國立臺灣師範大學運動與休閒學院體育與運動科學系

碩士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響

Acute Effect of Caffeine Supplementation on Cognitive Function and 10-km Running Performance

陳 宥 澄

Yau-Ching Chan

指導教授：王 鶴 森 博士

Advisor: Ho-Seng Wang, Ph.D.

中華民國 112 年 2 月

February 2023

謝辭

兩年半的時間，不長亦不短，在研究所這段既艱辛又有充滿挑戰的日子裡，幸好有你們一路相伴。受疫情影響，無法回家的時間裡，你們就像我的家人一樣，所有對我的幫助，我將銘記在心。

首先，很感謝我的指導教授鶴森老師，從發掘研究問題到論文撰寫，以至論文口試，老師總是循循善誘，帶領我突破思想的盲點，指出我的不足。所謂進一所好學校，不如遇到一位好老師。同時，感謝勇志老師及崇儒老師在口試上提出的見解，讓我從不同角度思考我的論文，也提醒我口試只不過是讓我更瞭解自己研究的一個過程，在答辯時我應該要對自己更有信心，我想這在我以後人生中仍會受用。

謝謝實驗室的同伴，雖然跟你們相處的時間不多，但卻是重要的一群人。易珊學姐及婷姿學姐，在實驗過程中都很照顧我，也樂於解答我的疑問，跟你們一起做實驗真的很歡樂。雅淳學姊不但給予很多實驗的建議及遇到問題時的處理方式，亦提供我很多跟老師溝通及論文用詞上要注意的地方。當然，還有希捷幫忙口試時的佈置及紀錄。

謝謝大學的貴福老師，指導我發想申請研究所的研究計畫，介紹我認識運動科學領域的師資，分析不同學校的優缺點，並為我撰寫推薦信，去除我前往師大的障礙，亦很關心我到師大後的狀況。同時，也謝謝我的大學同學泯綺、淮羽及以琳。在我遇到困難的時候一起討論，提供我不同的看法，在我遇到瓶頸的時候，帶我從研究的泥沼中抽離，去不同的地方散散心，充滿能量重新出發。

最後謝謝我的家人，給予我經濟上的支援，減輕我生活上的負擔，也時常鼓勵我，相信我能順利完成學業，讓我一路走得更加堅定。同時，感謝自己撐過來了，也許有些做得不夠好的地方，但我相信你盡力了。未來的路我也會謹記在研究所學到的一切，努力成為更好的自己。

陳宥澄 謹致

2023 年 2 月

咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響

2023 年 2 月

研究生：陳宥澄
指導教授：王鶴森

摘要

背景：過去已有統合分析指出運動對於認知功能具有正面的效果，同時也有研究指出咖啡因不但可以改善運動表現，也有助於提升認知功能，惟目前對於固定距離的最大努力運動結合咖啡因增補對認知功能之影響仍有待釐清。**目的：**探討咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響。**方法：**招募 10 名健康男性，採雙盲、重覆量數且平衡次序方式進行兩次實驗處理，分別於增補每公斤體重 6 毫克咖啡因或安慰劑 45 分鐘後，進行 10 公里跑步計時測驗，且在咖啡因增補前、增補後 40 分鐘及跑步計時測驗結束後立即進行叫色測驗。**結果：**運動前增補咖啡因能顯著減短 10 公里跑步之完成時間 (咖啡因 vs. 安慰劑：49.03 ± 6.36 mins vs. 50.80 ± 7.40 mins)($p < .05$)，且運動過程中之心跳率及自覺努力程度與安慰劑處理間無顯著差異。在認知功能方面，增補咖啡因在運動後及增補後 40 分鐘顯著提升不一致情境中之正確率 (運動後 vs. 增補後 vs. 增補前：92.90 ± 6.44 % vs. 91.10 ± 7.37 % vs. 84.50 ± 9.34 %)($p < .05$)。不論一致情境或不一致情境運動後之反應時間皆顯著低於增補後，增補後亦顯著低於增補前(一致性情境：454.53 ± 15.00 ms vs. 491.94 ± 17.71 ms vs. 515.78 ± 18.27 ms；不一致性情境：498.08 ± 22.02 ms vs. 529.80 ± 27.19 ms vs. 555.66 ± 27.92 ms) ($p < .05$)，且增補咖啡因亦顯著降低不一致情境中之反應時間 (咖啡因 vs. 安慰劑：513.79 ± 27.31 ms vs. 541.91 ± 24.41 ms)($p < .05$)。**結論：**增補咖啡因能有效提升 10 公里跑步計時測驗運動表現，且咖啡因可以提升不一致情境的正確率及縮短反應時間，但結合最大努力運動對正確率及反應時間並沒有加成的效果。

關鍵字：增補劑、反應時間、抑制控制、執行功能、耐力運動

Acute Effect of Caffeine Supplementation on Cognitive Function and 10-km Running Performance

February, 2023

Author: CHAN, Yau-Ching
Advisor: WANG, Ho-Seng

Abstract

Background: The previous meta-analysis has identified that exercise has a positive effect on cognitive function. Studies also found that caffeine not only can enhance physical performance but also improve cognitive function. However, the effect of fixed-distance maximal effort exercise combined with caffeine supplementation on cognitive function still unclear. **Purpose:** This study aimed to investigate the effect of caffeine supplementation on cognitive function and 10-km running time trial performance. **Method:** 10 healthy males were recruited. Before 45 minutes 10-km running time trial was performed, each participate were supplemented with either caffeine (6 mg/kg) or placebo in a double-blind, repeated and counterbalanced design. Stroop test was performed before supplementation, 40 minutes after supplementation, and immediately after the running. **Results:** Caffeine supplementation shorter the completion time of a 10-km running time trial (CAF vs. PLA: 49.03 ± 6.36 mins vs. 50.80 ± 7.40 mins)($p < .05$), and there is no difference in heart rate and RPE between trials. In cognitive function, caffeine supplementation improves accuracy in incongruent conditions after exercise (post-ex vs. post-s vs. pre-s: 92.90 ± 6.44 % vs. 91.10 ± 7.37 % vs. 84.50 ± 9.34 %)($p < .05$). Regardless of the congruent or incongruent condition, the reaction time after exercise is significantly faster than post-supplementation, and post-supplementation significantly faster than pre-supplementation (congruent condition: 454.53 ± 15.00 ms vs. 491.94 ± 17.71 ms vs. 515.78 ± 18.27 ms; incongruent condition: 498.08 ± 22.02 ms vs. 529.80 ± 27.19 ms vs. 555.66 ± 27.92 ms) ($p < .05$), and caffeine supplementation also reduces reaction times in incongruent condition (CAF

vs. PLA: 513.79 ± 27.31 ms vs. 541.91 ± 24.41 ms)($p < .05$). **Conclusion:** Caffeine not only improves 10-km running time trial performance but also improves the accuracy and shorten the reaction time of incongruent condition. However, combined with maximum effort exercise has no synergistic effect on the accuracy and reaction time.

