾病、下肢關節炎以及代謝性疾病等條件，排除後剩下 42 名參與並完成研究。其將參與者隨機分成協調訓練、平衡訓練與敏捷訓練結合的多面向健身運動組與漸進式阻力健身運動的對照組，進行每周 60 分鐘／兩次，共 12 周的介入。該研究在基準值、介入第 4 周以及第 12 周進行多個時間點的量測。執行功能以隨機數字任務 (random number generation task) 與路徑描繪測驗作為量測抑制功能之指標。結果發現，兩組在 12 周介入後抑制功能皆顯著改善。此外，該研究認為，不同健身運動介入形式對於進抑制功能改善的機制可能不同，再針對變項進行中介分析，結果顯示多面向的健身運動似乎能直接影響老年人的抑制功能，而漸進式阻力健身運動似乎是透過增加老年人的肌肉力量而增進抑制功能。意味著多面向健身運動對抑制功能可產生正面效益，且可能透過增加身體適能的機制，進而促進抑制功能。

Albinet 等人 (2016) 之研究以有氧健身運動和阻力健身運動結合之多面向介入形式與伸展訓練等兩種健身運動型態進行比較，探討何種介入形式對於執行功能與身體適能的影響較佳。該研究中水中有氧的操作性定義為有氧健身運動和阻力健身運動相結合的多面向健身運動形式 (Falck et al., 2019)，其中水具有阻力，能利用它達到訓練肌肉力量之效果。該研究從社區招募 36 名參與者（無心血管與神經系統疾病），將其隨機分成多面向健身運動組（有氧健身運動和阻力健身運動）與對照組（伸展訓練），所有受試者皆會完成幾項與執行功能相關的認知測驗包含叫色測驗、N-back 任務以及維度轉換任務 (dimension-switching task)，並在第 1 周、第 10 周、及第 21 周等三個時間點進行認知測驗的量測。另外，該研究量測 VO_2 max 做為評估身體適能的指標。結果發現，第 10

周身體適能已經有顯著改善，而執行功能並無觀察到改善；在介入 20 周（五個月）後，實驗組的抑制功能以及身體適能顯著提升。過去的研究顯示身體適能的改善是增進執行功能的一項可能機制，透過身體適能的提升從而促進執行功能 (Kueper et al., 2017)。此外，僅實驗組的抑制功能顯著提升，對照組則無達到統計水準上的顯著差異。顯示水中有氧的多面向健身運動形式不僅對於身體適能與執行功能有正面的影響，更對於執行功能中的抑制功能之提升有特殊性的效果。

不僅如此，多面向健身運動在特殊族群上也發現了類似的效益，Park 等人 (2019) 之研究招募 49 名輕度認知障礙 (mild cognitive impairment, MCI) 的患者，隨機分為多面向健身運動組（55-80％最大心跳率之有氧健身運動、認知訓練以及伸展訓練）以及控制組（無介入），進行每周 110 分鐘／24 周的介入。該研究以簡短智力測驗量測整體認知功能、叫色測驗量測抑制功能等。結果發現，多面向健身運動組在身體適能表現上顯著進步，如步態速度、下肢力量。此外，多面向健身運動組在簡單認知功能、抑制功能方面皆較佳，顯示多面向健身運動介入後的正面效益可以擴及特殊族群，能夠改善患有輕度認知障礙患者的整體認知功能、抑制功能以及身體適能。

過去回顧性文獻顯示太極拳係透過有氧健身運動、阻力健身運動、協調性動作以及社交互動等成分，進而提升執行功能，甚至可以影響大腦結構 (Chang et al., 2014)。由此可知，太極拳亦包含在多面向健身運動的範疇當中。Nguyen 等人 (2019) 的研究探討太極拳對於執行功能、身體適能（平衡能力）與睡眠品質之影響，研究將招募到的參與者分為太極拳組與控制組進行每周 60 分鐘／兩次，為期 24 周的介入，執行功能以路徑描繪測驗進行量測。結果發現，太極拳組的執行功能、平衡能力以及睡眠品質比控制組更佳。這些結果說明可能係太極拳包含多種運動特性 (有氧健身運動、阻力健身運動和社交互動)，比單一型態的健身運動帶來更多的效益，從而使進行多面向健身運動型態之組別擁有相對較佳的執行功能、平衡能力與睡眠品質。除了探討行為面向之外，還有研究特別加入神經影像技術，針對大腦結構面向來討論。Adcock 等人 (2019) 以神經影像之功能性磁共振造影 (fMRI) 的角度來研究多面向健身運動對大腦功能與結構的效益，使用隨機分派的方式將 31 位平均年齡 74 歲的老年人分成多面向健身運動組與控制組。

多面向健身運動組以太極拳、舞蹈與認知遊戲相結合進行介入，控制組則為健康教育，兩組皆進行每週 30 至 40 分鐘／三次，為期 16 週的介入。執行功能指標以維多利亞版本的叫色測驗 (Victoria Stroop test)、路徑描繪測驗量測。結果顯示多面向健身運動組的處理速度與抑制功能皆顯著優於控制組，然而多面向健身運動組與控制組之間在大腦容積上則無顯著的差異性。過去研究的結果顯示多面向健身運動後可以有效的增進執行功能，然在大腦結構方面可能需要較長的介入時間（6 個月以上）與中等強度的介入 (Niemann, Godde, & Voelcker-Rehage, 2014)，才能看到大腦結構的改變。

與上述之研究結果不同，Coubard 等人 (2011) 將 110 名參與者分為多面向健身運動組與對照組，並以分別以太極拳與舞蹈進行為期 5 個月，每周 60 分鐘／一次的介入。認知作業使用叫色測驗對抑制功能進行量測。結果發現，兩組在叫色測驗的正確率與反應時間上沒有顯著差異。同樣在 Chang 等人 (2011) 的研究使用組內設計，以每周 40 分鐘／兩次的多面向健身運動（太極拳）進行介入，使用叫色測驗量測抑制功能。在 15 周後發現，與前測相比，後測在叫色測驗的正確率與反應時間上沒有達到統計水準的顯著差異 ($p > .05$)。該研究提出低強度與較短的健身運動持續時間（劑量）可能是造成介入之後沒有顯著差異的可能原因。由此可知，多面向健身運動介入的劑量是需要考慮的因素，可能需要進一步的探究。

綜合上述研究的結果發現，與無介入的控制組或是單一型態的健身運動相比，多面向健身運動對於執行功能的效益可能較大，且多面向健身運動可增進身體適能與執行功能，故多面向健身運動、身體適能以及執行功能之間可能有其相關性。雖大部分研究都發現多面向健身運動是增進身體適能與執行功能的方法，然在過去太極拳對執行功能影響的研究結果持正反意見皆有，需進一步探究研究結果不一致的可能原因。而除了結合兩種以上健身運動的多面向健身運動形式，健身運動與健康因子結合之多面向健身運動介入形式亦可對執行功能產生正向的影響。

第三節　健身運動與社交互動對執行功能之影響

社交互動的定義為個人與他人以及群體之間相互影響的行為。社交互動能對健康因子產生正面的影響，例如促使人們規律從事健身運動的動機增加，且其對於執行功能也有相當的益處 (Plassman, Williams, Burke, Holsinger, & Benjamin, 2010)。近期的一項統合分析探討社交互動對執行功能與健身運動之間的關聯性，Kuiper 等人 (2016) 研究將納入的 43 篇文獻中之社交互動分為結構方面、功能方面以及綜合方面（結構與功能方面結合）等三種面向來討論，結果發現，較高的社交互動頻率與更好的執行功能有關，而缺乏社交互動則可能導致執行功能下降。上述結果說明社交互動可提升從事健身運動的動機，且能對執行功能產生保護作用。

另外，過去在實證性研究也發現類似的效益，Mortimer 等人 (2012) 即比較單一健身運動型態與健身運動結合社交互動的多面向健身運動介入形式對執行功能之影響進行探討。該研究從社區招募 250 位參與者（男性和女性各 125 位），通過一系列篩選後剩下 120 位參與研究，接下來隨機將其分為多面向健身運動組（有氧健身運動與社交互動）、有氧健身運動組、社交互動組與控制組（無介入）。多面向健身運動組以及有氧健身運動組進行每周三次各 50 分鐘的介入，社交互動組則透過小組討論進行介入。在執行功能表現上使用叫色測驗與追蹤描繪測驗進行評估。結果發現，與有氧健身運動組和控制組相比，多面向健身運動組與社交互動組執行功能皆顯著較佳，而相較於社交互動組，多面向健身運動組的執行功能改善幅度較大。此外，有氧健身運動組和控制組之間在執行功能表現上沒有顯著差異。顯示多面向健身運動組通過社交互動的刺激增進執行功能，健身運動結合社交互動的多面向健身運動介入形式對執行功能可能具有額外的效益。

通過上述的研究，可以發現通過健身運動與社交互動的多面向健身運動介入形式可使執行功能從中得到正面的效益，這與過去的發現有較高的社交互動頻率，通常會伴隨著較佳的執行功能表現之結果一致，這些都支持其所顯示出的多面向健身運動介入與執行功能之間的顯著正向關聯。此外，研究顯示通過學習新知可提升個體的認知儲備，而

透過增加認知儲備可對執行功能產生保護作用。

第四節　體適能知能對執行功能之影響

體適能知能即是通過在多面向健身運動介入中學習體適能、認知功能與大腦健康相關知識與重要性，藉以提升認知儲備。過去大量研究顯示學習新知與增加認知儲備對於執行功能有保護作用 (Zahodne et al., 2019)。

認知儲備係提升個體目前的執行功能水準以及涉及認知的大腦生理機制 (Pettigrew & Soldan, 2019)。認知儲備受到多種因素的影響，如個體的教育程度、學習新知以及健身運動等。舉例來說，Foverskov 等人 (2018) 將教育程度區分成三個等級，為初級（高中以下）、中級（高中）與高級（大學以上），並探討其與執行功能之間的關聯性。結果發現，相較於初級教育程度，高級教育程度的執行功能測驗分數較高，顯示高級教育程度與較好的執行功能呈顯著正相關。近期的研究也顯示通過學習新知可增進大腦的活動，並且提升個體的認知儲備，從而對執行功能產生正面效益 (Roldán-Tapia et al., 2017)。此外，研究表明健身運動可促進大腦內神經元的連結，增加神經的可塑性並對執行功能產生保護作用 (Cheng, 2016)。

通過上述的研究，可以發現通過體適能知能之學習新知的方式，能對執行功能產生正面的影響，也是增進認知儲備的方法之一，這與過去發現有較高的認知儲備對執行功能表現有保護作用之結果一致，顯示體適能知能亦是對執行功能有益處的健康因子。除了量測行為表現外，使用神經電生理手段可能有助於更進一步瞭解多面向健身運動對大腦功能的影響，特別是事件關聯電位，該種腦電圖的相關技術還可以直接測量大腦神經元之間的電位活動變化，亦可作為對特定刺激與訊息處理之間關係的評估工具。

第五節　多面向健身運動對事件關聯電位之影響

事件關聯電位是一種由內在或外在刺激所引發的腦電波，因其非侵入性、低風險以及高時間解析等特點，被廣泛地用於健身運動與執行功能之間的相關研究中（張育愷、吳聰義，2011）。近期在多面向健身運動與執行功能之間的探討亦加入事件關聯電位進行研究，為探索大腦內部對於訊息處理過程提供更多的資訊與支持。

事件關聯電位能透過不同的成分來觀察大腦對訊息處理的心智歷程，每種成分背後都代表著不同的心智歷程。事件關聯電位之特性為每一次的刺激都會產生相同的成分且可能在相同的時間點誘發該成分。事件關聯電位主要可分為正向波 (positive, P) 和負向波 (negative, N)（宋岱芬、張育愷、林季燕，2015）。此外，事件關聯電位的峰值會受到不同注意力投入程度的影響。首先，該類型的成分不會隨著注意力投入的增加而改變，它是大腦對刺激自動產生的反應，例如刺激的大小、顏色以及亮度等物理性特徵都會影響到該類型成分的振幅，因此它們又被稱為外因性成分 (exogenous component) (Di Russo, Martínez, Sereno, Pitzalis, & Hillyard, 2002)。第二，中性成分 (mesogenous component) 的特徵是即使注意力不集中在刺激上也可誘發出該類型的成分 (Näätänen & Picton, 1987; Woods, 1995)，例如當個體將注意力放在看書或是做報告上，旁邊有人喊你名字的時候會誘發出聽覺 N1 成分，大腦會將注意力用於過濾接收到的訊息，幫助個體進行回覆他人的動作。第三，內因性成分 (endogenous component) 的誘發需要注意力的投入才會產生 (Fabiani, Gratton, & Federmeier, 2007)，並且與個體對刺激的反應有關，例如 P3 (P300) 為刺激出現 300 ms 後出現的正向波，是個體針對刺激給予反應時所產生的成分，也就是說 P3 屬於內因性成分，亦是腦波的晚期成分之一。除此之外，在廣泛的大腦區域中皆可發現 P3 成分，如顳葉區域、額葉區域以及顳頂葉交界區等等 (Huettel & McCarthy, 2004; Laurens, Kiehl, & Liddle, 2005; Okada, Kaufman, & Williamson, 1983)，所以 P3 成分又被認為是多個大腦區域電位活動的總和 (McCarthy, Luby, Gore, & Goldman-Rakic, 1997)。P3 成分（頂葉區域）為本研究不同成分的多面向健身運動介入之後，評估大腦功能主要的參考指標，其可用於評估注意力資源分配程度，亦是事件關聯電位研究最常

被探討之成分 (Gajewski, Ferdinand, Kray, & Falkenstein, 2018)。

舉例來說，Hsieh 等人 (2017) 之研究探討多面向健身運動介入後，以事件關聯電位監控執行認知任務時大腦內部的神經元活動情況。該研究從宜蘭縣以及大台北地區招募 44 位參與者，採不隨機方式分為多面向健身運動組和控制組，多面向健身運動組進行每周 90 分鐘的有氧健身運動、阻力健身運動、肌耐力訓練、柔軟度訓練和動作技能訓練各兩次，總共進行 8 周的介入，控制組則要求參與者保持原本的生活作息。所有參與者皆接受延遲配對樣本測驗 (delayed matching to sample test) 以及事件關聯電位的量測。結果發現，在行為表現上多面向健身運動組的正確率顯著優於控制組；在事件關聯電位方面，多面向健身運動組的 P3 振幅顯著增加。顯示出多面向健身運動介入不僅可以促進行為表現，還可幫助調節大腦注意力資源分配。

Ludyga 等人 (2018) 之研究探討多面向健身運動對執行功能與其相關任務執行過程之影響。該研究排除有認知障礙、注意力障礙或有精神疾病，並進一步的排除色盲和有任何健康狀況不適合參與健身運動訓練的參與者。最後總共招募 36 名參與者，隨機分成多面向健身運動組（有氧健身運動與協調訓練）以及控制組（無介入）。研究進行為期 8 周，每周 5 天、每次 20 分鐘的多面向健身運動介入。所有參與者皆接受 Sternberg 任務 (Sternberg task)，並在測驗進行過程中使用事件關聯電位監控 P3 成分的變化。結果發現，多面向健身運動組在認知測驗之一致情境與不一致情境的 P3 振幅皆顯著增加。此外，P3 振幅顯著增加與不一致情境的反應時間降低有關。顯示多面向健身運動與 P3 振幅之間可能有正向關聯。