Key words: ergogenic aids, reaction time, inhibitory control, executive function, endurance exercise

目　次

表　次

圖　次

第壹章　緒論

第一節　研究背景

認知功能為訊息處理的內在歷程，其涵蓋學習、記憶、注意力、知覺、判斷、語言以及執行功能等（王俊智、宋岱芬、祝堅恆、張育愷，2016）。注意力和訊息處理速度等為由下而上且自動化的低階認知功能，主要依賴感覺輸入（刺激）和輸出（反應）之間直接的交互作用，涉及視丘 (thalamus)、額葉 (frontal lobe) 及頂葉 (parietal lobe) (Einöther & Giesbrecht, 2013; Fan et al., 2005)；執行功能 (executive function, EF) 為由上而下的高階認知功能，是以靈活的方式協調控制不同信息去完成特定目標的能力 (Funahashi, 2001)，涉及前額葉皮質 (prefrontal cortex, PFC) 與前扣帶皮層 (anterior cingulate cortex，ACC) 等腦區 (Fan et al., 2003; Koppelstaetter et al., 2008)。認知功能不僅對個體日常生活工作的效率具有重大影響，在不少運動中，例如團隊運動或定向越野等，除了需要良好的技術及體能外，緊急思考應變能力對運動表現也不可或缺。

隨著人們健康意識逐漸提升，帶動運動風氣，規律運動人口也從 98 年佔總人口 24.4%，增長至 109 年的 33.0%（教育部體育署，2021），其中應該以對技能及器材水平要求較低的有氧運動較為大眾所熟悉。Bento-Torres 等 (2019) 研究指出，較高的心肺適能、中至高強度身體活動量與 ACC 的厚度有關；同時，ACC 的厚度又與個體抑制控制 (inhibitory control) 表現之變異性有關，另外個體在認知表現的變異性是 EF 的重要指標，也是記憶力衰退、失智症 (dementia) 及死亡的潛在預測因子，即顯示規律運動對大腦健康及認知功能有重要影響。先前已有統合分析研究指出，單次有氧運動對認知功能具有正面的效果，且在不同年齡層跟健康狀態皆能觀察到認知功能改善，尤其以中等強度運動與提升訊息處理 (information processing)、注意力 (attention) 及 EF 表現的證據較多 (Chang et al., 2012)。在阻力運動，研究指出單次阻力運動能提升抑制控制及認知彈性 (cognitive flexibility) 的表現，且與單次有氧運動所引起之認知表現提升並無差異 (Wilke et al., 2019)，顯示不論參與有氧運動或阻力運動都能改善認知功能，其中可能的機制是

運動透過提升大腦血流量與氧合能力、增加兒茶酚胺 (catecholamine) 及腦源性神經滋養因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 分泌 (Moriarty et al., 2019)，活化與認知功能相關之腦區，進而提升認知功能。

咖啡因在化學結構上與腺苷 (adenosine) 相似，主要透過抑制腺苷與 A1、A2A 腺苷受體結合引起生理反應，作為運動增補劑 (ergogenic aids) 一直是相當熱門的研究主題，過去的研究結果顯示在運動前一個小時增補每公斤體重 3 至 6 毫克的咖啡因，有助於提升有氧運動 (Southward et al., 2018) 及肌力與爆發力表現 (Grgic et al., 2018)。由於咖啡因可提升運動表現，且負面影響低，高達 75% 的運動員會在比賽前攝取咖啡因，以獲得增補效益 (Aguilar-Navarro et al., 2019)。不僅是運動員，現今社會許多人都有飲用咖啡提神的習慣，且日常飲食中多種食物也含有咖啡因，如各式茶類、巧克力及能量飲料等，易於取得，也容易在不知不覺間攝取。咖啡因除了能提升運動表現，文獻回顧指出攝取低劑量（約 40 毫克或每公斤體重 0.5 毫克）至中劑量（約 300 毫克或每公斤體重 4 毫克）的咖啡因能有效提升警覺 (vigilance)、注意力及訊息處理等認知功能 (McLellan, Caldwell, & Lieberman, 2016)，顯示於運動前增補咖啡因應不只能夠提升運動表現，同時，在認知方面亦能獲得改善。

基於咖啡因不但有助提升運動表現，亦能改善認知功能，且於運動競賽中運動能力與認知功能皆為致勝關鍵，因此研究開始探討咖啡因增補結合運動後對認知功能及運動表現之影響。另外，已知運動與咖啡因都能夠有效提升認知功能，且所涉及之機制有所不同，但過往探討咖啡因增補結合運動後對認知功能及運動表現之研究主要以固定時間及強度的有氧運動為主。在真實情境中不大可能一直維持固定的速度，且沒有主流運動項目是以固定時間及強度的有氧運動來衡量運動表現，加上目前並沒有研究以最大努力運動的方式探討運動結合咖啡因增補對認知功能是否具有加成效應。因此本研究採用 10 公里跑步計時測驗的方法，模擬真實情境中的情況，探討運動結合咖啡因增補對認知功能是否具有加成效應。

第二節　研究目的

本研究旨在探討咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響。

第三節　研究假設

基於上述研究目的，本研究的研究假設如下：

一、 增補咖啡因會顯著提升 10 公里跑步計時測驗之運動表現及叫色測驗之正確率和反應時間。

二、 10 公里跑步會顯著改善叫色測驗之正確率及反應時間。

三、 10 公里跑步結合咖啡因增補對叫色測驗之正確率及反應時間具有加成效果。

第四節　操作性名詞定義解釋

一、 單次有氧運動

本研究之有氧運動係指在原地跑步機進行 10 公里跑步計時測驗，為模擬現實狀況，跑步機之坡度固定設為 1%，其間參與者可任意調整跑步速率。

二、 咖啡因增補

本研究之咖啡因增補係指採每公斤體重 6 毫克之劑量，於有氧運動前 45 分鐘，以膠囊形式進行增補。

三、 認知功能

本研究之認知功能以叫色測驗 (stroop test) 檢測參與者在一致情境與不一致情境中之正確率與反應時間。

四、 健康男性

本研究之健康男性係指年齡介於 20 到 35 歲，身體質量指數 (body mass index, BMI) 介於 18.5 至 27 kg/m^2，無醫師診斷為不適運動者，有規律運動習慣且具有一小時內完成十公里跑步之能力。

第五節　研究範圍與限制

一、 本研究以有規律運動且低咖啡因攝取習慣之健康男性為研究參與者，年齡介於 20 至 35 歲，所得之結果僅能推估至具有相同條件之族群上。

二、 本研究以訊息處理與抑制控制作為認知功能之指標，所得之結果可能無法推論到其他面向之認知功能。

三、 本研究之實驗於早上六時至十時之間進行，所得之結果可能無法推論到其他實驗時間。

四、 本研究並無控制參與者日常飲食、運動及睡眠習慣，以上資料僅紀錄作參考，所得之結果可能無法排除參與者間個體習慣之差異。

第貳章　文獻探討

第一節　單次運動對認知功能之影響

過去在單次運動與認知功能之間的相關議題已經被廣泛探討，不僅敘述性綜評，更在統合分析中發現兩者之間存在正向關係 (Chang et al., 2012)。已知影響運動與認知功能的因素包括運動強度、運動持續時間、測驗種類、測驗時間、個體體能水準等。Chang 等 (2012) 指出，若在運動後立即（0～15 分鐘）檢測認知功能，極輕度 (< 50% HRmax) 至中等強度 (64 ~ 76% HRmax) 運動對訊息處理、注意力、晶體智力 (crystallized intelligence) 及 EF 等認知功能產生正面的效果；若在運動後短暫延遲（>15 分鐘）進行檢測，輕度 (50 ~ 63% HRmax) 至極高強度 (> 93% HRmax) 運動對晶體智力與 EF 等認知功能產生正面的效果；結合運動後立即與短暫延遲的結果發現，持續進行 11 分鐘以上之運動，且在運動後 1 至 15 分鐘內進行認知測驗皆能改善認知功能。單次運動引起的生理變化可能會對認知功能造成影響，包括提升大腦血流量與氧合能力、增加兒茶酚胺分泌及 BDNF 分泌 (Moriarty et al., 2019)，因此研究開始探討單次運動有助認知功能提升之可能機制。

早期研究提出，運動與認知功能呈倒 U 形關係，假設過低或過高的運動強度都不足以影響認知功能，只有在中等強度運動對認知功能產生最佳效果 (Davey, 1973)。單次運動提升認知功能的機制可能與運動時下丘腦 (hypothalamus) 及腦幹 (brain stem) 活化交感腎上腺系統，進而釋放兒茶酚胺，促使迷走神經 (vagus nerve) 上的 β 腎上腺素受體活化 (beta adrenergic receptor) 通過血腦障壁 (blood–brain barrier, BBB)，而後進一步活化網狀結構 (reticular formation)，進而提升覺醒狀態有關 (McMorris et al., 2015)。然而，當覺醒程度持續上升，過多神經元被活化後反而會造成干擾，影響認知功能的表現 (Arnsten, 2009)。過去不少研究設計用以考驗倒 U 形學說，但都未能得出一致的結果，因此 McMorris 等 (2012) 以統合分析研究不同運動強度與認知功能之關係，指出只有中等強度運動（40 ~ 79% maximum power output, Wmax）對認知功能的效果量達顯著，且

高於低強度與高強度運動 (McMorris & Hale, 2012)。由於運動時所產生的生理與生化反應被認為是其提升認知功能的關鍵因素，McMorris 等 (2015) 以統合分析研究在兒茶酚胺、乳酸 (lactate) 及換氣閾值 (ventilatory threshold, Tvent) (~ 65% Wmax) 進行單次運動是否較中等強度運動 (40 ~ 79% Wmax) 對於提升認知功能更具效果。結果顯示，閾值強度與中等強度運動對提升認知功能皆達顯著，且具中等效果量。因此 McMorris 等 (2015) 嘗試把兩篇運動強度略近 65% Wmax 的研究從中等強度研究中移除，但並未對結果產生影響，閾值強度與中等強度運動間仍未觀察到顯著差異。McMorris 等 (2015) 解釋運動強度低於兒茶酚胺閾值能造成腦內多巴胺 (dopamine, DA) 與正腎上腺素 (norepinephrine, NE) 的濃度改變可能與運動持續時間有關，在低於閾值強度下運動 30 分鐘後血液中兒茶酚胺濃度開始上升，顯示以中等強度進行中到長時間運動所分泌之兒茶酚胺可能足以刺激迷走神經，活化腦部。此外，若運動持續時間超過 45 分鐘，下視丘－腦垂體－腎上腺系統 (hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA) 會被活化，刺激腎上腺皮質刺激素釋放激素 (corticotropin releasing hormone, CRH)、促腎上腺皮質激素 (adrenocorticotropic hormone, ACTH) 及皮質醇 (cortisol) 的合成與釋放，透過與 DA 及腎上腺素 (epinephrine) 的交互作用，提高覺醒狀態，提升認知功能。

另一方面，已知單次運動後會提升 BDNF 分泌，且健康個體隨運動強度增加，BDNF 分泌也會顯著增加 (Knaepen, Goekint, Heyman, & Meeusen, 2010)。Griffin 等 (2011) 採組間設計分別進行漸進運動負荷測驗 (graded exercise test, GXT) 或靜態休息 30 分鐘，探討單次運動對關聯性記憶 (relational memory) 的影響，並檢測血清中 BDNF 的濃度。結果發現運動組之關聯性記憶表現得到改善，且伴隨著 BDNF 濃度上升 (Griffin et al., 2011)。另外，Piepmeier 等 (2015) 也在回顧中指出，單次運動有助增加 BDNF 分泌並且與學習及記憶面向的認知功能改善具有相關性，於其他面向之認知功能例如：注意力、訊息處理及執行功能等則未發現相關性，因此 BDNF 仍被推測可以作為其中一個單次運動改善認知功能的可能機制。

第二節　咖啡因對有氧運動表現之影響

過去已有多篇綜評及統合分析指出攝取咖啡因有助於提升運動表現，包括有氧運動 (Southward et al., 2018)、無氧運動 (Grgic, 2018)、團隊運動 (Salinero et al., 2019) 以及阻力運動 (Grgic et al., 2019) 的運動表現，其中以有氧運動的研究最為普遍。口服咖啡因後，其會快速被腸胃道吸收，略在 15 至 45 分鐘後於血液中濃度開始提升，並在 60 分鐘後達到峰值 (Goldstein et al., 2010)，而過往研究指出咖啡因提升運動表現的最佳攝取劑量在每公斤體重 3 至 6 毫克 (Graham, 2001)。咖啡因提升有氧運動表現被認為是透過多種因素共同作用的，當中可能作用機制包括抑制腺苷與其受體結合，促使覺醒程度提高、抑制磷酸二酯酶 (phosphodiesterase, PDE)，增加游離脂肪酸可利用率、調控肌漿網中的蘭諾定受體 (ryanodine receptors)，促使鈣離子釋放增加，增強肌肉的收縮力、刺激鈉鉀幫浦 (sodium-potassium pump) (Magkos & Kavouras, 2005) 以及提升疼痛和努力感知閾值 (Tarnopolsky, 2008)。

Southward 等 (2018) 以系統性綜評及統合分析探討於運動前增補單次咖啡因 (每公斤體重 3 ～ 6 毫克) 對其後有氧計時測驗表現之影響，一共納入 44 篇研究，結果發現咖啡因對有氧運動表現具有正面效果，且顯著改善平均輸出功率及計時測驗完成時間。統合性迴歸分析發現咖啡因增補劑量、VO2、運動持續時間及運動模式與平均表現改善之間沒有相關，表示增補每公斤體重 3 至 6 毫克咖啡因對有氧運動表現具有相似之效果。以往大部份研究是以腳踏車探討咖啡因對有氧計時測驗表現之影響，Glaister 等 (2015) 以雙盲、隨機及平衡次序法探討 14 名女性競技自行車運動員在 20 公里計時測驗前 2.5 小時攝取 0.45 克硝酸鹽 (NO_3^-) 或安慰劑，並在運動前 60 分鐘攝取每公斤體重 5 毫克咖啡因或安慰劑，結果發現只有在咖啡因處理後，功率輸出 (power output) 、心跳率 (heart rate) 、血乳酸及呼吸交換率 (Respiratory Exchange Ratio, RER) 較安慰劑處理顯著提升。Glaister 等 (2015) 認為會出現這樣的結果是因為咖啡因透過抑制腺苷受體，允許在相同知覺努力程度 (rating of perceived exertion, RPE) 下產生較高的功率輸出。

Doherty 等 (2005) 也在統合分析中指出咖啡因能夠顯著降低運動中的知覺努力程度，迴歸分析中發現運動中的知覺努力程度顯著降低可以解釋約 29% 運動表現提升的變異。

第三節　咖啡因對認知功能之影響

咖啡因對認知功能的作用主要源於作為腺苷受體拮抗劑的能力，腺苷是一種中樞神經系統調節劑，具有 A1、A2A、A2B 及 A3 四種受體，而咖啡因主要透過結合 A1、A2A 腺苷受體降低神經活動。A1、A2A 腺苷受體抑制麩胺酸 (glutamic acid)、DA 及乙酰膽鹼 (acetylcholine) 等多種神經傳遞物質的釋放 (Fisone et al., 2004) ，多巴胺神經路徑調控視丘、PFC 及 ACC 等多個掌控心理動作能力的腦區。因此，咖啡因可以透過抑制腺苷與 A1、A2A 腺苷受體結合，增加神經傳遞物質的分泌，活化 PFC 等腦區，提升中樞神經系統活性，進而提升覺醒程度，改善認知功能。

廣泛劑量之咖啡因皆能對認知功能產生正面效果，過往回顧指出，攝取 40 毫克（約每公斤體重 0.5 毫克）至 300 毫克（約每公斤體重 4 毫克）的咖啡因皆能有效提升認知功能 (McLellan et al., 2016)。Smith 與 Rogers (2000) 以雙盲重覆量數實驗設計探討不同劑量咖啡因對認知功能之影響，實驗以 23 名具有輕度 (<100 mg)、及高度 (>200 mg) 咖啡因攝取習慣的健康成年人，分別以口服方式增補 0、12.5、25、50 及 100 mg 咖啡因，並於增補前、增補後立即、增補後 30 及 60 分鐘測量簡單反應時間測驗 (simple reaction time, SRT) 及快速視覺訊息處理作業 (rapid visual information processing task, RVIP)。結果顯示，增補所有劑量之咖啡因在增補後 30 及 60 分鐘之 SRT 及 RVIP 反應時間皆顯著低於安慰劑，但咖啡因與認知功能未有顯著劑量反應。Brunyé 等 (2010) 以 36 名輕度咖啡因攝取習慣（平均每日 42.5 毫克）的健康成年人，分別以雙盲重覆量數實驗設計口服 0 、100、200 及 400 mg 咖啡因，並於增補後 30 分鐘以旁側抑制作業 (flanker task) 進行注意力網絡測試 (attention network test, ANT)，探討不同劑量之咖啡因對注意力網絡測試之影響。ANT 可以評估警覺 (alerting)，在整個測驗過程中維持警覺狀態的能力；定向 (orienting)，個體選擇性專注在某一特定區域，使對視覺刺激的選擇和反應速度加