通過上述的研究發現多面向健身運動對 P3 成分有正面影響，如改善大腦注意力資源的分配與降低在不一致情境中的反應時間，這些都與大腦訊息處理的效率有關，也進一步的提供訊息處理過程中大腦內隱機制的可視化證據。

第六節　文獻總結

綜合上述研究統整出以下結果：

一、單一型態的健身運動能增進執行功能，且不同型態的健身運動與執行功能之間可能受到不同機制的調節，且該些機制可對執行功能產生正面的影響。

二、多面向健身運動可增進不同的執行功能以及多種面向的身體適能，在三者之間可能存在著關聯性，意即在多面向健身運動後身體適能的提升，從而促進執行功能。但目前仍有少部分研究結果不一致，故需進一步探究其為何會對執行功能產生不同結果。

三、健身運動結合健康因子之多面向健身運動介入形式對於執行功能之效益較佳，透過不同面向之結合可能具有額外增進之效果，如社交互動。此外，通過學習新知（體適能知能）可增加認知儲備，並對執行功能產生保護作用。然過去研究多僅聚焦在兩種以上之多面向健身運動型態或健身運動結合健康因子，而本研究將整合該兩種多面向健身運動型態，以兩種以上健身運動再結合健康因子之型態，即以有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能進行介入。另外，研究多與單一型態健身運動或是無介入進行比較，對於較佳的多面向健身運動介入形式之探究有所限制，本研究將與同樣為多面向健身運動的太極拳（伸展、阻力健身運動與社交互動）進行比較。

四、多面向健身運動對事件關聯電位之 P3 振幅有正面的效益，顯示其有助於增進大腦功能以及注意力資源的分配，然經過探索，多面向健身運動介入在事件關聯電位上的發現仍較少，缺乏更多相關研究的支持，因此需進一步探究，以瞭解多面向健身運動在大腦功能上之效益。

第參章　研究方法與步驟

本章節共分六節：第一節為「研究架構」；第二節為「研究對象」；第三節為「多面向健身運動介入設計」；第四節為「研究工具」；第五節為「研究設計與流程」；第六節為「資料處理與分析」。

第一節　研究架構

本研究自變項為本研究設計之多面向健身運動（有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能）與太極拳（伸展、阻力健身運動與社交互動），依變項分為行為表現（身體適能指標之心肺適能、肌肉適能與柔軟度以及叫色測驗之反應時間與正確率）與大腦功能（事件關聯電位之 P3 振幅）。為驗證本研究的實驗設計與假設，並在介入後達成研究目的，經過統整研擬出的研究架構，如下圖：

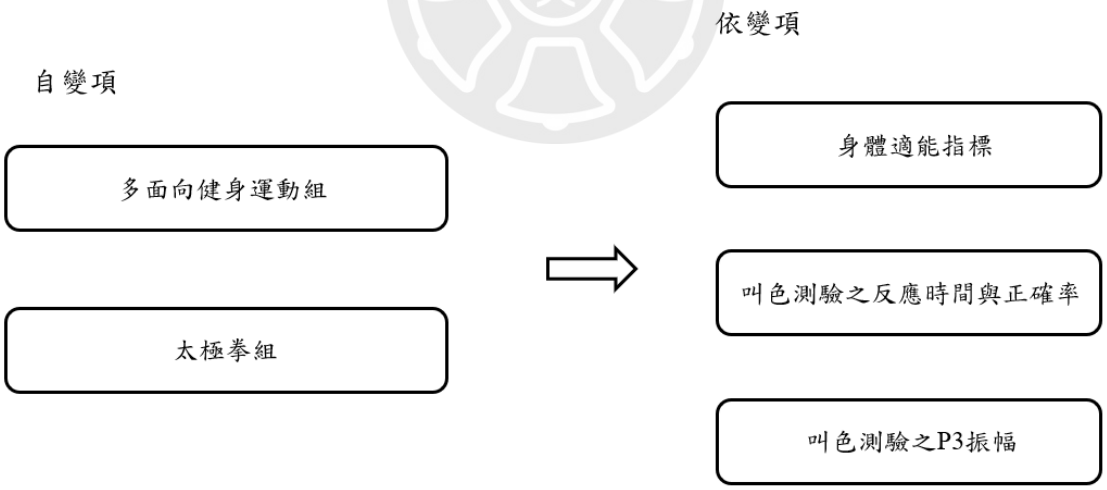

圖 3-1-1 研究架構圖

第二節　研究對象

本研究招募國立臺灣師範大學修習國術與太極拳課程，年齡需介於 17-24 歲之健康大學生，接著針對有意願參與研究者進行篩選（是否適合參與多面向健身運動介入），並排除近期內服用過任何會影響神經系統之藥物或患有色盲、心臟病、高血壓及精神相關疾病的實驗參與者。本研究所有參與者皆為自願參加並簽屬知情同意書，未滿 20 歲之參與者皆經法定代理人同意後始可參與本研究。本研究招募 30 名為多面向健身運動組（4 名介入中途退出、2 名腦波資料雜訊過高，排除後為 24 名大學生）與 30 名太極拳組（3 名介入中途退出、3 名腦波資料雜訊過高，排除後為 24 名大學生），共 48 名大學生參與並完成實驗。多面向健身運動組將以有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能進行介入，太極拳組則以伸展、阻力健身運動與社交互動進行介入。所有參與者於測驗開始前填寫身體活動準備問卷，以確認其身體狀況適合參加本研究不同成分的多面向健身運動介入。本研究利用台灣身體活動量調查短版問卷調查在介入前是否有規律的健身運動習慣以及介入期間參與者是否有額外進行健身運動。在前測與後測時，皆會填寫體適能知能問卷，檢測參與者於 12 周介入後是否確實學習課堂中教授的體適能、認知功能與大腦健康相關知識。最後，由研究者詳細告知實驗流程與注意事項。本研究於開始進行前已通過國立臺灣師範大學研究倫理審查委員會之認可。

第三節　多面向健身運動介入設計

不同成分的多面向健身運動以 12 周課程的方式進行介入，本研究多面向健身運動的操作性定義為包含有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動（以增加肌力為主）、社交互動以及體適能知能等面向，而太極拳組則是包含伸展、阻力健身運動與社交互動等面向。多面向健身運動組與太極拳組之間有幾個相異之處：首先，多面向健身運動組增加了有氧健身運動面向，主要透過低到中強度的有氧健身運動（跑步）來提升多面向健身運動組的心肺適能，進而對執行功能產生正面影響；第二，多面向健身運動組的柔軟度訓練之目的是提升柔軟度，與太極拳組以暖身為目的低強度伸展不同；第三，相較於太極拳組，多面向健身運動組的阻力健身運動強度（動作持續時間、次數）相對較高；第四，Kuiper 等人 (2016) 發現社交互動與執行功能之間有正向的關聯性，且在近期研究顯示健身運動結合社交互動的多面向健身運動入形式可能對執行功能具有額外效益 (Mortimer et al., 2012)。據此本研究透過操弄社交互動的強度對多面向健身運動組與太極拳組進行介入，舉例來說，多面向健身運動組為兩人一組，並教授動作讓參與者相互練習，通過肢體上的接觸與討論如何做出正確的動作，研究者亦會從旁指導與協助；太極拳組的社交互動則是以團體為主，以一個口令一個動作的方式輪流領導組員練習太極拳動作，過程中的交流較少，因此，兩組在社交互動程度上有明顯的差異，多面向健身運動組之社交互動程度相對較高。另外，過去在多面向健身運動的介入上，多以技能為主要介入的成分，而 Zahodne 等人 (2019) 之研究顯示透過學習新知能增進執行功能，並對其有保護的作用。故本研究在多面向健身運動組的介入中加入體適能知能成分，透過技能與知能的結合來探討其是否能對於執行功能產生正面的影響。

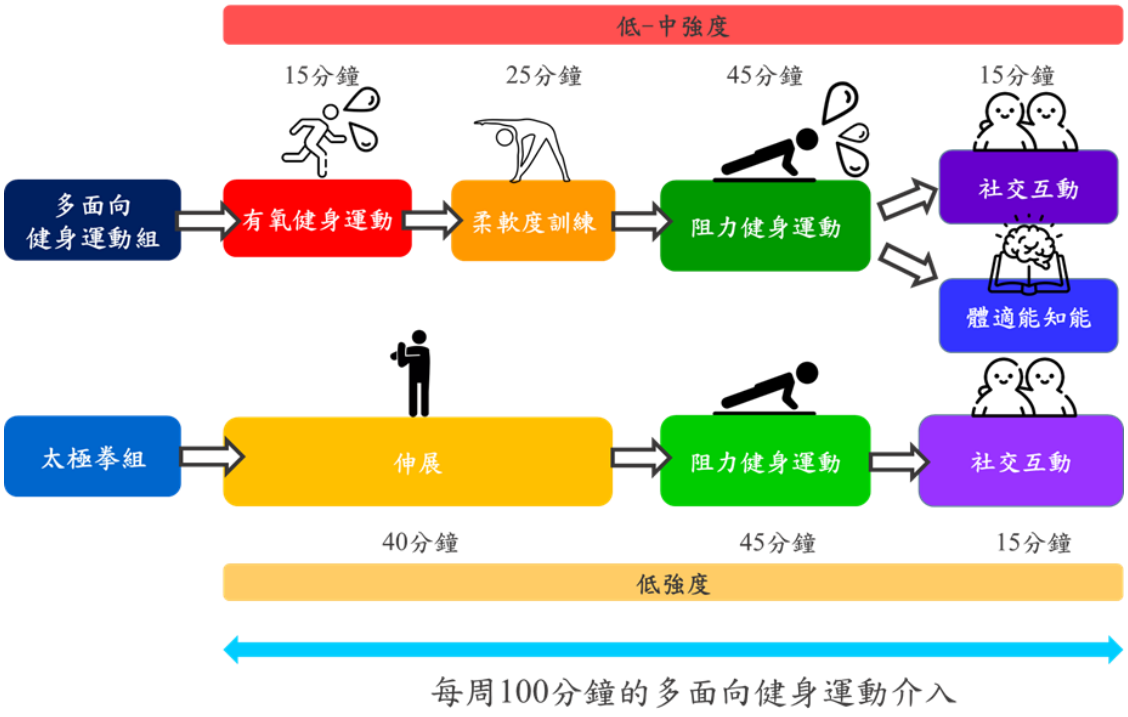

圖 3-3-1 不同成分的多面向健身運動介入設計圖

值得注意的是，本研究對於多面向健身運動組的設計並非是多面向健身運動本身所帶來的效益，而是如何來執行多面向健身運動介入後其所帶來影響。舉例來說，並非只有有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能相結合對行為表現（執行功能與身體適能）與大腦功能（與事件關聯電位之 P3 振幅）才有效益，而是將多面向健身運動介入中涵蓋的各面向發揮完整，使其對行為表現與大腦功能產生正面的影響。

第四節　研究工具

一、身體活動準備問卷

身體活動準備問卷 (physical activity readiness questionnaire, PAR-Q) 使用美國運動醫學會 (American college of sports medicine, ACSM) 所提出之版本，旨在評估參與者的健康狀況，並篩選出從事身體活動危險風險較高的參與者，將其排除以提升參與者從事多面向健身運動介入的安全性。該問卷總共有七個與身體健康狀況有關的問題，涵蓋心臟病與高血壓之有無、骨骼關節問題、是否因心血管疾病有服用藥物以及是否曾經有醫生診斷不適合從事身體活動的疾病等。若在問卷中所有回答皆為「否」，即可參與多面向健身運動介入，但若有任何一題回答為「是」，為了參與者的安全，在測驗前需經過專業醫護人員同意後，才能施行多面向健身運動介入。

二、台灣身體活動量調查短版問卷

台灣身體活動量調查短版問卷 (international physical activity questionnaire, IPAQ) 為臺灣行政院衛生署國民健康局編撰，其針對參與者在過去七天中從事身體活動的情況做評估，將身體活動分成費力、中等費力、走路以及靜坐進行調查，包含工作、做家事、交通，及休閒娛樂與運動等活動中所花費的時間。該問卷內容總共七題，整體施測時間約 5-10 分鐘。最後根據各類型身體活動之代謝當量 (metabolic equivalent, MET) 乘以該類型之身體活動天數及時間，計算出過去七天之身體活動總量 (METs-min/wk)，再依身體活動量等級分為高身體活動量（600 METs 以上）、身體活動量足夠（300 METs 以上）及身體活動量不足夠（身體不活動或活動未達身體活動量足夠之標準）。

三、體適能知能問卷

體適能知能問卷旨在將多面向健身運動介入中講授體適能、認知功能與大腦健康相關知識，使用 Google 表單的形式進行填答，主要目的為檢測參與者在多面向健身運動介入後是否確實學習體適能相關知識。該問卷內容總共二十五題，整體施測時間約 15~20 分鐘。

四、心跳率監測器

本研究的 YMCA 次最大腳踏車運動測驗全程採用心跳率監測器 (sport tester polar electro mode PE3000) 來監測參與者心跳 (heart rate, HR)。在測驗前先量測參與者的安靜心跳率 (resting heart rate, HR rest)，之後使用「220 - 年齡」公式推算最大心跳率 (heart rate maximal, HR max)，再利用「HR max – HR rest」公式取得儲備心跳率(heart rate reserve, HRR) 數值，最後帶入公式 [(HR max – HR rest) x 85% + HR rest] 計算出 85%的目標心跳率 (target heart rate, THR)。

圖 3-4-1 心跳率監測器

五、運動自覺量表

運動自覺量表 (ratings of perceived exertion, RPE) 可將參與者感覺到費力的程度數值化，適用於所有的健身運動型態，為瑞典生理學家 Gunnar Borg 所創建之客觀量測運動強度的工具，能讓參與者透過量表中互相對應的數字與文字來感知目前運動的強度，並且與運動當下的量測的心跳率成正比。RPE 的強度對應範圍為「6」到「20」，「6」到「12」對應的感覺為非常非常輕鬆到輕鬆的程度，「13」到「16」為有點吃力到吃力的程度，「17」到「20」則是非常吃力到非常非常吃力的程度。

六、固定式腳踏車測力計

YMCA 次最大腳踏車運動測驗即採用 Ergoline (ergoselect 200) 固定式腳踏車測力計，以做為推估最大心跳率的測驗工具，其可依據參與者身形將椅墊以及把手位置進行調整。測驗時需由施測者手動增加負重（負荷的強度），並請參與者維持螢幕上顯示的踩踏速度 (revolutions per minute, RPM)，測驗全程需維持在 50 RPM。

圖 3-4-2 固定式腳踏車測力計

七、腦波監測儀

本研究神經刺激系統採用 Stim 2，腦波收錄系統為 Curry8，並配合 Neuroscan 的 SynAmps 放大器系統與國際 10-10 系統之 32 通道電極帽紀錄腦波訊號。