快的能力；執行控制 (executive control)，個體抑制與動作不一致之視覺信息的能力等三種注意力網絡。結果發現，在警覺與執行控制，增補 200 及 400 mg 咖啡因顯著優於安慰劑，且咖啡因對警覺與執行控制表現在增補 200 mg 後到達高原，增補 400 mg 咖啡因並沒有產生更佳的效果，因此 Brunyé 等 (2010) 認為咖啡因與認知功能之間存在劑量反應；在定向方面，增補 400 mg 咖啡因對比安慰劑觀察到有損害定向注意力的趨勢 (p = .06) 。儘管有研究認為覺醒程度與認知功能呈倒 U 形關係，攝取 200 mg 劑量咖啡因達到最適度的覺醒水平，可引發最佳的認知功能，但由於性別差異 (Ali et al., 2015)、個體情緒狀態 (Diamond et al., 2007)、基因型 (Yang et al., 2010)、安慰劑效應 (Beedie et al., 2006)、攝取習慣 (Pickering & Kiely, 2019) 或戒斷效果 (Rogers et al., 2013) 等都會對咖啡因作用造成影響，因此難以倒 U 形理論解釋不同個體之間咖啡因與認知功能之關係 (McLellan et al., 2016)。

在咖啡因與不同認知功能的部分，過去回顧指出咖啡能提升警覺性、注意力及訊息處理等認知功能，但對於記憶與執行功能的結果則不一致 (McLellan et al., 2016)。Tieges 等 (2009) 以 18 名健康成年人採雙盲交叉實驗設計，在增補 3 mg/kg 咖啡因或安慰劑後 40 分鐘進行旁側抑制作業。結果顯示，雖然增補咖啡因後反應時間顯著縮短，但情境因子與處理因子之間並無顯著交互作用。同樣，Soar 等 (2016) 發現，增補 50 毫克咖啡因後，叫色測驗反應時間顯著縮短，但在不同情境間反應時間並無差異。另一方面，Giles 等 (2012) 以 48 名健康成年人採雙盲重覆量數實驗設計，在增補 200 mg 咖啡因或安慰劑後 30 分鐘進行注意力網絡測試與 60 分鐘後進行 N-back 測驗 (n-back task, NB)、SRT 及選擇反應時間測驗 (choice reaction time, CRT)。結果顯示，增補 200 mg 咖啡因能顯著提升 ANT 中執行控制表現及減少其餘認知測驗中所需的反應時間。

總結上述討論，咖啡因對警覺、注意力及訊息處理等低階認知功能具有正面的效果，但對於記憶與執行功能等高階認知功能的結果較不一致，且無法確定咖啡因對高階認知功能造成之正面效果是否為透過改善低階認知功能所介導。

第四節　運動結合咖啡因增補對認知功能之影響

由上述兩節可知單次運動與咖啡因增補皆能提升認知功能，且調節認知功能的路徑不盡相同，因此運動結合咖啡因增補是否會對認知功能造成加成效應值得進一步釐清。因此，本節將探討運動結合咖啡因對認知功能之影響。

最早探討單次運動結合咖啡因對認知功能效應的研究為 Hogervorst 等 (1999) 使用雙盲、交叉試驗設計，以 75% Wmax)進行 1 小時腳踏車運動，並於運動前 40 分鐘及運動中第 20、40 分鐘，採平衡次序法分別共增補每公斤體重 2.1、3.2、及 4.5 mg 咖啡因結合碳水化合物電解質飲料、不含咖啡因碳水化合物電解質飲料或水，發現運動後增補 2.1 及 3.2 mg/kg 咖啡因結合碳水化合物電解質飲料在訊號偵測作業測驗 (signal detection task, SDT)、叫色測驗及視覺語言學習測驗 (the visual verbal learning with interference, VVLT) 表現上顯著優於安慰劑處理，並且攝取 4.5 mg/kg 咖啡因結合碳水化合物電解質在叫色測驗表現上也顯著優於安慰劑處理，但選擇反應時間測驗 (the motor choice reaction time test, MCRT) 則未觀察到任何顯著差異。另外，Hogervorst 等 (2008) 的研究以 60 % VO2max 進行 150 分鐘腳踏車運動後，將強度調整至 75 % VO2max 並持續運動至力竭，且在運動前、運動中第 55、115 分鐘分別增補含 100 mg 的咖啡因能量棒、不含咖啡因能量棒或調味水，結果發現運動後增補咖啡因能量棒在叫色測驗 、RVIP、視覺搜尋測驗 (visual search test, VST) 反應時間皆顯著優於其餘處理，只有單字學習測驗 (word learning test, WLT) 未觀察到任何顯著差異。由於上述兩個研究都不是單純增補咖啡因，因此不能排除其他增補物質與咖啡因產生協同效應，且無法隱蔽攝取其他增補劑，可能帶來影響認知功能的結果。

Machado 等 (2020) 是唯一以獨立樣本設計的研究，在運動前 60 分鐘分別增補 500 mg 咖啡因或安慰劑後，於跑步機進行 30 分鐘 70% VO2max 有氧運動，並以 SRT 及 D2 注意力測驗 (D2 test)，探討在增補前、增補後 60 分鐘、運動後對反應時間及注意力等認知功能的影響。結果發現，咖啡因處理在增補後 60 分鐘及運動後，SRT 的反應時間顯著低於安慰劑處理，運動後咖啡因處理在 D2 注意力測驗的表現亦顯著優於安慰劑處

理。Laura 等 (2019) 使用相似的運動進行介入，以跑步機進行 40 分鐘速度等於 RPE 13 的有氧運動，在運動前 40 分鐘、運動前 5 分鐘及運動中第 20 分鐘分別增補含 200 mg 咖啡因飲料、6% 碳水化合物飲料或 3.4 g 瓜拉納飲料或安慰劑 (水+無糖糖漿)，並在增補前、增補後 25 分鐘及運動後進行賽門作業 (simon task)，檢測對抑制控制能力的影響。結果發現，經咖啡因、碳水化合物及瓜拉納處理，運動後賽門作業的反應時間顯著低於增補後。在 Connell 等 (2016) 的研究中，參與者在 180 分鐘 60% VO2max 腳踏車運動前及運動期間共增補每公斤體重 7.5 mg 的咖啡因，結果發現 Posner 線索作業 (posner cueing task) 反應時間在運動後顯著高於運動前及咖啡因處理顯著低於控制組，但未有顯著交互作用，Connell 等提出可能是由於運動時間過長，產生運動疲勞，進而影響動作準備與執行階段。

以上研究皆以固定時間及強度之有氧運動探討咖啡因增補結合運動對認知功能之影響，除了 Connell 等以 60% VO2max 進行 180 分鐘腳踏車運動未能觀察到認知功能的加成效果以外，其餘以 60 至 75% VO2max 進行 30 至 150 分鐘有氧運動皆對認知功能具有加成效果。

Wang 等 (2020) 在固定式腳踏車上進行 15 次衝刺 × 2 組 × 2 大組 (衝刺 5 秒、動態恢復 25 秒、休息 30 秒) 大組間休息 15 分鐘、組間休息 2 分鐘，並在運動前 60 分鐘分別增補每公斤體重 3、6 或 9 mg 的咖啡因結合碳酸鈣或安慰劑 (碳酸鈣)，結果發現叫色測驗在一致情境中，3 mg/kg 在增補後 40 分鐘及運動後反應時間皆顯著低於增補前，並且所有處理在運動後反應時間也顯著低於增補後 40 分鐘；另外，在不一致情境中 3 mg/kg 及 6 mg/kg 在增補後 40 分鐘及運動後反應時間皆顯著低於增補前，並且增補後 40 分鐘 3 mg/kg 反應時間顯著低於 6 mg/kg，同時 6 mg/kg 也顯著低於 9 mg/kg 及安慰劑處理。Wang 等認為，攝取高劑量咖啡因伴隨焦慮及頭痛等負面影響，可能會掩蓋運動及咖啡因對認知功能之正面影響。在 Ali 等 (2016) 及 Carr 等 (2008) 的研究中，分別在增補每公斤體重 6 mg 咖啡因後，進行 6 組 15 分鐘 40 至 80% VO2max 間歇運動及 5 組 6×20 公尺衝刺運動，結果分別對 CRT、叫色測驗與 SRT、CRT 皆未觀察到加成效

應，然而該結論推測其原因可能是參與者人數只有 10 人，剛達最低人數，若有更多的參與者，結果應能達顯著。

在無氧運動部分，Duncan 等 (2019) 發現運動前 60 分增補每公斤體重 5 mg 咖啡因或葡萄糖，接著進行 30 秒上肢溫蓋特無氧動力運動，而後再進行旁側抑制作業，發現增補咖啡因後反應時間於增補後 60 分鐘及運動後 5 mg/kg 增補葡萄糖，並肛在增補後 60 分鐘及運動後反應時間也顯著低於運動前。Kevin De 等 (2017) 以 30 秒無氧動力測驗前與 30 分鐘 75% 峰值功率 (peak power output, PPO) 腳踏車運動前及運動中第 7.5、25 及 22.5 分鐘使用咖啡因鼻噴霧劑，結果顯示對叫色測驗的表現並無顯著差異，原因推測與其咖啡因濃度過低，導致對腦部的影響不足以改善認知功能有關。

在阻力運動部分，Karayigit 等 (2021) 發現在 3 組 40% 1RM 深蹲及仰臥推舉至力竭前 60 分鐘，分別增補每公斤體重 3、6 mg 咖啡因咖啡或安慰劑 (去咖啡因咖啡)，並在增補前、增補後 60 分鐘及運動後進行旁側抑制作業測驗，結果顯示在一致情境下，運動後 6 mg/kg 咖啡因處理的反應時間顯著低於安慰劑處理；而在不一致情境下，增補後 60 分鐘 6 mg/kg 反應時間顯著低於安慰劑處理，運動後 3 mg/kg 及 6 mg/kg 皆顯著低於安慰劑處理。

總結上述討論，過往研究增補每公斤體重 3 至 6 mg 的咖啡因並結合中強度有氧 (60 ~ 75 % VO2max)、高強度間歇 (high intensity interval training, HIIT) 或阻力運動，對提升注意力及抑制控制具有加成的效果。其中以有氧運動介入的研究最多，但不少在咖啡因增補上都以統一劑量、涉及多個時間點及結合其他有可能與咖啡因產生協同效應之物質作增補，運動介入也是以固定強度及持續時間為主。

表 2-1　運動結合咖啡因增補對認知功能之影響

作者/年份	參與者/攝取習慣	運動內容	增補內容	增補時間	認知測驗時間、內容	實驗結果
Machado et al. (2020)	有規律運動 男性=20 人 <200 mg/day	跑步機 30 分鐘 70% VO2max	CAF：500 mg PLA	運動前 60 分鐘	增補前、增補後 60 分鐘、運動後 D2 注意力測驗 (D2 Test) 簡單反應時間測驗(SRT)	SRT RT：增補後 60 分鐘、運動後 CAF < PLA CAF 運動後 < 增補前、增補後 60 分鐘 D2-GZ、D2-SKL：運動後 CAF > PLA CAF 運動後 > 增補前、增補後 60 分鐘
Hogervorst et al. (1999)	運動員 男性=15 人 148 ± 117 mg/day	固定式腳踏車 1 小時 75% Wmax	CES-150：2.1 mg/kg 咖啡因+CHO CES-225：3.2 mg/kg 咖啡因+CHO CES-320：4.5 mg/kg 咖啡因+CHO PLA-CES：68.8 g/l CHO PLA-W：水	運動前 60 分鐘、 運動中第 20、40 分鐘	運動前 40 分鐘、運動後 叫色測驗 訊號偵測作業 (SDT) 選擇反應時間測驗 (MCRT) 視覺語言學習測驗 (VVLT)	SDT 知覺敏感度 A'：運動後 CES-225 > Pla-W、Pla-CES 運動後 CES-150 > Pla-CES SDT RT：運動後 CES-225 < Pla-CES MCRT：CES-150 = CES-225 = CES-320 = Pla-CES = Pla-W 叫色測驗 RT：運動後 CES-150、CES-225、CES-320 <Pla-CES VVLT RT：運動後 CES-150、CES-225 < Pla-CES
Hogervorst et al. (2008)	有規律運動 男性=24 人 170 ± 167 mg/day	固定式腳踏車 150 分鐘 60 % VO2max 後 75 % VO2max 至力竭	CES-100：100 mg 咖啡因+椰子味能量棒 CHO：椰子味能量棒 PLA：300 ml 覆盆子調味水	運動前、 運動中第 55、115 分鐘	首次增補前、運動第 70、140 分鐘、運動後 叫色測驗 快速視覺訊息處理作業 (RVIP) 增補前、運動後 視覺搜尋測驗 (VST) 單字學習測驗 (WLT)	WLT：CES-100 = CHO = BEV RVIP RT：第 70、140 分鐘、運動後 CES-100、CHO < BEV RVIP true positive：第 140 分鐘、運動後 CES-100 > BEV 運動後 CES-100 > CHO RVIP miss rate：第 70、140 分鐘、運動後 CES-100 <CHO、BEV VST RT：(困難) 運動後 CES-100 < CHO、BEV VST 正確率：(困難) CES-100、CHO > BEV 叫色測驗 RT：第 70、140 分鐘、運動後 CES-100<CHO、BEV
Laura , et al. (2019)	運動員 男性=6 人、 女性=4 人 <100 mg/day	跑步機 40 分鐘速度等於 RPE 13	CAF：200 mg 咖啡因+無糖糖漿飲料 CHO：6% 碳水化合物飲料 GUA：3.4 g 瓜拉納飲料 PLA：水+無糖糖漿	運動前 40 分鐘、運動前 5 分鐘、運動中第 20 分鐘	增補前、增補後 25 分鐘、運動後 賽門作業	賽門作業 RT：運動後 CAF、CHO、GUA < 增補後
Connell et al. (2016)	有規律運動 男性=5 人、 女性=7 人	固定式腳踏車 180 分鐘 60 % VO2max	CAF：7.5 mg/kg PLA：7.5 mg/kg 麥芽糊精	運動前 65 分鐘：2.5 mg/kg 運動中第 90 分鐘：5 mg/kg	運動前 65 分鐘、運動後 Posner 線索作業	內生性提示 RT：運動後 > 運動前 CAF < PLA 外生性提示 RT：PLA 運動後 > 運動前

註：CAF：咖啡因處理；CHO：碳水化合物處理；CES：咖啡因結合碳水化合物處理；GUA：瓜拉納複合物處理；PLA：安慰劑處理；W：功率；VO2max (maximal oxygen uptake)：最大攝氧量；Wmax (maximal workload)：最大功率負荷；PPO (peak power output)：峰值功率；RPE (rate of perceived exertion)：運動自覺強度；1RM (one-repetition maximum)：1 次反覆最大重量；RT (reaction time)：反應時間；con (congruent trials)：一致性情境；incon (incongruent trials)：不一致性情境