電極帽上的數字左側為奇數，右側為偶數；然字母則代表不同的大腦部位，分別為：鼻尖向後致頸椎所經過之位置皆以 Z 表示；O (occipital) 代表枕葉區域；P (parietal) 代表頂葉區域；T (temporal) 代表顳葉區域；C (central) 代表中央區域；F (frontal) 則代表額葉區域。本研究主要記錄之電極點位置為 P 區 (P3+P4+Pz/3)，電極點之電阻皆維持在 10 kΩ 以下，並以雙耳耳後乳突為參照電極點，GND 為接地電極點。另外，在參與者左右眼角旁、左眼上方及下方記錄眼動以及眨眼訊號 (HEOG、VEOG)。由於大腦神經電位之訊號非常微小，因此必須透過 SynAmps 放大器將訊號放大，並將訊號傳輸至電腦後，透過 Curry8 腦波記錄分析軟體 (compumedics neuroscan, NC, USA) 進行觀測、紀錄與分析。

腦波資料分析方面，腦波訊號之取樣頻率為 1000 Hz，訊號校正 (baseline correction) 使用 100 至 0 ms 的刺激間隔進行修正，以及 0.5 - 30 Hz 的頻率帶 (band pass) 進行頻率篩選，並應用 notch filter 去除 60 Hz 左右的干擾訊號。另外，使用偽訊拒絕 (artifact rejection) 將大於正負 70 的振幅從腦波資料中去除。隨後將叫色測驗中的正確反應，從刺激開始前 200 ms 到刺激開始後 1000 ms 劃分成幾個時期，選取在刺激出現後 200 ms-1000 ms 內的正確反應之腦波進行後續分析。本研究量測 P3 成分的平均波形，將 P3、Pz 和 P4 的平均振幅作為刺激開始後 260-460 ms（中性情境與一致情境）與 280-480 ms（不一致情境）內頂葉區域的平均值來計算 P3 振幅。

圖 3-4-3 32 通道電極帽

八、叫色測驗

本研究的認知測驗採用叫色測驗 (Stroop task) (Stroop, 1935)，其以反應時間與正確率作為指標，參與者需以顏色為反應標準，以按鍵的方式做反應，若紅色按左邊紅鍵，綠色按中間綠鍵，藍色則按右邊藍鍵，並且在測驗中會要求參與者以最正確且最快的方式做出反應。

叫色測驗一共進行四個回合 (blocks)，每回合各 108 個試驗 (trials)，共 432 個試驗，分為(一)中性情境 (neutral)：該情境呈現色塊刺激；(二)一致情境 (congruent)：該情境為刺激的字義與呈現顏色相同，例如「藍」字以藍色呈現；不一致情境 (incongruent)：該情境為字義與所呈現的顏色不同，例如「藍」字以綠色呈現。在叫色測驗開始前，研究者會詳細說明操作方式，並讓參與者練習情境與熟悉測驗的規則，當練習情境操作之正確率達 90%後，才開始進行測驗。在進行叫色測驗期間，每個刺激都在 17 吋的電腦螢幕的正中央顯示 500 ms，電腦螢幕中刺激呈現的大小為 10 cm × 8 cm × 2 cm，每個刺激之間間隔 2000 ms。本研究僅考慮在初始刺激出現後 200 ms 至 1000 ms 之間做出的正確反應，進行後續的分析。此外，在本研究中反應時間超過 1000 ms、錯誤的反應或無反應(未執行按鍵動作)均視為不正確的反

應。整個測驗過程總共 20 分鐘，每回合之間間隔 2 分鐘，參與者皆以按鍵的方式對刺激做反應，並以電腦記錄測驗表現，作為後續行為表現分析之依據。

圖 3-4-4 叫色測驗情境示意圖

九、YMCA 次最大腳踏車運動測驗

本研究採用 YMCA 次最大腳踏車運動測驗 (YMCA submaximal ergometer test) 來測量心肺適能，並配合固定式腳踏車測力計來推估參與者的最大攝氧量。測量方式如下：

（一）在測驗前一天，研究者會提醒參與者當天需穿著運動服裝，且測驗前三小時禁止攝入任何內含咖啡因或酒精之飲品。

（二）在測驗前一天避免從事劇烈（高強度）健身運動。

（三）在測驗當天，施測者先與參與者說明測驗內容，並排除有重大疾病與身體不適者，在測驗過程中提醒參與者可適時地補充水分。

（四）依據參與者身形調整座椅與把手高度，當參與者將腳踏板踩至最低處時，膝關節需呈現微屈 15 度之角度，使其維持舒適的姿勢進行測驗。

（五）在測驗過程中持續監控與記錄參與者每分鐘的心跳，並於每個階段結束前詢問並記錄參與者的運動自覺程度 (RPE)，以觀察參與者是否出現不正常的表徵或推測參與者產生不適前的徵兆。

（六）每個階段時間為 3 分鐘，在測驗的初始負重為 25 Watt，接著根據上個階段最後一分鐘的心跳率來調整下個階段的負重，之後每階段以 25watt 的重量增加負重，直到參與者心跳率提升至測驗前所估算之目標心跳率，

即完成測驗。

（七）在測驗過程中，參與者需將轉速維持在 50 rpm。

十、一分鐘屈膝仰臥起坐 (crunch)

請參與者仰躺於墊子上，雙手交叉置於前胸，雙膝彎屈成 90 度，足底平貼地面，施測者以雙手按住參與者的腳背，協助維持穩定。當參與者起坐雙肘碰觸雙膝後，始可回復仰臥，仰臥至肩胛觸及地面後，再行起坐動作，即完成一個完整動作。施測者下達開始口令後，參與者遵循仰臥起坐要領，在一分鐘之內盡力完成個人最多仰臥起坐次數。注意事項如下：

（一）參與者需在一分鐘內持續做出仰臥起坐的動作。

（二）施測者可幫忙計算完成的次數，以防參與者忘記自己完成的次數，並鼓勵參與者持續努力至完成測驗。

（三）參與者在測驗過程中不要閉氣，須保持自然呼吸。

十一、 坐姿體前彎測驗 (sit and reach test)

本研究使用箭頭式坐姿體前彎測量器。請參與者坐在地上，雙腳與肩同寬、膝蓋伸直、腳尖朝上，接著雙手相疊（需特別注意：雙手中指需相疊），吐氣緩慢且盡可能的向前伸展，不能來回抖動，並使用中指推動量尺上的滑標，直到極限停住兩秒，讓施測者記錄下數值，總共有兩次測驗機會，取最佳成績進行後續分析。注意事項如下：

（一）若患有腰部疾病、下背痛、後腿肌肉拉傷、懷孕等皆不可接受此項測驗。

（二）測驗前需進行足夠的暖身。

（三）參與者上身前傾時，要緩慢向前伸，不可用猛力前伸，且測驗過程中膝關節應保持伸直不彎曲。

（四）測驗過程中，若參與者出現雙手中指分開、膝蓋彎曲以及用力推擊滑標，

使其向前滑動而不是因個體本身能力所得到的成績等行為則該次成績不列入計算。

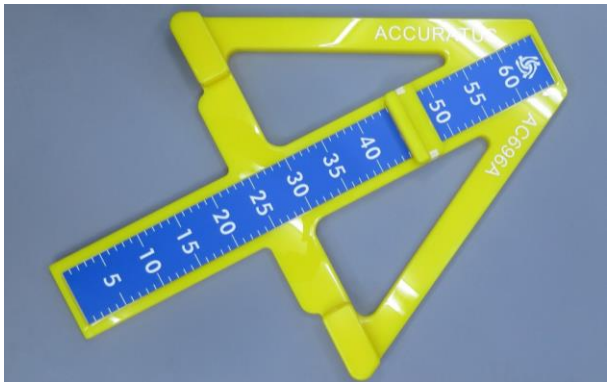

圖 3-4-6 箭頭式坐姿體前彎測量器

第五節　研究設計與流程

一、研究設計

本研究共有 48 名（原招募 60 位參與者）國立臺灣師範大學修習國術與太極拳課程，年齡介於 17-24 歲之健康大學生自願參與，接著將其分為多面向健身運動組與太極拳組進行為期 12 周，每周 100 分鐘／一次的多面向健身運動介入。所有參與者在不同成分的多面向健身運動介入前與介入後，都會進行認知任務測驗（叫色測驗）、事件關聯電位（腦波紀錄）以及身體適能的量測。實驗當日，在填寫完各項問卷後，同時進行叫色測驗與事件關聯電位的量測。在叫色測驗與事件關聯電位量測完畢後，進行身體適能測驗，包含心肺適能、肌肉適能與柔軟度。心肺適能測驗以參與者的年齡與安靜心跳率做為參考依據，在次最大腳踏車運動測驗過程中，將心跳率提升至接近以年齡推估之 85%最大心跳率的 10 下之間，即完成心肺適能的檢測，隨後帶入公式換算出最大攝氧量 (VO2 max) 做為參考依據；肌肉適能以參與者進行一分鐘屈膝仰臥起坐之次數作為參考依據；柔軟度以坐姿體前彎測驗的最佳數據作為參考依據，並比較控制前測表現後，三種身體適能指標在多面向健身運動組與太極拳組之間的差異。

二、研究流程

參與者受邀至國立臺灣師範大學體育館三樓之身體活動認知神經科學實驗室以及體育館地下室武術教室，參與本研究之不同成分的多面向健身運動介入，參與者需至實驗室 2 次（前測與後測）和國立臺灣師範大學體育館地下室武術教室 12 次（不同成分的多面向健身運動介入）。測驗當天參與者抵達實驗室後，首先會向參與者說明研究目的、流程以及參與研究的益處，讓參與者瞭解實驗流程並取得同意後會請參與者以及法定代理人（未滿 20 歲的參與者）簽署知情同意書，接著填寫身體活動準備問卷、台灣身體活動量調查短版問卷及體適能知能問卷，評估其符合本研究篩選條件後，將其分為多面向健身運動組與太極拳組後便開始進行各項測驗。首先會由施測者協助參與者配戴腦波帽，配戴完成後進行一共四回合的叫色測驗，叫色測驗與事件關聯電位量測結束後由施測者協助取下腦波帽，並接續進行 YMCA 次最大腳踏車運動、一分鐘屈膝仰臥起坐與坐姿體前彎等身體適能檢測，待所有測驗都結束後，會與參與者預約時間在不同成分的多面向健身運動介入 12 周後，於相同時間點再回到實驗室參與後測。除此之外，在後測時會請參與者再填一次台灣身體活動量調查短版問卷，調查其在不同成分的多面向健身運動介入期間有無額外進行其他的健身運動。

在介入方面，多面向健身運動組以有氧健身運動、柔軟度訓練、阻力健身運動、社交互動與體適能知能等五個面向設計而成的多面向健身運動進行每周 100 分鐘的介入，包含 15 分鐘的有氧健身運動（跑步）、25 分鐘的柔軟度訓練、45 分鐘的阻力健身運動（低至中強度）以及 15 分鐘的體適能知能教學或分組練習（社交互動）。而太極拳組以低強度伸展、阻力健身運動（低強度）與社交互動等三個面向結合的多面向健身運動進行介入，包含 40 分鐘的暖身、45 分鐘的阻力健身運動以及 15 分鐘的分組練習（社交互動），以暖身為主要目的的伸展，阻力健身運動為太極拳的基本動作練習（肌力），最後則進行分組練習（社交互動）。

三、實驗流程圖

本研究總共有六個實驗流程，分為實驗流程說明、簽署參與同意書及基本資料、分組、前測、不同成分的多面向健身運動介入與後測，請參閱下方流程圖：

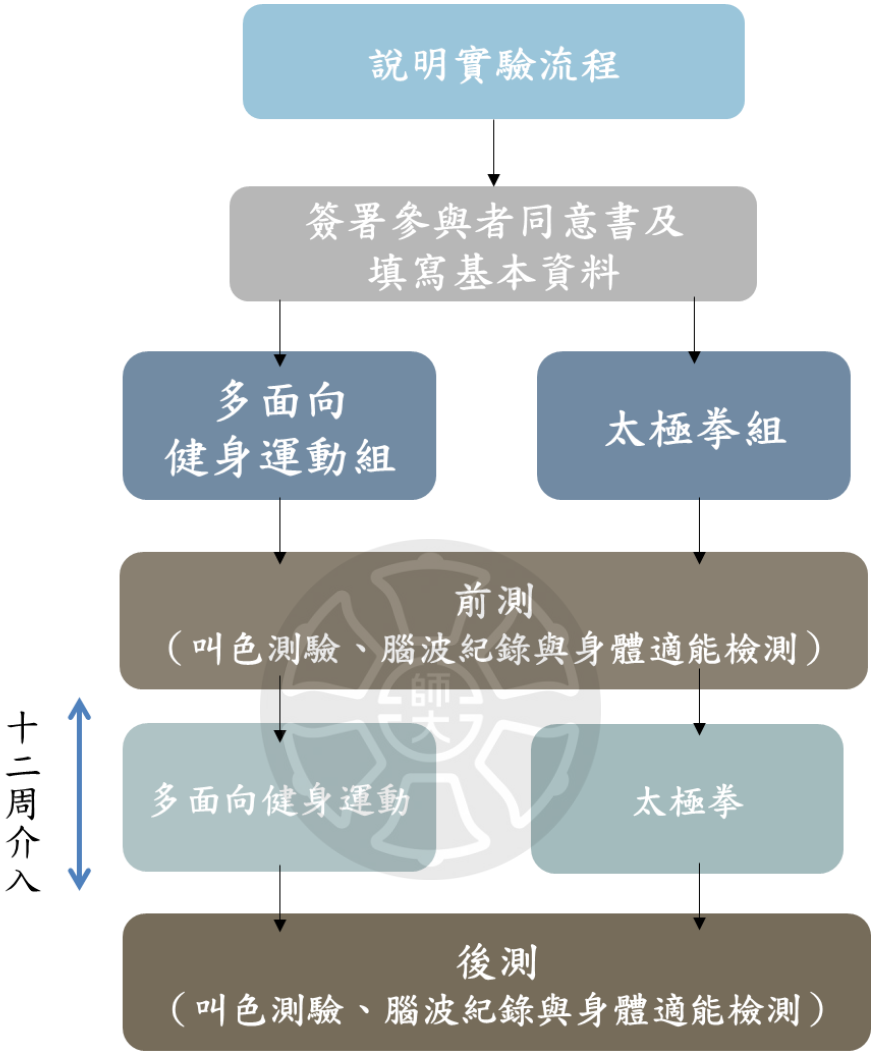

圖 3-5-3 實驗流程圖

第六節　資料處理與分析

本研究使用 SPSS for Windows 23.0 (statistical package for the social sciences for Windows) 統計分析軟體，依據研究目的針對各項數據進行資料分析。本研究所有統計顯著水準皆訂為 α=.05。

一、資料處理

（一）實驗參與者背景資料處理

背景資料包括年齡、身高、體重、身體質量指數 (BMI) 以及台灣身體活動量調查短版問卷等。背景資料處理方面，BMI 數據以每位參與者的體重／身高^2（公尺^2）計算得出；台灣身體活動量調查短版問卷，以走路 (3.3 METs)、中等費力活動 (4 METs)、費力活動 (8 METs) 等各類型身體活動換算成代謝當量 (metabolic equivalent, MET) ，並乘以從事各類型身體活動的天數及時間，計算出過去七天之身體活動總量 (METs-min/wk)。

（二）體適能知能問卷資料處理

體適能知能問卷係從多面向健身運動介入之授課內容當中抽選 25 題，以選擇題的方式進行測驗，該問卷計算僅參與者答對題數，答錯不倒扣分數，每題四分，共 100 分。

（三）身體適能指標資料處理

身體適能指標包括心肺適能、肌肉適能以及柔軟度。心肺適能依據 YMCA 次最大腳踏車測驗所得數據，帶入推估公式後算出 VO_2 max 數值；肌肉適能為參與者進行一分鐘屈膝仰臥起坐測驗所記錄的次數；柔軟度為兩

次測驗之成績，選取最佳成績進行後續分析。

（四） 叫色測驗之反應時間與正確率資料處理

在此 200-1000 ms 之外做出的反應或未執行按鍵動作（無反應）均視為不正確的反應，且不列入計算。經過排除錯誤次數後，再分別計算叫色測驗的中性、一致以及不一致情境中，叫色測驗正確反應的反應時間與正確率。

（五） 事件關聯電位之 P3 振幅資料處理

事件關聯電位使用 Curry8 軟體紀錄與分析，並針對 P3、Pz、P4 三點電極之平均所得出的 P3 振幅進行資料處理。腦波數據僅採用叫色測驗中的正確反應來進行後續分析，此舉可以避免異常反應和降低變異性。另外，腦波數據容易受到眼電訊號、肌肉電位、皮膚電位以及環境訊號等因素的干擾，因此亦會針對該些偽訊進行移除與校正。本研究腦波資料的頻率篩選採用 0.5-30 Hz (band pass) 之間的頻率帶，並應用 notch filter 去除 60 Hz 左右的干擾訊號。本研究選取事件關聯電位區間為波峰的總平均，在經過疊加之後，選取 260-460 ms 區間（中性情境與一致情境）與 280-480 ms 區間（不一致情境）作為 P3 成份的範圍。

二、資料分析

（一）實驗參與者背景資料分析

參與者的年齡、身高、體重、身體質量指數 (BMI) 以及台灣身體活動量調查短版問卷以獨立樣本 *t* 檢定 (Independent Sample *t*-test) 方式進行分析。

（二）體適能知能問卷資料分析

在體適能知能問卷上，使用單因子共變數分析 (one-way analysis of covariance, ANCOVA) 比較多面向健身運動組和太極拳組多面向健身運動介入後的體適能知能問卷分數，並以前測表現作為共同變量。其不僅能用來確定多面向健身運動介入是否導致兩組之間存在任何差異，且可以避免介入效果產生偏差。當發現顯著效果時，通過組間 η^2 的差異計算效果量大小。

（三）身體適能指標資料分析

在身體適能指標變項上，使用 ANCOVA 比較多面向健身運動組和太極拳組多面向健身運動介入後的心肺適能、肌肉適能以及柔軟度等指標，並以前測表現作為共同變量。其不僅能用來確定多面向健身運動介入是否導致兩組之間存在任何差異，且可以避免介入效果產生偏差。當發現顯著效果時，通過組間 η^2 的差異計算效果量大小。

（四）叫色測驗之反應時間與正確率資料分析

在認知作業表現變項上，使用 ANCOVA 比較多面向健身運動組和太

極拳組多面向健身運動介入後的叫色測驗之反應時間與正確率，並以前測表現作為共同變量。其不僅能用來確定多面向健身運動介入是否導致兩組之間存在任何差異，且可以避免介入效果產生偏差。當發現顯著效果時，通過組間 η^2 的差異計算效果量大小。

（五）事件關聯電位之 P3 振幅資料分析

在事件關聯電位之 P3 振幅變項上，使用 ANCOVA 比較多面向健身運動組和太極拳組多面向健身運動介入後在叫色測驗中的事件關聯電位之 P3 振幅，並以前測表現作為共同變量。其不僅能用來確定多面向健身運動介入是否導致兩組之間存在任何差異，且可以避免介入效果產生偏差。當發現顯著效果時，通過組間 η^2 的差異計算效果量大小。

第肆章　結果

本章節共分五節：第一節為「參與者背景變項」；第二節為「多面向健身運動對體適能知能問卷分數之影響」；第三節為「多面向健身運動對身體適能指標之影響」；第四節為「多面向健身運動對叫色測驗表現之影響」；第五節為「多面向健身運動對事件關聯電位 P3 振幅之影響」。

第一節　參與者背景變項

本研究採用組間的實驗設計進行不同成分的多面向健身運動介入，在實驗參與者的背景變項使用獨立樣本 *t* 檢定檢驗多面向健身運動組與太極拳組之背景變項是否同質（表 4-1-1），統計結果顯示兩組分別在性別、年齡、身高、體重、身體質量指數 (BMI) 與台灣身體活動量調查問卷 (IPAQ) 上，兩組之間在多面向健身運動介入前皆未達顯著差異，在本研究中視兩組為同質。

表 4-1-1 兩組在背景變項的平均數、標準差、*t* 值與 *p* 值

背景變項	多面向健身運動組 (n=24)	太極拳組 (n=24)	*t* 值	*p* 值
性別 (M/F)	5/19	5/19	—	—
年齡 (year)	20.25 ± 1.03	20.33 ± 0.96	-.289	.774
身高 (cm)	162.47 ± 8.16	160.4 ± 7.07	.938	.353
體重 (kg)	62.26 ± 15.88	58.08 ± 10.15	1.086	.283
BMI (kg/m^2)	23.24 ± 4.83	22.60 ± 3.26	.746	.459
IPAQ (MET／week)	1571.06 ± 2568.72	1467.02 ± 1362.08	.175	.862

註：M=男性；F=女性；BMI=身體質量指數；IPAQ=台灣身體活動量調查問卷

第二節　多面向健身運動對體適能知能問卷分數之影響

單因子共變數分析結果顯示，在控制前測分數後，多面向健身運動組與太極拳組之間在體適能知能問卷分數上有顯著的差異 [F (1, 45) = 31.76, p = 0.000, η^2 = 0.41]，多面向健身運動組 (M = 81.02, SE = 2.34) 的體適能知能問卷分數顯著優於太極拳組 (M = 62.32, SE = 2.34)。

表 4-2-1 兩組的體適能知能問卷分數結果 (M ± SD)

	多面向健身運動組 (n=24)		太極拳組 (n=24)	
	前測	後測	前測	後測
體適能知能問卷 (分)	65 ± 10.43	81.46 ± 13.63	63.54 ± 8.4	61.88 ± 11.69

表 4-2-2 控制後兩組之間在體適能知能問卷分數上的差異 (M ± SE)

	多面向健身運動組 (n=24)	太極拳組 (n=24)	F	p	$p.\eta^2$
體適能知能問卷 (分)	81.02 (2.34)	62.32 (2.34)	31.76	.00**	.41

*p＜0.05；**p＜0.01

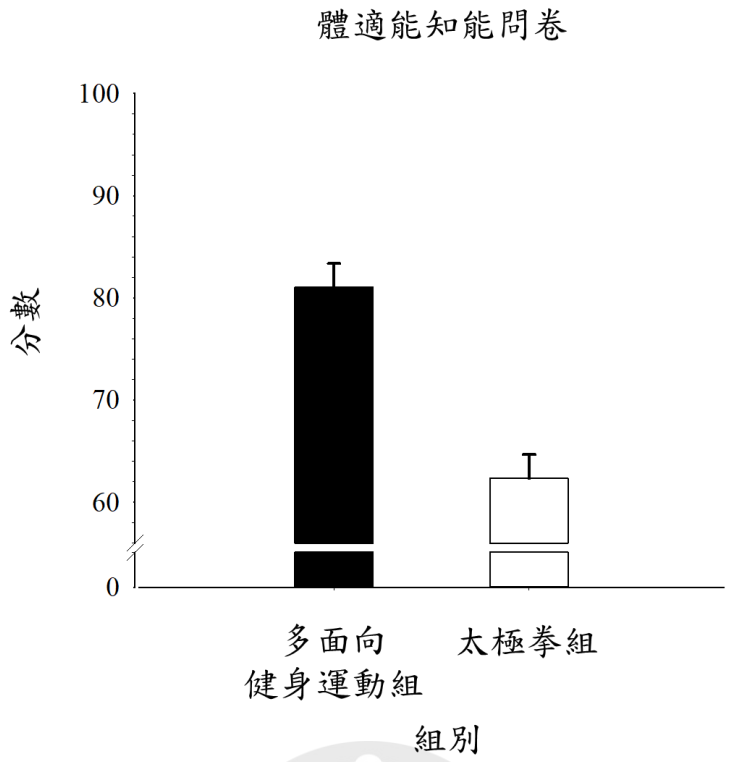

圖 4-2-1 控制後兩組之間在體適能知能問卷分數上的差異

第三節　多面向健身運動對身體適能指標之影響

單因子共變數分析結果顯示，在控制前測表現後，多面向健身運動組與太極拳組之間的心肺適能（最大攝氧量，VO_2 max）雖沒有顯著差異 [F (1, 45) = 0.12, p = 0.75, η^2 = 0.002]，但是兩組之間在肌肉適能上有顯著差異 [F (1, 45) = 10.92, p = 0.002, η^2 = 0.2]，多面向健身運動組 (M = 30.59, SE = 0.94) 的肌肉適能顯著優於太極拳組 (M = 26.08, SE = 0.94)。此外，在控制前測表現後，多面向健身運動組與太極拳組之間的柔軟度亦發現有顯著差異 [F (1, 45) = 12.4, p = 0.000, η^2 = 0.22]，多面向健身運動組 (M = 32.98, SE = 1.01) 的柔軟度顯著優於太極拳組 (M = 27.98, SE = 1.01)。

表 4-3-1 兩組的身體適能指標結果 (M ± SD)

	多面向健身運動組 (n=24)		太極拳組 (n=24)	
	前測	後測	前測	後測
心肺適能				
最大攝氧量	34.84 ± 6.57	38.23 ± 9.96	33.32 ± 4.33	34.07 ± 6.09
肌肉適能				
屈膝仰臥起坐	23.42 ± 10.47	27.21 ± 11.43	30.5 ± 10.06	29.46 ± 9.99
柔軟度				
坐姿體前彎	29.21 ± 13.31	31.13 ± 14.38	32.92 ± 8.64	29.83 ± 9.52

註：最大攝氧量 (ml/kg/min)；屈膝仰臥起坐 (次數)；坐姿體前彎 (公分)

表 4-3-2 控制後兩組之間在身體適能指標上的差異 (M ± SE)

	多面向健身運動組 (n=24)	太極拳組 (n=24)	*F*	*p*	$p.\eta^2$
心肺適能					
最大攝氧量 (ml/kg/min)	37.82 (1.59)	34.59 (1.59)	2.04	.16	.04
肌肉適能					
屈膝仰臥起坐 (次數)	30.59 (0.94)	26.08 (0.94)	10.92	.00**	.20
柔軟度					
坐姿體前彎 (公分)	32.98 (1.01)	27.98 (1.01)	12.4	.00**	.22