表 2-1　運動結合咖啡因增補對認知功能之影響（續）

作者/年份	參與者/攝取習慣	運動內容	增補內容	增補時間	認知測驗時間、內容	實驗結果
Kevin De et al. (2017)	有規律運動 男性=11 人 23 ± 27 mg/day	固定式腳踏車 30 秒溫蓋特無氧動力後休息 15 分鐘進行 30 分鐘 75% PPO	鼻噴霧劑 (左右各兩下) CAF：15 mg/ml CHO：80 mg/ml PLA	每次運動開始前、30 分鐘運動中第 7.5、25、22.5 分鐘	每次運動開始前、每次運動後 叫色測驗	叫色測驗：PLA = CAF = CHO
Duncan et al. (2019)	有規律運動 男性=12 人 154 ± 41 mg/day	固定式手搖車 30 秒上肢溫蓋特無氧動力	CAF：5 mg/kg CHO：5 mg/kg 葡萄糖	運動前 60 分鐘	增補前、增補後 60 分鐘、 運動後 旁側抑制作業	旁側抑制作業 正確率：(incon) CAF > CHO 旁側抑制作業 RT：增補後 60 分鐘、運動後 CAF < CHO CAF 增補後 60 分鐘、運動後 < 增補前 CHO 增補後 60 分鐘 < 運動後
Ali et al. (2016)	團隊運動運動員 女性=10 人 0-300 mg/day	跑步機 6 組 × 15 分鐘（2 × 2 分鐘 × 40%、60%、80%，1 分鐘 60% VO2max，2 分鐘 4 km/h）	CAF：6 mg/kg PLA：甜味劑	運動前 60 分鐘	增補後 45 分鐘、第 3 組運動後、運動後立即、12 小時 叫色測驗 選擇反應時間測驗 (CRT)	叫色測驗：CAF = PLA CRT RT：CAF = PLA
Carr et al. (2008)	團隊運動運動員 男性=10 人	5 組 6 × 20 米 (第 1、3、5 組每 25 秒出發；第 2、4 組每 120 秒出發) 組間休息 4 分鐘	CAF：6 mg/kg CHO：6 mg/kg 葡萄糖	運動前 60 分鐘	增補前、增補後 45 分鐘、 運動後 簡單反應時間測驗 (SRT) 選擇反應時間測驗 (CRT)	SRT RT：運動後 < 增補前 CRT RT：運動後 < 增補前、增補後 45 分鐘
Wang et al. (2020)	有規律運動 男性=10 人 ≤60 mg/day	固定式腳踏車 2 大組 × 2 組 × 15 次 (衝刺 5 秒、動態恢復 25 秒、休息 30 秒) 大組休 15 分鐘、組休 2 分鐘	CAF3：3 mg/kg 咖啡因 +6 mg/kg 碳酸鈣 CAF6：6 mg/kg 咖啡因 +3 mg/kg 碳酸鈣 CAF9：9 mg/kg 咖啡因 PLA：9 mg/kg 碳酸鈣	運動前 60 分鐘	增補前、增補後 40 分鐘、 運動後 叫色測驗	叫色測驗 RT：(con) CAF3 增補後 40 分鐘、運動後 < 增補前 All Group 運動後 < 增補後 40 分鐘 (incon) 增補後 40 分鐘 CAF3 < CAF6 < PLA、CAF9 CAF3、CAF6 增補後 40 分鐘、運動後< 增補前 運動後 CAF3 < PLA、CAF9 All Group 運動後 < 增補後 40 分鐘
Karayigit et al. (2021)	團隊運動運動員 女性=17 人 15 ± 4 mg/day	深蹲、仰臥推舉 3 組 40% 1RM 至力竭 組休 2 分鐘、動作間休 5 分鐘	CAF3：3 mg/kg CAF6：6 mg/kg PLA：去咖啡因咖啡	運動前 60 分鐘	增補前、增補後 60 分鐘、運動後 旁側抑制作業	旁側抑制作業 RT：(con) 運動後 CAF6 < PLA (incon) 增補後 60 分鐘 CAF6 < PLA 運動後 CAF3、CAF6 < PLA

註：CAF：咖啡因處理；CHO：碳水化合物處理；CES：咖啡因結合碳水化合物處理；GUA：瓜拉納複合物處理；PLA：安慰劑處理；W：功率；VO2max (maximal oxygen uptake)：最大攝氧量；Wmax (maximal workload)：最大功率負荷；PPO (peak power output)：峰值功率；RPE (rate of perceived exertion)：運動自覺強度；1RM (one-repetition maximum)：1 次反覆最大重量；RT (reaction time)：反應時間；con (congruent trials)：一致性情境；incon (incongruent trials)：不一致性情境

第五節　本章總結

總結上述文獻，歸納出以下幾點：

一、 單次有氧運動對多個面向之認知功能皆具有正面效果，其中運動強度與運動持續時間為運動提升認知功能之重要調節因子，其背後機制與運動所引起之生理變化有關。

二、 增補廣泛劑量之咖啡因對提升低階認知功能之結果較一致，儘管已有研究顯示咖啡因能活化 PFC 等涉及高階認知功能之腦區，但對於執行功能等高階認知功能之結果仍有爭議。

三、 過去已有研究探討運動結合咖啡因增補對認知功能之影響，惟各研究所使用之增補方式與運動處理不盡相同，且皆以固定運動時間及強度進行運動介入。

四、 咖啡因若能增進運動表現，則其促進運動表現後對認知功能是否具有相同之效果仍有待釐清。

第參章　研究方法與步驟

本章分為以下五個部分：第一節，研究參與者；第二節，實驗時間與地點；第三節，實驗流程；第四節，實驗方法與步驟；第五節，資料處理與分析。

第一節　研究參與者

本研究招募 10 名，年齡介於 20 至 35 歲，且 BMI 介於 18.5 至 27 kg/m^2 自願參加之健康男性為研究參與者，所有研究參與者均須符合以下條件：(一)有跑步習慣並具有一小時內完成十公里跑步之能力；(二)無心血管疾病、呼吸功能障礙及骨關節疾病史；(三)無醫師診斷為不適運動者；(四)無抽菸及喝酒習慣者；(五)無辨色障礙者；(六)每日咖啡因攝取量低於 200 毫克。正式參與實驗前，告知每位研究參與者研究目的及實驗流程後，請研究參與者填寫基本資料並簽署知情同意書。

第二節　實驗時間與地點

一、 實驗地點：民國 111 年 4 月至 12 月

二、 實驗地點：國立臺灣師範大學公館校區運動生理學實驗室

第三節　實驗流程

實驗處理以重覆量數、平衡次序法及雙盲設計進行。本研究每位參與者將共進行四次的實驗，包括實驗前測、熟悉實驗及兩次正式實驗。在實驗前測當日，首先測量身高體重及填寫基本資料，而後進行跑步機遞增負荷最大攝氧量測驗，以設定其後兩次正式實驗中之熱身速度。在正式實驗前七日，讓參與者熟悉完整實驗流程，包括認知測驗的操作。其後兩次實驗處理，分別增補每公斤體重 6 毫克咖啡因與安慰劑兩種不同處理後，進行 10 公里計時跑步測驗，於咖啡因增補前、增補後 40 分鐘與跑步結束後立即進行認

知測驗，觀察單次有氧運動結合咖啡因增補對認知功能之影響。為排除晝夜節律所造成的影響，實驗處理皆在同一時間進行。每次實驗前 24 小時禁止進行激烈運動，以確保不會對實驗造成影響。實驗程序與流程如圖 3-1。