*$p<0.05$；**$p<0.01$

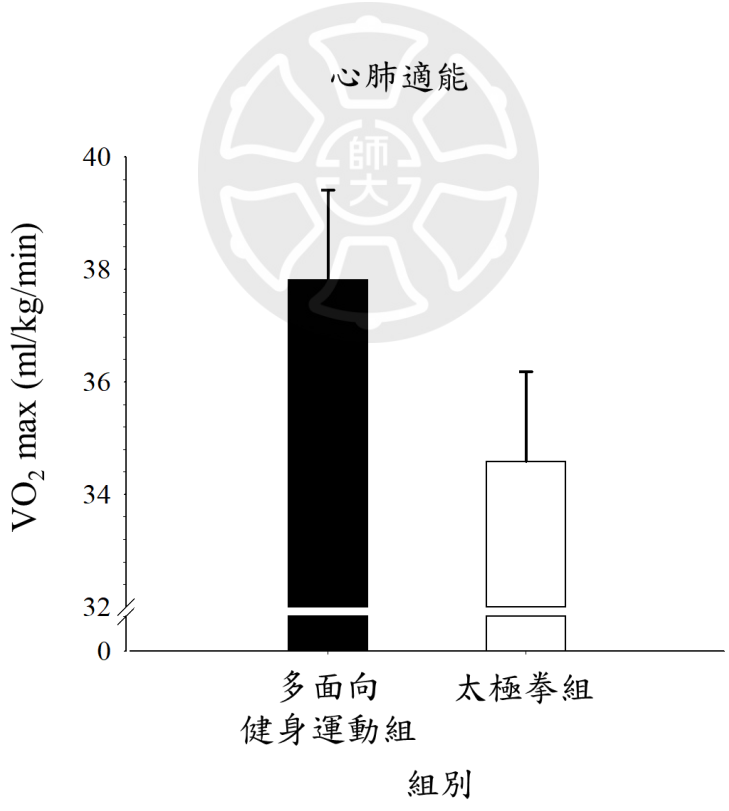

圖 4-3-1 控制後兩組之間在心肺適能上的差異

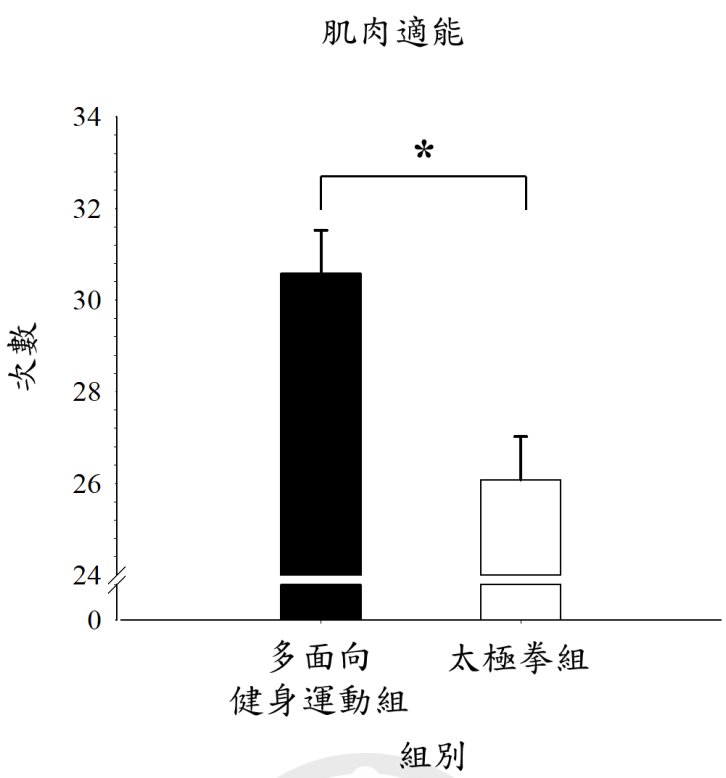

圖 4-3-2 控制後兩組之間在肌肉適能上的差異

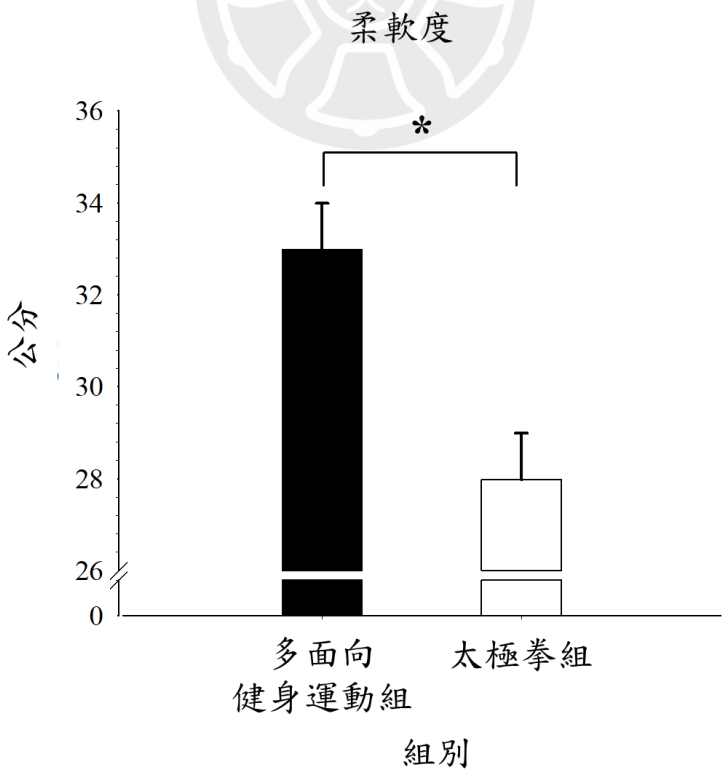

圖 4-3-3 控制後兩組之間在柔軟度上的差異

第四節　多面向健身運動對叫色測驗表現之影響

單因子共變數分析結果顯示，在控制前測表現後，多面向健身運動組與太極拳組之間在叫色測驗中三個情境的反應時間皆有顯著差異。在中性情境上 [F (1, 45) = 4.35, p = 0.04, η^2 = 0.09]，多面向健身運動組 (M = 511.58, SE = 11.06) 的反應時間顯著優於太極拳組 (M = 544.8, SE = 11.06)。在一致情境上 [F (1, 45) = 6.78, p = 0.01, η^2 = 0.13]，多面向健身運動組 (M = 520.28, SE = 10.3) 的反應時間顯著優於太極拳組 (M = 588.66, SE = 10.3)。在不一致情境上 [F (1, 45) = 4.25, p = 0.05, η^2 = 0.09)]，多面向健身運動組 (M = 588.82, SE = 13.85) 的反應時間顯著優於太極拳組 (M = 629.58, SE = 13.85)。

單因子共變數分析結果顯示，在控制前測表現後，多面向健身運動組與太極拳組之間在叫色測驗中三個情境的正確率皆無顯著差異，在中性情境 [F (1, 45) = 0.95, p = 0.33, η^2 = 0.02]；一致情境 [F (1, 45) = 1.74, p = 0.19, η^2 = 0.04]；不一致情境 [F (1, 45) = 2.56, p = 0.12, η^2 = 0.05]。

表 4-4-1 兩組的叫色測驗表現結果 (M ± SD)

	多面向健身運動組 (n=24)		太極拳組 (n=24)	
	前測	後測	前測	後測
反應時間 (ms)				
中性情境	564.68 ± 93.82	524.61 ± 71.6	520 ± 64.72	531.76 ± 69.37
一致情境	571.53 ± 94.5	530.21 ± 62.3	535.58 ± 68.3	548.72 ± 71.62
不一致情境	654.71 ± 120.41	603.27 ± 103.73	611.2 ± 107.78	615.13 ± 97.96
正確率 (%)				
中性情境	96.07 ± 3.62	97.04 ± 2.97	97.38 ± 1.86	96.73 ± 2.5
一致情境	96.63 ± 3.87	97.45 ± 3	97.51 ± 1.84	96.99 ± 2.16
不一致情境	91.81 ± 5.59	94.42 ± 3.45	92.51 ± 5.4	93.2 ± 4.81

表 4-4-2 控制後兩組之間在叫色測驗表現上的差異 (M ± SE)

	多面向健身運動組 (n=24)	太極拳組 (n=24)	*F*	*p*	$p.\eta^2$
反應時間 (ms)					
中性情境	511.58 (11.06)	544.8 (11.06)	4.35	.04*	.09
一致情境	520.28 (10.3)	558.66 (10.3)	6.78	.01**	.13
不一致情境	588.82 (13.85)	629.56 (13.85)	4.25	.05*	.09
正確率 (%)					
中性情境	97.26 (0.54)	96.51 (0.54)	0.95	.33	.02
一致情境	97.66 (0.46)	96.79 (0.46)	1.74	.19	.04
不一致情境	94.58 (0.68)	93.04 (0.68)	2.57	.12	.05

*p＜0.05；**p＜0.01

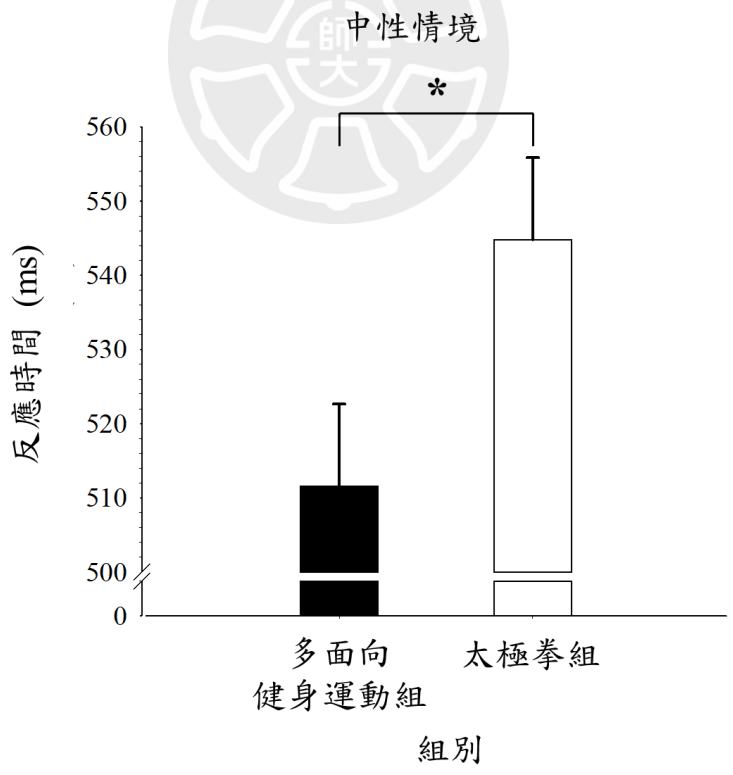

圖 4-4-1 控制後兩組之間在中性情境反應時間上的差異

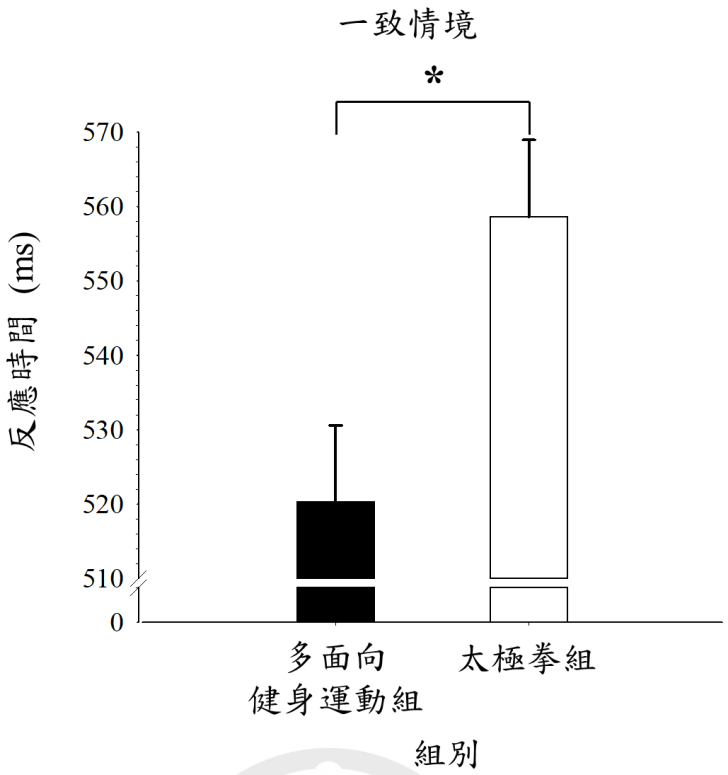

圖 4-4-2 控制後兩組之間在一致情境反應時間上的差異

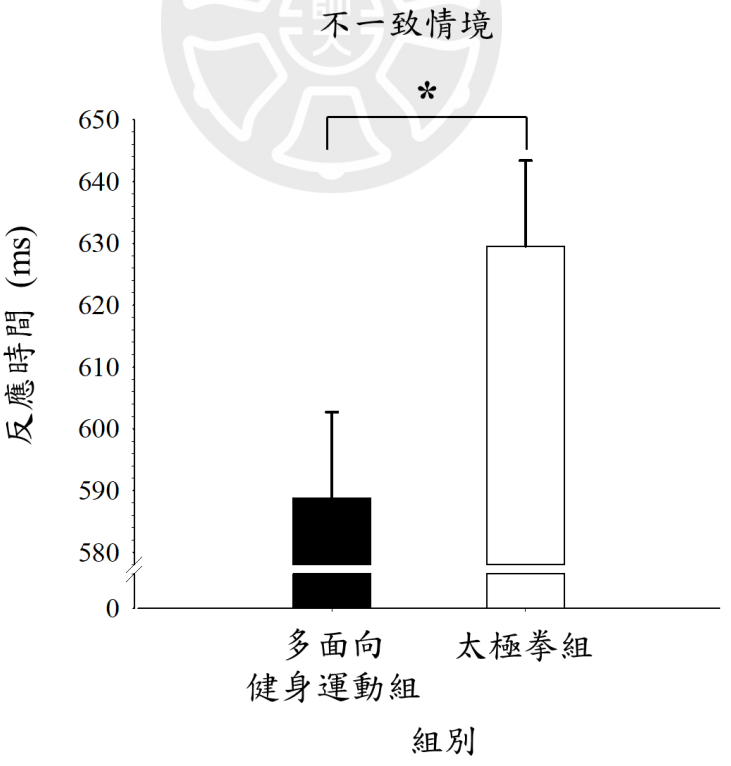

圖 4-4-3 控制後兩組之間在不一致情境反應時間上的差異

中性情境

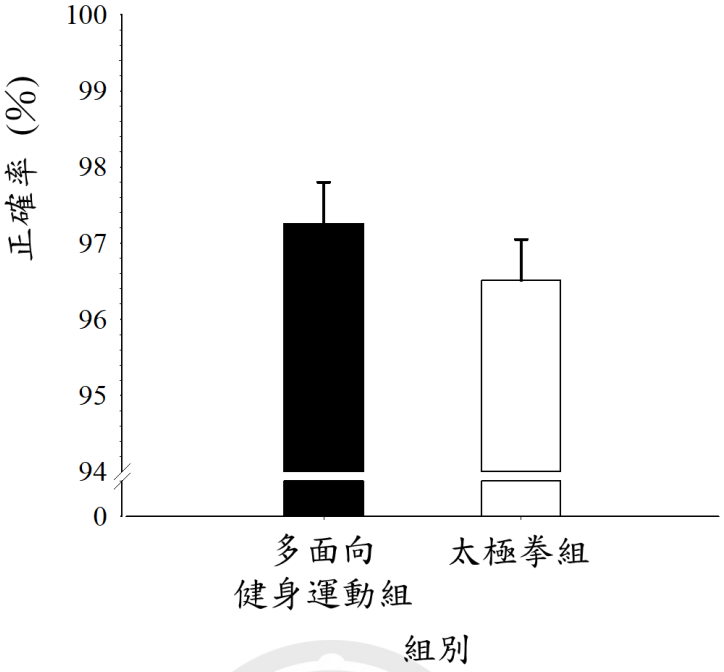

圖 4-4-4 控制後兩組之間在中性情境正確率上的差異

一致情境

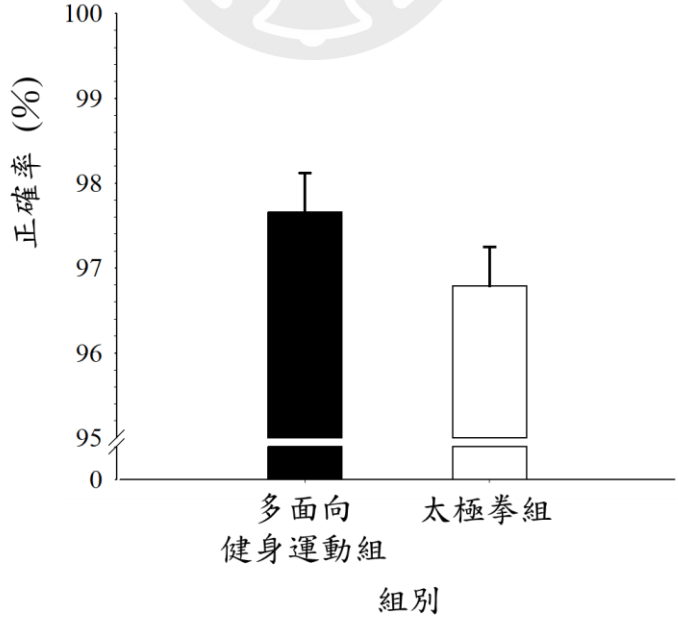

圖 4-4-5 控制後兩組之間在一致情境正確率上的差異

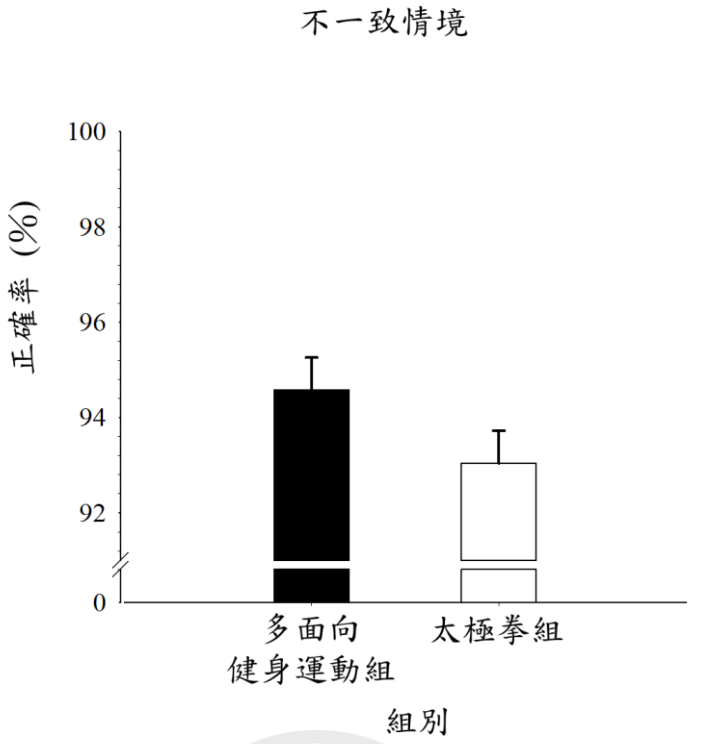

圖 4-4-6 控制後兩組之間在不一致情境正確率上的差異

第五節　多面向健身運動對事件關聯電位 P3 振幅之影響

單因子共變數分析結果顯示，在控制前測表現後，多面向健身運動組與太極拳組之間在叫色測驗中三個情境的 P3 振幅皆無顯著差異，在中性情境 [F (1, 45) = 0.4, p = 0.53, η^2 = 0.009]；一致情境 [F (1, 45) = 0.33, p = 0.57, η^2 = 0.007]；不一致情境 [F (1, 45) = 1.27, p = 0.27, η^2 = 0.03)]。

表 4-5-1 兩組的事件關聯電位之 P3 振幅結果 (M ± SD)

	多面向健身運動組 (n=24)		太極拳組 (n=24)	
	前測	後測	前測	後測
P3 振幅 (μV)				
中性情境	1.42 ± 2.03	1.4 ± 1.99	2.05 ± 2	2.17 ± 2.23
一致情境	1.6 ± 1.97	1.25 ± 2.12	2.18 ± 1.97	1.99 ± 2.37
不一致情境	1.19 ± 1.66	0.84 ± 1.81	1.93 ± 1.79	1.89 ± 2.06

表 4-5-2 控制後兩組之間在 P3 振幅上的差異 (M ± SE)

	多面向健身運動組 (n=24)	太極拳組 (n=24)	F	p	$p.\eta^2$
P3 振幅 (μV)					
中性情境	1.66 (0.28)	1.91 (0.28)	0.4	.53	.01
一致情境	1.49 (0.31)	1.74 (0.31)	0.33	.57	.01
不一致情境	1.14 (0.28)	1.59 (0.28)	1.27	.27	.03

$^{*}p<0.05$；$^{**}p<0.01$

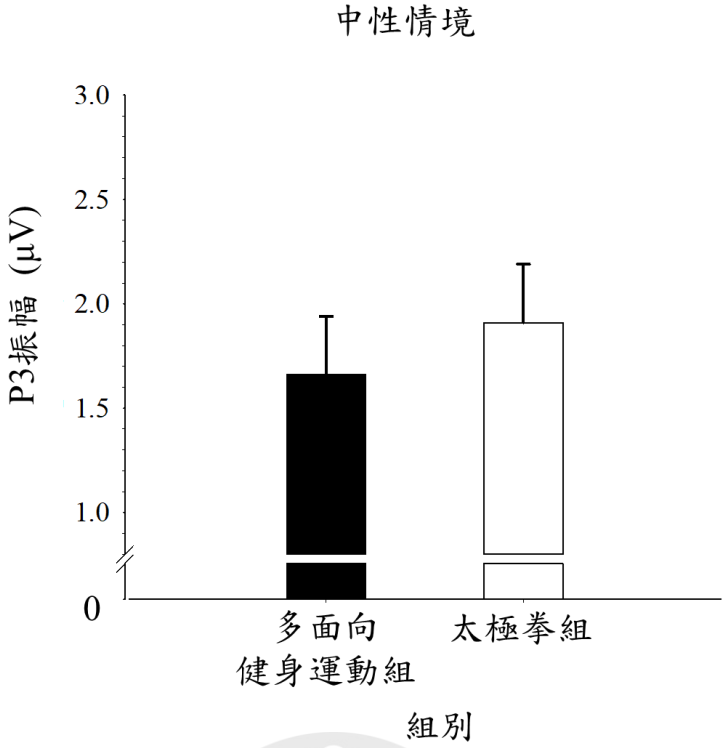

圖 4-5-1 控制後兩組之間在中性情境 P3 振幅上的差異

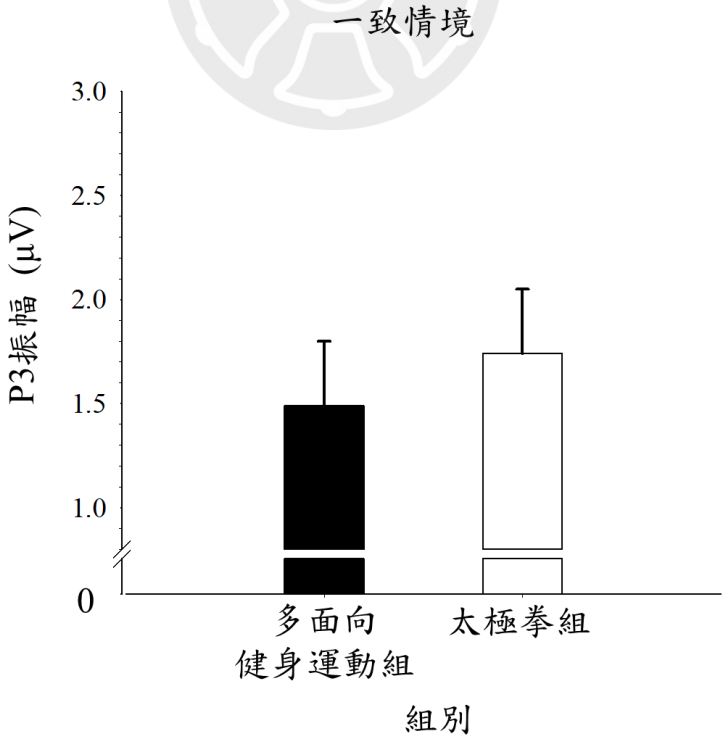

圖 4-5-2 控制後兩組之間在一致情境 P3 振幅上的差異

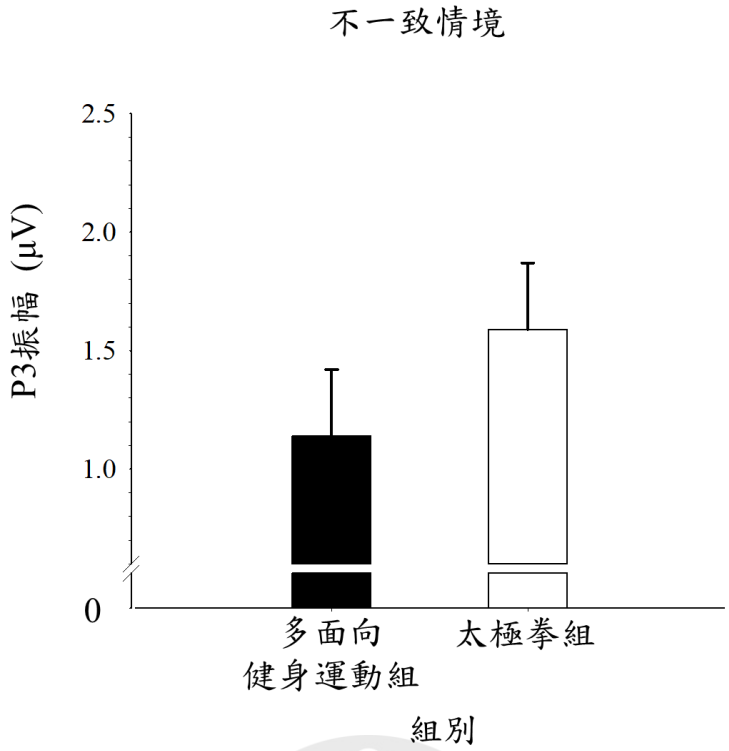

圖 4-5-3 控制後兩組之間在不一致情境 P3 振幅上的差異

第伍章　討論

本章節共分三節：第一節為「多面向健身運動對行為表現之影響」；第二節為「多面向健身運動對事件關聯電位表現之影響」；第三節為「研究限制與未來方向」。

本研究是第一個從行為表現和電生理學角度探討多面向健身運動如何同時影響行為表現與大腦功能的研究。研究主要目的是比較不同成分的多面向健身運動介入對身體適能表現（心肺適能、肌肉適能與柔軟度）、抑制功能表現（反應時間與正確率）以及事件關聯電位（P3 振幅）之影響。主要結果發現在身體適能表現方面，雖在心肺適能上兩組沒有顯著差異，但相較於太極拳組，多面向健身運動組的肌肉適能與柔軟度表現顯著提升。在抑制功能表現上，與太極拳組相比，多面向健身運動組在叫色測驗的所有情境下（中性、一致與不一致）表現出更短的反應時間，但在正確率上兩組之間沒有顯著差異。在事件關聯電位方面，兩組之間在叫色測驗所有情境（中性、一致以及不一致）下的 P3 振幅皆無顯著的差異。

第一節　多面向健身運動對行為表現之影響

一、心肺適能表現

次最大腳踏車運動測驗主要用來推估最大攝氧量 (VO_2 max)，本研究發現多面向健身運動組與太極拳組之間在心肺適能上沒有顯著差異，與過去研究發現不一致。過去研究顯示多面向健身運動對心肺適能有正面的影響，Albinet 等人 (2016) 之研究探討多面向健身運動對於執行功能與心肺適能之影響，結果發現透過 21 周的有氧健身運動結合阻力健身運動的多面向健身運動介入形式可提升老年族群的執行功能與心肺適能。在另一項研究亦有類似的結果，Wu 等人 (2018) 透過多面向健身運動（太極拳）介入來探究其是否對於老年人的心肺適能可以產生正向的影響，該研究使用 6 分鐘步行測試來檢驗老年人的心肺適能。該研究結果顯示相較於

控制組，多面向健身運動組的心肺適能顯著提升。此外，過去研究顯示健身運動與飲食結合對老年人執行功能與心肺適能亦有類似的效益（陳豐慈、詹貴惠、馮勝賢、吳聰義、高士竣、張育愷，2019；Witard & Ball, 2018），Blumenthal 等人 (2019) 以有氧健身運動搭配能夠降低高血壓風險的得舒飲食 (dietary approaches to stop hypertension, DASH) 進行每周 45 分鐘／三次的介入，該研究將參與者分為多面向健身運動組（有氧健身運動與得舒飲食）、有氧健身運動組、得舒飲食組與控制組（無介入）。結果發現相較於其他組別，僅有氧健身運動與得舒飲食兩者搭配的多面向健身運動組在執行功能與心肺適能上具有最大的提升效果，也就是說相較於單一的健身運動或僅有健康因子的介入形式，多面向健身運動對於執行功能與心肺適能可能具有加乘的效果。

然而上述研究結果都與本研究的結果相左，其可能原因為不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組與太極拳組在心肺適能指標上均有提升，以及過去多面向健身運動相關研究的對象大多是老年族群，而本研究是招募年輕族群進行不同成分的多面向健身運動介入，年輕族群在心肺適能表現上處於巔峰狀態，可能存在天花板效應 (ceiling effect) (Hayes, Forman, & Verfaellie, 2016) ，從而導致兩組之間在心肺適能上沒有顯著差異。此外，過去在身體活動指引方針建議每周至少進行五天中等強度有氧健身運動 (Piercy et al., 2018)，然本研究多面向健身運動組每周僅進行一次的中等強度有氧健身運動，次數相對較少，亦可能是兩組之間在心肺適能上沒有顯著差異的原因之一。上述的結果說明，心肺適能、執行功能與多面向健身運動之間存在著關聯性，但可能不是不同成分的多面向健身運動與執行功能之間的調節變項。

二、肌肉適能表現

仰臥起坐主要可以用來評估腹部的肌力與肌耐力。在以 12 周不同成分的多面向健身運動介入，並將前測肌肉適能表現作為共同變量進行控制後，發現多面向健身運動組的肌肉適能相較於太極拳組顯著較佳。過去研究亦發現類似的結果，Park 等人 (2019) 研究探討有無進行多面向健身運動對執行功能以及肌肉適能的影響，該研究以有氧健身運動、伸展以及認知訓練等成分組合進行為期 12 周的介入，結果發現進行多面向健身運動介入後的組別在執行功能與肌肉適能顯著較佳。Imaoka 等人 (2019) 之研究即以介入成分進行分組，分為有氧健身運動組與多面向健身運動組（有氧健身運動、記憶訓練與營養補充等結合），並比較兩種介入形式對執行功能與肌肉適能之影響，結果發現相較於有氧健身運動組，多面向健身運動組在執行功能與肌肉適能表現上均顯著較佳。此外，近期的實證性研究與系統性回顧皆顯示肌肉適能與執行功能呈正相關 (Fortes et al., 2018; Smith et al., 2019)，即相較於低肌肉適能者，高肌肉適能者的執行功能較佳 (Voelcker-Rehage, Godde, & Staudinger, 2010)。這些結果說明多面向健身運動與執行功能之間的影響可能受到肌肉適能的調節，多面向健身運動可能透過提升肌肉適能，從而增進執行功能。

三、柔軟度表現

坐姿體前彎測驗可以用來評估參與者的腿後側肌群與下背關節可活動之範圍，以及肌肉、肌腱與韌帶等組織之彈性或柔軟度。本研究以前測柔軟度表現進行控制後，結果發現兩組之間的柔軟度有顯著差異，相較於太極拳組，多面向健身運動組的柔軟度表現顯著較佳。本研究結果與過去研究類似，Liu 等人 (2018) 針對孩童族群進行多面向健身運動介入，並將該些孩童分為兩組，多面向健身運動組以有氧健身運動、協調訓練以及肌耐力結合（跳繩）與控制組（無介入），

並使用改編版的叫色測驗評估執行功能。研究結果發現柔軟度與執行功能呈現正相關，並與叫色測驗的反應時間呈負相關，顯示柔軟度越好可能會有較佳的執行功能表現。Hötting 等人 (2012) 的研究發現在六個月的多面向健身運動後（柔軟度訓練與協調性訓練）不僅可以提升柔軟度，還能增進抑制功能表現。除此之外，過去研究發現柔軟度與學業表現之間有其關連性 (Wittberg, Northrup, & Cottrel, 2009)，該研究結果顯示柔軟度較佳者會有較好學業表現。綜合上述發現，在多面向健身運動介入後不僅能提升柔軟度，還可以增進執行功能。可惜的是，研究無法直接推估學業表現與執行功能之間的關係，但執行功能是優秀學業表現的基礎，也是執行功能在生活當中實際應用的例子，這些結果說明柔軟度可能存在著促進執行功能的重要資訊。

四、抑制功能表現

叫色測驗經常被用來檢測大腦對基本的訊息處理與干擾抑制等能力，其依據反應時間與正確率作為行為結果的指標。在叫色測驗中，可以透過不同的刺激情境來研究基礎認知功能（一般訊息處理速度、選擇性注意力）與高階認知功能（抑制功能），如中性情境與一致情境可量測基礎的認知功能表現，而不一致情境則能量測抑制功能表現（齊璘、陳豐慈、祝堅恆、張育愷，2014）。本研究的結果發現，在控制前測叫色測驗的反應時間與正確率後，多面向健身運動可以對叫色測驗的反應時間產生正面的效益，兩組之間在反應時間上有顯著的差異，即相較於太極拳組，多面向健身運動組較大幅度的減少了反應時間；而在正確率上，多面向健身運動組與太極拳組之間無顯著的差異，此發現與過去研究的結果相似。