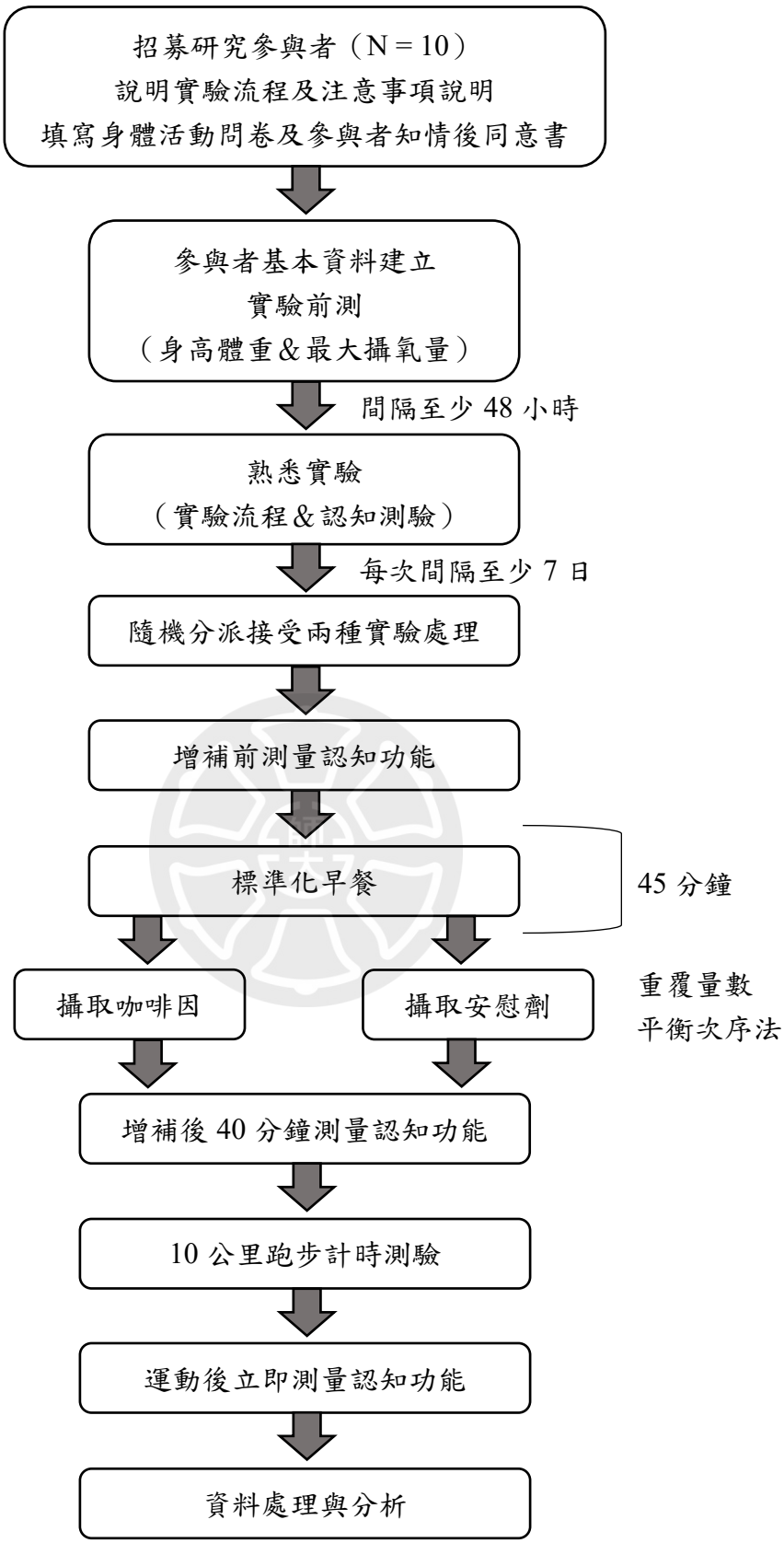
招募研究參與者（N = 10）
說明實驗流程及注意事項說明
填寫身體活動問卷及參與者知情後同意書
參與者基本資料建立
實驗前測
（身高體重&最大攝氧量）
間隔至少 48 小時
熟悉實驗
（實驗流程&認知測驗）
每次間隔至少 7 日
隨機分派接受兩種實驗處理
增補前測量認知功能
標準化早餐
45 分鐘
攝取咖啡因
攝取安慰劑
重覆量數
平衡次序法
增補後 40 分鐘測量認知功能
10 公里跑步計時測驗
運動後立即測量認知功能
資料處理與分析

圖 3-1 實驗程序與流程

第四節　實驗方法與步驟

本研究各階段之實驗方法與步驟，分為一、實驗前準備；二、實驗前測；三、實驗處理；四、資料收集等四部分加以說明。

一、 實驗前準備

（一） 儀器校正

每次進行實驗前，依操作手冊執行 Vmax 29 (Sensor Medics Corp., Yorba Linda, CA, USA) 校正，校正值須達通過標準，並檢測無線遙測心率儀是否正常。

（二） 環境監控

以液晶顯示溫度計 (JG-TH01，晶冠，台灣) 記錄每次實驗過程中之環境溫度，避免環境溫度可能造成的影響。

（三） 參與者準備

參與者於兩次正式實驗處理之間，應維持平常的身體活動量及飲食型態。實驗前 24 小時須避免攝取含有酒精和咖啡因（72 小時前）的食物，及其他營養增補劑，同時也須避免進行激烈運動，並於兩次正式實驗處理前一週起填寫每日含咖啡因食物的飲食紀錄及運動類型和時間，如附錄一；實驗前一天須充足睡眠。

參與者於第一次正式實驗時，須填寫簡單的飲食紀錄，記錄實驗前一天三餐的飲食及點心；第二次正式實驗前，提供研究參與者前次實驗的紀錄，盡量重現前次實驗之飲食狀況。

（四） 飲食控制

熟悉實驗與兩次正式實驗處理，將發予統一配製之早餐，於十分鐘左右食用完畢。食品內容與成分如下：

1. 統一晨光奶油吐司一片：55.9 克

   每片 196 大卡；碳水化合物：8 克，脂肪：6.9 克，蛋白質：5.6 克

2. 果汁時刻 100% 柳橙綜合果汁 1 瓶：200 毫升

   每瓶 99.2 大卡；碳水化合物：24 克，脂肪：0 克，蛋白質：0.8 克

3. 總熱量：295.2 大卡

碳水化合物 208 大卡 (70%)，脂肪 62.1 大卡 (21%)，蛋白質 25.6 大卡 (9%)

二、 實驗前測

（一） 身高體重測量

研究參與者於進行最大攝氧量測驗前，須穿著輕便之運動服裝測量身高體重，作為計算個人增補劑量之依據。

（二） 最大攝氧量測驗

本研究在跑步機上 (h/p cosmos mercury 1.0; h/p cosmos sports & medical, Nussdorf-Traunstein, Germany) 依據 Bruce 測驗方法進行遞增負荷最大攝氧量檢測，每三分鐘為一階段，每階段增加速度及坡度，如圖 3-2。全程以 Vmax29 氣體分析儀進行氣體採集，並使用無線遙測心率儀 (Polar V800, Kempele, Finland) 每 15 秒記錄研究參與者之心跳率及每階段最後 10 秒詢問當下之運動自覺努力程度。達到以下判定標準，且經口頭鼓勵仍無法繼續時，即判定研究參與者已達衰竭，立即停止測驗並記錄研究參與者心跳率及運動自覺努力程度 (McConnell, 1988)。

1. 心跳率達到預估最大心跳率 ± 10 bpm

心跳率預估公式：207 - (0.7 × 年齡) (Tanaka et al., 2001)

2. 運動自覺努力量表 (RPE) 達 19 以上 (圖 3-3)
3. 呼吸交換率大於 1.10
4. 隨運動負荷增加，增加的攝氧量 < 2.0 ml/kg/min

階段	坡度 (%)	速度 (km/h)
1	10	2.7
2	12	4
3	14	5.4
4	16	6.7
5	18	8
6	20	8.8
7	22	9.6
8	24	10.4
9	26	11.2
10	28	12

圖 3-2 Bruce 最大攝氧量測驗

6	
7	非常非常輕鬆
8	
9	非常輕鬆
10	
11	輕鬆
12	
13	有些吃力
14	
15	吃力
16	
17	非常吃力
18	
19	非常非常吃力
20	

圖 3-3 運動自覺努力量表

三、 實驗處理

（一） 增補處理

本研究採雙盲方式進行增補，每位研究參與者於運動前 60 分鐘依平衡次序法以膠囊形式增補每公斤體重 6 毫克之咖啡因 (Sigma–Aldrich, USA) 或安慰劑，安慰劑為甜味劑 (Zerose®, Cargill Inc., MN, USA)。