此外，相較於中性情境與一致情境，在不一致情境中兩組的反應時間較長，正確率較低。在不一致情境下對於與任務無關的刺激干擾更強，參與者需要有更

大的反應抑制與衝突解決的能力 (MacLeod, 1991)。本研究結果顯示在不同成分的多面向健身運動介入後，與太極拳組相比多面向健身運動組在不一致情境下的反應時間較短，而較短的反應時間並沒有伴隨兩組之間在正確率上有顯著差異。代表多面向健身運動對於執行功能的正面效益不會受到速度與正確率之間權衡取捨的影響，亦表示本研究實施叫色測驗時的操作適當。過去文獻也支持這樣的結果，Desjardins-Crépeau 等人 (2016) 之研究針對 76 名健康老年人探討有氧、阻力健身運動以及認知訓練組合的多面向健身運動與抑制功能之間的關係。該研究同樣使用叫色測驗量測抑制功能，結果發現與其他兩組相比，多面向健身運動組在不一致情境的反應時間顯著減少，而正確率則無顯著差異。代表多面向健身運動可增進一般處理速度與抑制方面的能力，且類似效益可以在其他抑制功能相關測驗中觀察到，例如隨機數字任務的相關研究，Berryman 等人 (2014) 的研究中針對老年人探討以有氧、阻力健身運動結合認知訓練的多面向健身運動介入在不同情境下（單一與雙重任務）對抑制功能的影響，結果發現在雙重任務情境上，僅有多面向健身運動組的反應時間顯著較短，而正確率在組別之間同樣沒有顯著差異。Ten Brinke 等人 (2020) 以旁側作業探討有氧健身運動與認知訓練結合後對抑制功能的影響，該研究結果發現與其他兩組相比，多面向健身運動組在不一致情境上的反應時間顯著較短。

另外，過去研究發現太極拳對抑制功能有正向的影響 (Adcock et al., 2019; Yang et al., 2019)，而在本研究發現太極拳對於抑制功能的效益較為有限，造成該結果之原因可能係相較於多面向健身運動組，太極拳組之健身運動強度較低。先前亦有研究發現類似的結果，Chang 等人 (2011) 之研究採用組內之實驗設計，以低強度的太極拳進行每周 40 分鐘／兩次的多面向健身運動介入。該研究顯示在介入 15 周後，前測與後測之間的抑制功能表現沒有顯著的差異。說明健身運動強度與持續時間是造成抑制功能表現沒有差異的可能原因，且過去探討健身運動強度

與執行功能間關係之研究顯示兩者之間呈現倒 U 型效益 (inversed-U effect)，意即相較於低強度與高強度的健身運動，中等強度的健身運動介入後可以有最佳的執行功能表現 (McMorris & Hale, 2012)，因此後續研究可針對不同成分的多面向健身運動之劑量反應做進一步探討。

由上述文獻的結果可以發現，不同成分的多面向健身運動皆可促進個體抑制其他無關訊息並提升訊息處理過程的效率，且多面向健身運動介入的形式可能與衝突解決的能力有關聯性。此外，劑量（多面向健身運動強度）可能亦是造成不同成分的多面向健身運動在抑制功能表現上有差異的因素之一。值得注意的是，過去多面向健身運動大都針對老年族群進行探討，而本研究則進一步探討多面向健身運動對於抑制功能的效益是否能擴及年輕族群。根據本研究發現，顯示多面向健身運動不僅能夠改善老年族群的抑制功能，甚至能增進年輕族群的抑制功能。

五、可能機制之神經可塑性

過去研究發現多面向健身運動對抑制功能產生的正面效益可能與某些大腦區域的活化有關，例如背外側前額葉皮質 (dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)、前扣帶迴皮質 (anterior cingulate cortex, ACC) 與內側前額葉皮層 (medial prefrontal cortex, mPFC) 等。DLPFC 是大腦抑制和處理與當前任務無關訊息的關鍵區域，該區域的活化能幫助個體化解如叫色測驗或是旁側作業當中的帶有認知衝突的刺激，從而提升抑制功能 (Kujach et al., 2018)。舉例來說，Wu 等人 (2018) 採用 fMRI 來研究多面向健身運動、執行功能與大腦功能之間的關聯性。結果顯示在多面向健身運動介入後大腦雙邊的 DLPFC 活化增加，且活化增加的組別在執行功能表現上也較為優異。另外，ACC 活化增加能夠影響個體的反應選擇來促進執行功能表現，尤其是在抑制功能方面 (Yeung & Nieuwenhuis, 2009)。除此之外，mPFC

在刺激干擾期間亦扮演抑制控制的重要角色，其可調節帶有認知衝突的訊息 (Song & Hakoda, 2015)。如 Cohen 等人 (2009) 之研究發現 12 周的多面向健身運動介入後，ACC 與 mPFC 兩個大腦區域活化增加，且伴隨著較佳的抑制功能表現。綜合上述之研究結果，可以發現這些大腦區域活化都是進行叫色測驗時主要使用的大腦區域，有助於個體將注意放在與測驗相關的訊息中，並可以在不被刺激干擾的情況下做出正確反應 (Banich, 2009; Rehfeld et al., 2018)。

第二節　多面向健身運動對事件關聯電位表現之影響

事件關聯電位係來自大腦神經元同步活化產生的電位，可用來評估刺激對心理歷程的影響，反映出因特定事件或是刺激所產生的大腦內部活動。此外，事件關聯電位亦是認知神經科學中最成熟的測量方法之一，不僅具有高時間解析度之優點，更因其能夠直接測量神經活動，被視為是探索大腦內隱訊息處理或評估特定心理狀況表現的實用方法（宋岱芬、張育愷、林季燕，2015；Fabiani, Gratton, & Federmeier, 2007）。其中，P3 振幅是事件關聯電位中針對刺激給予反應時產生之內因性成分，亦可稱為刺激鎖定成分，經常被用來評估注意力資源投入程度。過去在大腦神經電位相關研究顯示 P3 振幅的增加與行為表現的提升有關 (Ludyga et al., 2018)。本研究結果顯示在控制前測的事件關聯電位 P3 振幅後，多面向健身運動組與太極拳組之間在叫色測驗之中性、一致以及不一致情境的 P3 振幅皆無顯著差異。

分析過去探討多面向健身運動、執行功能與事件關聯電位之間關聯之研究，Ludyga 等人 (2018) 之研究亦探討多面向健身運動對 P3 成分與執行功能之影響。該研究將 36 名參與者隨機分成多面向健身運動組（有氧健身運動與協調訓練）以及控制組（無介入）。該研究進行每周 20 分鐘／五次，為期 8 周的介入。研究結果顯示多面向健身運動組在認知測驗之一致情境與不一致情境的 P3 振幅皆顯著增加。此外，P3 振幅顯著增加與不一致情境的反應時間降低有關。與上述研究結果相似， Hsieh 等人 (2017) 採用不隨機方式將參與者分為多面向健身運動組（有氧健身運動、阻力健身運動、肌耐力訓練、柔軟度訓練和動作技能訓練）和控制組（無介入），總共進行 8 周、每周 90 分鐘／兩次的介入。結果顯示多面向健身運動組在行為表現上顯著優於控制組。在事件關聯電位方面，相較於控制組多面向健身運動組的 P3 振幅顯著增加。此外，多面向健身運動組的心肺適能、肌肉適能與柔軟度等身體適能皆顯著優於控制組。該研究結果說明多面向健身運動、執行功能與身體適能之間可能存在著關聯性，身體適能的提升有益於執行功能表現，而行為表現之提升可能再進一步的影響大腦功

能，增加了事件關聯電位的 P3 振幅。

上述研究結果說明多面向健身運動對於 P3 振幅有正面的影響，也就是說多面向健身運動可以調節大腦注意力資源的分配，然在 12 周不同成分的多面向健身運動介入後，多面向健身運動組與太極拳組之間雖在 P3 振幅上沒有顯著差異，但多面向健身運動組的行為表現仍顯著優於太極拳組，造成該結果的可能原因為多面向健身運動組與太極拳組之間在行為表現上有顯著的差異，然而這些差異尚未對大腦功能產生明顯的影響。此外，在身體活動指引方針中即明確的指出每周應該要進行 150 分鐘以上的健身運動 (Piercy et al., 2018)，而相較於過去研究，本研究每周 100 分鐘／一次的介入頻率相對較少，導致多面向健身運動組與太極拳組之間在事件關聯電位之 P3 振幅上的差異不明顯，可能在增加每周的介入頻率後，多面向健身運動組與太極拳組之間的 P3 振幅會出現明顯的差異。但在某種程度上，該些可能的原因只是推測性的解釋，因為過去尚無研究比較兩種不同成分的多面向健身運動同時對身體適能、執行功能與事件關聯電位之影響。因此，可能需要後續研究針對不同成分的多面向健身運動對身體適能、執行功能與事件關聯電位做進一步的探究。

第三節　研究限制與未來方向

本研究之優勢在同時探討不同成分的多面向健身運動對於行為表現（身體適能與抑制功能）與大腦神經電位（事件關聯電位之 P3 振幅）之影響，然而本研究設計仍有部分限制。其一，本研究之實驗設計採非隨機分配之分組方式，因此可能無法避免非介入因素而產生的誤差。其二，本研究僅使用叫色測驗作為執行功能表現之結果，因此無法推論不同成分的多面向健身運動對執行功能其他次成分的影響。其三，本研究因配合體育課程時間之緣故，每周僅進行一次的介入， 因此可能無法推估每周更為多次的多面向健身運動介入之效果是否更佳。其四，在研究邏輯上，多面向健身運動組減去與太極拳組之間的成分差異後，兩組間之差異為有氧健身運動與體適能知能，以及不同的健身運動強度，這些差異可能會造成難以確認是何種成分所造成之影響。

鑒於此，過去缺乏不同成分的多面向健身運動對行為表現與大腦神經電位進行探討，建議後續研究可朝以下幾個方向做進一步的探究。其一，未來可以使用隨機對照試驗之實驗設計進行分組，並增加控制組做比較。其二，未來可使用其他認知作業，以確認多面向健身運動對於執行功能其他次成分之影響，例如：N-back 任務、轉換作業或是倫敦塔測驗 (Tower of London test) 等。其三，未來可以增加介入頻率來探討多面向健身運動對於身體適能、執行功能與事件關聯電位之影響，亦可以探究多面向健身運動在不同時間點對於身體適能、執行功能與事件關聯電位之影響。其四，未來在儀器方面，可將腦波（高時間解析度）與磁共振造影（高空間解析度）結合，來探討多面向健身運動介入後執行功能作業對大腦功能的影響。

第陸章　結論

本研究比較不同成分的多面向健身運動對身體適能、抑制功能與事件關聯電位之 P3 振幅之影響，透過 12 周不同成分的多面向健身運動進行介入，結果發現多面向健身運動在肌肉適能、柔軟度以及叫色測驗所有情境中的反應時間等指標上的表現都有所提升，多面向健身運動組的行為表現皆顯著優於太極拳組。雖然兩組之間在本研究所探討的事件關聯電位之 P3 振幅上沒有顯著差異，但多面向健身運動可以顯著提升行為表現，增進身體適能與抑制功能。因此，本研究結果有利於提供增進年輕族群之身體適能與抑制功能等方面的運動處方，並鼓勵年輕族群規律的從事包含多種面向的健身運動，以幫助其提升不同面向的身體適能與認知表現。

引用文獻

王駿濠、蔡佳良 (2011)。運動對改善大腦認知功能之效益評析。*應用心理研究，50*，191-216。

宋岱芬、張育愷、林季燕 (2015)。肥胖與體適能對孩童認知功能之影響。*中華體育季刊，29*，229-236。

張育愷、洪巧菱 (2010)。身體活動與認知功能：對當代統合分析之回顧。*國際競技與健身運動心理學期刊，8*，491-511。

張育愷、吳聰義 (2011)。急性健身運動對認知功能的影響事件相關電位的文獻回顧。*體育學報，44*，1-28。

陳豐慈、黃植懋、王俊智、張育愷 (2018)。身體活動與老年大腦功能：功能性磁共振造影的研究回顧。*教育心理學報，50*，363-388。

陳豐慈、張育愷、齊璘 (2018)。健身運動對倫敦塔作業之影響：文獻回顧與未來展望。*中華體育季刊，32*，63-73。

陳豐慈、詹貴惠、馮勝賢、吳聰義、高士竣、張育愷 (2019)。新觀點：健身運動與營養補充劑對認知老化之影響。*體育學報，52*，1-15。

齊璘、陳豐慈、祝堅恆、張育愷 (2014)。男大專生身體適能與認知功能之關聯。*大專體育學刊，16*，311-320。

蕭方慈、陳豐慈、念裕祥、林季燕、楊高騰、張育愷 (2021)。多面向健身運動訓練與老年人認知功能之文獻回顧。*臺灣運動心理學報，1*，1-20。

闕廷宇、謝漱石、黃崇儒、洪聰敏 (2016)。健身運動與工作記憶之文獻回顧－以研究方式及年齡層觀點探討。*臺灣運動心理學報，16*，119-149。

Adcock, M., Fankhauser, M., Post, J., Lutz, K., Zizlsperger, L., Luft, A. R., . . . de Bruin, E. D. (2019). Effects of an in-home multicomponent exergame training on physical

functions, cognition, and brain volume of older adults: A randomized controlled trial. *Frontiers in Medicine, 6*, 321.

Albinet, C. T., Abou-Dest, A., André, N., & Audiffren, M. (2016). Executive functions improvement following a 5-month aquaerobics program in older adults: Role of cardiac vagal control in inhibition performance. *Biological Psychology, 115*, 69-77.

Anderson, M. C., & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410*, 366-369.

Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science, 18*, 89-94.

Banich, M. T., Milham, M. P., Atchley, R., Cohen, N. J., Webb, A., Wszalek, T., . . . Magin, R. (2000). fMRI studies of Stroop tasks reveal unique roles of anterior and posterior brain systems in attentional selection. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 988-1000.

Berryman, N., Bherer, L., Nadeau, S., Lauzière, S., Lehr, L., Bobeuf, F., . . . Bosquet, L. (2014). Multiple roads lead to rome: Combined high-intensity aerobic and strength training vs. gross motor activities leads to equivalent improvement in executive functions in a cohort of healthy older adults. *Age, 36*, 9710.

Blumenthal, J. A., Smith, P. J., Mabe, S., Hinderliter, A., Lin, P. H., Liao, L., . . . Sherwood, A. (2019). Lifestyle and neurocognition in older adults with cognitive impairments: A randomized trial. *Neurology, 92*, e212-e223.

Boa Sorte Silva, N. C., Gill, D. P., & Petrella, R. J. (2020). A scoping review of multiple-modality exercise and cognition in older adults: Limitations and future directions. *Current Sports Medicine Reports, 19*, 298-325.

Bouaziz, W., Lang, P. O., Schmitt, E., Kaltenbach, G., Geny, B., & Vogel, T. (2016). Health benefits of multicomponent training programmes in seniors: A systematic review. *International Journal of Clinical Practice, 70*, 520-536.

Cardenas, V. A., Chao, L. L., Studholme, C., Yaffe, K., Miller, B. L., Madison, C., . . .

Weiner, M. W. (2011). Brain atrophy associated with baseline and longitudinal measures of cognition. *Neurobiology of Aging, 32*, 572-580.

Chang, J. Y., Tsai, P. F., Beck, C., Hagen, J. L., Huff, D. C., Anand, K. J., . . . Beuscher, L. (2011). The effect of tai chi on cognition in elders with cognitive impairment. *Medsurg Nursing : Official journal of the Academy of Medical-Surgical Nurses, 20*, 63-69.

Chang, Y. K., Chu, I. H., Liu, J. H., Wu, C. H., Chu, C. H., Yang, K. T., & Chen, A. G. (2017). Exercise modality is differentially associated with neurocognition in older adults. *Neural Plasticity, 2017*, 3480413.

Chang, Y. K., Nien, Y. H., Chen, A. G., & Yan, J. (2014). Tai ji quan, the brain, and cognition in older adults. *Journal of Sport and Health Science, 3*, 36-42.

Chen, F. T., Etnier, J. L., Chan, K. H., Chiu, P. K., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2020). Effects of exercise training interventions on executive function in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine, 50*, 1451-1467.

Chen, F. T., Hopman, R. J., Huang, C. J., Chu, C. H., Hillman, C. H., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2020). The effect of exercise training on brain structure and function in older adults: A systematic review based on evidence from randomized control trials. *Journal of Clinical Medicine, 9*.

Cheng, S. T. (2016). Cognitive reserve and the prevention of dementia: The role of physical and cognitive activities. *Current Psychiatry Reports, 18*, 85.

Cohen, D. L., Wintering, N., Tolles, V., Townsend, R. R., Farrar, J. T., Galantino, M. L., & Newberg, A. B. (2009). Cerebral blood flow effects of yoga training: Preliminary evaluation of 4 cases. *Journal of Alternative and Complementary Medicine, 15*, 9-14.

Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: Frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology, 10*, e1001293.

Coubard, O. A., Duretz, S., Lefebvre, V., Lapalus, P., & Ferrufino, L. (2011). Practice of contemporary dance improves cognitive flexibility in aging. *Frontiers in Aging*

Neuroscience, *3*, 13.

Dai, C. T., Chang, Y. K., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2013). Exercise mode and executive function in older adults: An ERP study of task-switching. *Brain and Cognition, 83*, 153-162.

Desjardins-Crépeau, L., Berryman, N., Fraser, S. A., Vu, T. T., Kergoat, M. J., Li, K. Z., . . . Bherer, L. (2016). Effects of combined physical and cognitive training on fitness and neuropsychological outcomes in healthy older adults. *Clinical Interventions in Aging, 11*, 1287-1299.

Di Russo, F., Martínez, A., Sereno, M. I., Pitzalis, S., & Hillyard, S. A. (2002). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping, 15*, 95-111.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135-168.

Dohle, S., Diel, K., & Hofmann, W. (2018). Executive functions and the self-regulation of eating behavior: A review. *Appetite, 124*, 4-9.

Fabiani, M., Gratton, G., & Federmeier, K. D. (2007). Event-related brain potentials: Methods, theory, and applications. *Handbook of psychophysiology*, 53-84.

Falck, R. S., Davis, J. C., Best, J. R., Crockett, R. A., & Liu-Ambrose, T. (2019). Impact of exercise training on physical and cognitive function among older adults: A systematic review and meta-analysis. *Neurobiology of Aging, 79*, 119-130.

Forte, R., Boreham, C. A. G., Leite, J. C., De Vito, G., Brennan, L., Gibney, E. R., & Pesce, C. (2013). Enhancing cognitive functioning in the elderly: Multicomponent vs resistance training. *Clinical Interventions in Aging, 8*, 19.

Fortes, L. S., Costa, M. D. C., Perrier-Melo, R. J., Brito-Gomes, J. L., Nascimento-Júnior, J. R. A., de Lima-Júnior, D., & Cyrino, E. S. (2018). Effect of volume in resistance training on inhibitory control in young adults: A randomized and crossover investigation. *Frontiers in Psychology, 9*, 2028.

Foverskov, E., Glymour, M. M., Mortensen, E. L., Holm, A., Lange, T., & Lund, R. (2018). Education and cognitive aging: Accounting for selection and confounding in linkage of data from the Danish registry and survey of health, ageing and retirement in Europe. *American Journal of Epidemiology, 187*, 2423-2430.

Funahashi, S. (2001). Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex. *Neuroscience Research, 39*, 147-165.

Gajewski, P. D., Ferdinand, N. K., Kray, J., & Falkenstein, M. (2018). Understanding sources of adult age differences in task switching: Evidence from behavioral and ERP studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 92*, 255-275.

Hötting, K., Reich, B., Holzschneider, K., Kauschke, K., Schmidt, T., Reer, R., . . . Röder, B. (2012). Differential cognitive effects of cycling versus stretching/coordination training in middle-aged adults. *Health Psychology, 31*, 145-155.

Hayes, S. M., Forman, D. E., & Verfaellie, M. (2016). Cardiorespiratory fitness is associated with cognitive performance in older but not younger adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences, 71*, 474-482.

Herrmann, D. J., Yoder, C. Y., Gruneberg, M., & Payne, D. G. (2006). *Applied cognitive psychology: A textbook*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Hsieh, S. S., Lin, C. C., Chang, Y. K., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2017). Effects of childhood gymnastics program on spatial working memory. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 49*, 2537-2547.

Huettel, S. A., & McCarthy, G. (2004). What is odd in the oddball task?: Prefrontal cortex is activated by dynamic changes in response strategy. *Neuropsychologia, 42*, 379-386.

Imaoka, M., Nakao, H., Nakamura, M., Tazaki, F., Maebuchi, M., Ibuki, M., & Takeda, M. (2019). Effect of multicomponent exercise and nutrition support on the cognitive function of older adults: A randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging, 14*, 2145-2153.

Iuliano, E., di Cagno, A., Aquino, G., Fiorilli, G., Mignogna, P., Calcagno, G., & Di

Costanzo, A. (2015). Effects of different types of physical activity on the cognitive functions and attention in older people: A randomized controlled study. *Experimental Gerontology, 70*, 105-110.

Kao, S. C., Cadenas-Sanchez, C., Shigeta, T. T., Walk, A. M., Chang, Y. K., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2020). A systematic review of physical activity and cardiorespiratory fitness on P3b. *Psychophysiology, 57*, e13425.

Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: Influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in Cognitive Sciences, 11*, 342-348.

Kueper, J. K., Speechley, M., Lingum, N. R., & Montero-Odasso, M. (2017). Motor function and incident dementia: A systematic review and meta-analysis. *Age Ageing, 46*, 729-738.

Kuiper, J. S., Zuidersma, M., Zuidema, S. U., Burgerhof, J. G., Stolk, R. P., Oude Voshaar, R. C., & Smidt, N. (2016). Social relationships and cognitive decline: A systematic review and meta-analysis of longitudinal cohort studies. *International Journal of Epidemiology, 45*, 1169-1206.

Kujach, S., Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Fukuie, T., Laskowski, R., . . . Soya, H. (2018). A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *Neuroimage, 169*, 117-125.

Lambiase, M. J., Gabriel, K. P., Kuller, L. H., & Matthews, K. A. (2014). Sleep and executive function in older women: The moderating effect of physical activity. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences, 69*, 1170-1176.

Lauenroth, A., Ioannidis, A. E., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: A systematic review. *BMC Geriatrics, 16*, 141.

Laurens, K. R., Kiehl, K. A., & Liddle, P. F. (2005). A supramodal limbic-paralimbic-neocortical network supports goal-directed stimulus processing. *Human Brain Mapping, 24*, 35-49.

Ligeza, T. S., Maciejczyk, M., Kałamała, P., Szygula, Z., & Wyczesany, M. (2018). Moderate-intensity exercise boosts the N2 neural inhibition marker: A randomized and counterbalanced ERP study with precisely controlled exercise intensity. *Biological Psychology, 135*, 170-179.

Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L. S., Graf, P., Beattie, B. L., Ashe, M. C., & Handy, T. C. (2010). Resistance training and executive functions: A 12-month randomized controlled trial. *Archives of Internal Medicine, 170*, 170-178.

Liu, J. H., Alderman, B. L., Song, T. F., Chen, F. T., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2018). A randomized controlled trial of coordination exercise on cognitive function in obese adolescents. *Psychology of Sport and Exercise, 34*, 29-38.

Lox, C. L., Ginis, K. A. M., & Petruzzello, S. J. (2016). *The psychology of exercise: Integrating theory and practice*. Taylor and Francis.

Ludyga, S., Gerber, M., Kamijo, K., Brand, S., & Pühse, U. (2018). The effects of a school-based exercise program on neurophysiological indices of working memory operations in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport, 21*, 833-838.

Ludyga, S., Gerber, M., Pühse, U., Looser, V. N., & Kamijo, K. (2020). Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals. *Nature Human Behaviour*, 1-10.

MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin, 109*, 163-203.

McCarthy, G., Luby, M., Gore, J., & Goldman-Rakic, P. (1997). Infrequent events transiently activate human prefrontal and parietal cortex as measured by functional MRI. *Journal of Neurophysiology, 77*, 1630-1634.

McClelland, M. M., Acock, A. C., Piccinin, A., Rhea, S. A., & Stallings, M. C. (2013). Relations between preschool attention span-persistence and age 25 educational outcomes. *Early Childhood Research Quarterly, 28*, 314-324.

McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute

exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition, 80*, 338-351.

Mortimer, J. A., Ding, D., Borenstein, A. R., DeCarli, C., Guo, Q., Wu, Y., . . . Chu, S. (2012). Changes in brain volume and cognition in a randomized trial of exercise and social interaction in a community-based sample of non-demented Chinese elders. *Journal of Alzheimer's Disease: JAD, 30*, 757-766.

Nelson, E. E., Leibenluft, E., McClure, E. B., & Pine, D. S. (2005). The social re-orientation of adolescence: A neuroscience perspective on the process and its relation to psychopathology. *Psychological Medicine, 35*, 163-174.

Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Research Reviews, 53*, 100912.

Niemann, C., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience, 6*, 170.

Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology, 24*, 375-425.

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*, 154-160.

Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Nozawa, T., Kambara, T., . . . Kawashima, R. (2013). Brain training game boosts executive functions, working memory and processing speed in the young adults: A randomized controlled trial. *PLoS One, 8*, e55518.

Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Sekiguchi, A., Hashizume, H., Nozawa, T., . . . Kawashima, R. (2014). Four weeks of combination exercise training improved executive functions, episodic memory, and processing speed in healthy elderly people:

Evidence from a randomized controlled trial. *Age, 36*, 787-799.

Okada, Y. C., Kaufman, L., & Williamson, S. J. (1983). The hippocampal formation as a source of the slow endogenous potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 55*, 417-426.

Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging, 17*, 299-320.

Park, H., Park, J. H., Na, H. R., Hiroyuki, S., Kim, G. M., Jung, M. K., . . . Park, K. W. (2019). Combined intervention of physical activity, aerobic exercise, and cognitive exercise intervention to prevent cognitive decline for patients with mild cognitive impairment: A randomized controlled clinical study. *Journal of Clinical Medicine, 8*, 940.

Pettigrew, C., & Soldan, A. (2019). Defining cognitive reserve and implications for cognitive aging. *Current Neurology and Neuroscience Reports, 19*, 1.

Piercy, K. L., Troiano, R. P., Ballard, R. M., Carlson, S. A., Fulton, J. E., Galuska, D. A., . . . Olson, R. D. (2018). The physical activity guidelines for americans. *JAMA, 320*, 2020-2028.

Plassman, B. L., Williams, J. W., Jr., Burke, J. R., Holsinger, T., & Benjamin, S. (2010). Systematic review: Factors associated with risk for and possible prevention of cognitive decline in later life. *Annals of Internal Medicine, 153*, 182-193.

Prehn, K., Lesemann, A., Krey, G., Witte, A. V., Köbe, T., Grittner, U., & Flöel, A. (2019). Using resting-state fMRI to assess the effect of aerobic exercise on functional connectivity of the DLPFC in older overweight adults. *Brain and Cognition, 131*, 34-44.

Rehfeld, K., Lüders, A., Hökelmann, A., Lessmann, V., Kaufmann, J., Brigadski, T., . . . Müller, N. G. (2018). Dance training is superior to repetitive physical exercise in inducing brain plasticity in the elderly. *PLoS One, 13*, e0196636.

Roldán-Tapia, M. D., Cánovas, R., León, I., & García-Garcia, J. (2017). Cognitive vulnerability in aging may be modulated by education and reserve in healthy people. *Frontiers in Aging Neuroscience, 9*, 340.

Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science, 283*, 1657-1661.

Smith, J. J., Eather, N., Weaver, R. G., Riley, N., Beets, M. W., & Lubans, D. R. (2019). Behavioral correlates of muscular fitness in children and adolescents: A systematic review. *Sports Medicine, 49*, 887-904.

Sáez de Asteasu, M. L., Martínez-Velilla, N., Zambom-Ferraresi, F., Casas-Herrero, Á., & Izquierdo, M. (2017). Role of physical exercise on cognitive function in healthy older adults: A systematic review of randomized clinical trials. *Ageing Research Reviews, 37*, 117-134.

Song, Y., & Hakoda, Y. (2015). An fMRI study of the functional mechanisms of Stroop/reverse-Stroop effects. *Behavioural Brain Research, 290*, 187-196.

Stern, Y., MacKay-Brandt, A., Lee, S., McKinley, P., McIntyre, K., Razlighi, Q., . . . Sloan, R. P. (2019). Effect of aerobic exercise on cognition in younger adults: A randomized clinical trial. *Neurology, 92*, e905-e916.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 643.

Ten Brinke, L. F., Best, J. R., Chan, J. L. C., Ghag, C., Erickson, K. I., Handy, T. C., & Liu-Ambrose, T. (2020). The effects of computerized cognitive training with and without physical exercise on cognitive function in older adults: An 8-week randomized controlled trial. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and Medical Sciences, 75*, 755-763.

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.

Vedovelli, K., Giacobbo, B. L., Corrêa, M. S., Wieck, A., de Lima Argimon, I. I., & Bromberg, E. (2017). Multimodal physical activity increases brain-derived neurotrophic factor levels and improves cognition in institutionalized older women. *Geroscience, 39*, 407-417.

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*, 973-979.

Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience, 31*, 167-176.

Witard, O. C., & Ball, D. (2018). The interaction between nutrition and exercise for promoting health and performance. *The Proceedings of the Nutrition Society, 77*, 1-3.

Wittberg, R. A., Northrup, K. L., & Cottrel, L. (2009). Children's physical fitness and academic performance. *American Journal of Health Education, 40*, 30-36.

Woods, D. L. (1995). The component structure of the N1 wave of the human auditory evoked potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 44*, 102-109.

Wu, M. T., Tang, P. F., Goh, J. O. S., Chou, T. L., Chang, Y. K., Hsu, Y. C., . . . Lan, C. (2018). Task-switching performance improvements after tai chi chuan training are associated with greater prefrontal activation in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience, 10*, 280.

Yang, Y., Chen, T., Shao, M., Yan, S., Yue, G. H., & Jiang, C. (2019). Effects of tai chi chuan on inhibitory control in elderly women: An fNIRS study. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, 476.

Yeung, N., & Nieuwenhuis, S. (2009). Dissociating response conflict and error likelihood in anterior cingulate cortex. *The Journal of Neuroscience, 29*, 14506-14510.

Zahodne, L. B., Mayeda, E. R., Hohman, T. J., Fletcher, E., Racine, A. M., Gavett, B., . . . Mungas, D. (2019). The role of education in a vascular pathway to episodic memory: Brain maintenance or cognitive reserve? *Neurobiology of Aging, 84*, 109-118.