（二） 十公里跑步計時測驗

研究參與者於測驗前配戴 Polar 心率儀監控全程之心跳，接著在跑步機以 60% VO2max 之跑步速度進行 3 分鐘熱身後，立即以自選速度在最短時間內完成 10 公里跑步計時測驗，為模擬現實狀況在測驗其間跑步機上之時間及速度顯示皆使用膠帶覆蓋，且參與者可以自行調控跑步機速度，而坡度固定設為 1%。

四、 資料收集

（一） 心跳率

本研究以無線遙測心率儀 (Polar) 監控運動過程中的心跳率。

（二） 10 公里跑步計時測驗

本研究以碼錶記錄參與者於 10 公里跑步計時測驗中第 2、4、6、8 及 10 公里的完成時間。

（三） 運動自覺努力量表

本研究採用 Borg 開發之量表，以數字 6-20 代表，7 表示非常非常輕鬆、19 表示非常非常吃力。詢問參與者 RPE 之時間點為 10 公里跑步計時測驗中完成第 2、4、6、8 及 10 公里時。

（四） 認知功能

本研究應用 E-Prime 3.0 (Psychology Software Tools, Inc., USA) 軟體以叫色測驗 (Takahashi & Grove, 2020) 於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即進行檢測，參與者需依字體顏色為反應標準，以電腦外接之數字按鍵方式做反應。參與者分別先將食指、中指及無名指放於數字 1、2 及 3 鍵，並注視電腦螢幕中間之白色十字架，若看到紅色按 1，綠色按 2，藍色按 3，並要求參與者以最快且最正確的方式做出反應。

叫色測驗一共有兩回合 (blocks)，每回合各 36 個試驗 (trials)，共 72 個試驗，分別為一致情境 (congruent)：該情境之字義與字體顏色相同，例如「紅」字以紅色呈現；不一致情境 (incongruent)：該情境之字義與字體顏色不同，例如「紅」字以綠色呈現。在熟悉實驗時，參與者先以舒服的坐姿坐於電腦螢幕前，研究者詳細說明作業內容後，給予參與者一回合試驗練習。在叫色測驗期間，刺激出現後參與者需在 800 ms 內對刺激物做反應並按下與顏色相對應的按鈕，刺激與刺激間的時間為 800 ms，整個測驗時間大約為 5 分鐘，未執行按鍵動作（無反應）均視為不正確反應，以其反應時間與正確率作為指標，再計算一致情境與不一致情境之成績進行後續分析。

第五節 資料處理與分析

本研究所得資料以 SPSS 23.0 統計軟體進行以下分析處理，顯著水準訂為 $\alpha = .05$。

一、 所有資料皆以平均數 (mean) ± 標準差 (standard deviation, SD) 呈現描述性統計結果。

二、 以相依樣本 *t* 檢定分析咖啡因與安慰劑處理後 10 公里跑步表現差異顯著情形。

三、 以重覆量數二因子變異數分析比較咖啡因與安慰劑處理（處理因子）在增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即所測得之依變項（正確率、反應時間）差異顯著情形。

四、 若變異數分析交互作用達顯著，則進一步進行單純主要效果考驗；若主要效果達顯著，以 LSD 法進行事後比較。

第肆章　結果

本章依實驗所測得之數據分為：第一節，研究參與者基本資料；第二節，咖啡因增補對 10 公里跑步測驗的影響；第三節，咖啡因增補結合 10 公里跑步測驗對認知功能的影響等三節進行說明。

第一節　研究參與者基本資料

本研究以 10 名具規律運動習慣之健康男性為研究參與者，其基本資料如表 4-1。

表 4-1 研究參與者基本資料

	N = 10
年齡 (yr)	26.3 ± 5.1
身高 (cm)	173.7 ± 6.4
體重 (kg)	64.0 ± 6.2
BMI (kg/m^2)	21.2 ± 2.0
最大攝氧量 (ml/kg/min)	58.3 ± 9.4
10 公里計時測驗相對運動強度（%VO2max）：	
咖啡因處理	90.52 ± 4.84 %
安慰劑處理	83.59 ± 4.19 %

第二節　咖啡因增補對 10 公里跑步測驗的影響

一、 10 公里跑步測驗完成時間

本研究參與者於兩次正式實驗於 10 公里跑步計時測驗所測得之完成時間，經相依樣本 *t* 檢定分析後，結果顯示兩種增補處理間具有顯著差異 (t = -2.98, p = .016)，咖啡因

處理 (49.03 ± 6.36 mins) 所需之完成時間顯著低於安慰劑處理 (50.80 ± 7.42 mins) (p < .05)。

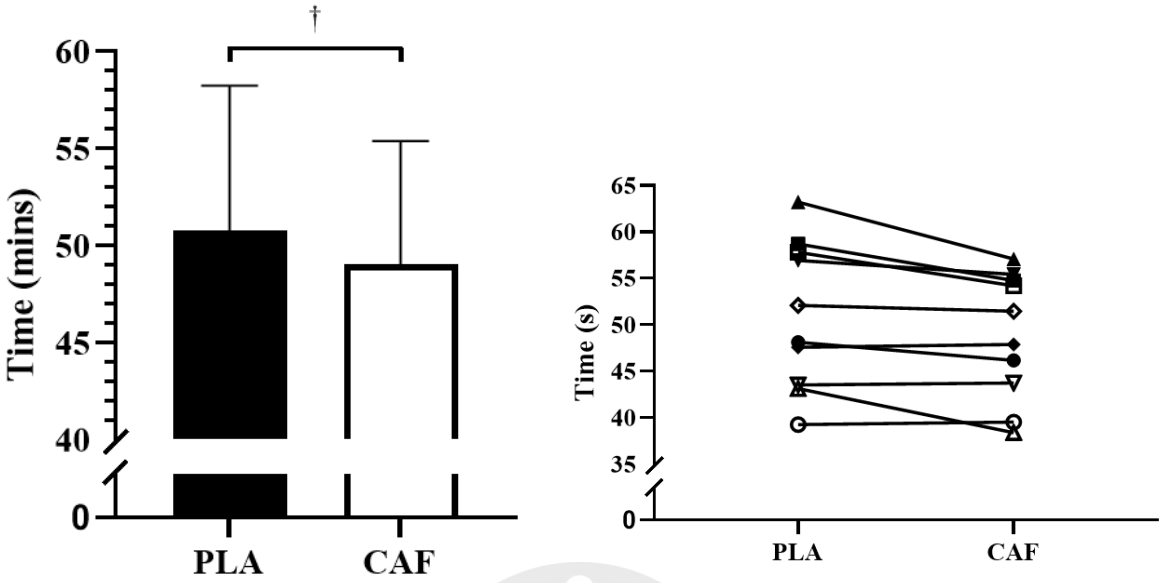

圖 4-1 不同實驗處理對 10 公里跑步測驗完成時間影響

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理。† p < .05，處理間達顯著差異。

二、 心跳率

本研究參與者在兩次正式實驗中於 10 公里跑步計時測驗所測得之第 2、4、6、8 及 10 公里的心跳率數值，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 (F = .74, p = .43, η^2 = .08)；在主要效果的部分，處理因子未達顯著差異 (F = 3.44, p = .10, η^2 = .28)，僅時間因子達顯著 (F = 22.37, p < .001, η^2 = 71)，經事後比較後發現，第 2 公里 (167.45 ± 2.49 bpm) 所測得之心跳率數值顯著高於第 4 公里 (163.64 ± 2.78 bpm) (p < .05)，在第 6 公里開始心跳率隨運動時間增加而上升至第 10 公里運動結束 (第 6 公里<第 8 公里<第 10 公里，164.33 ± 3.65 bpm < 172.08 ± 2.92 bpm < 179.95 ± 2.59 bpm) (p < .05)。

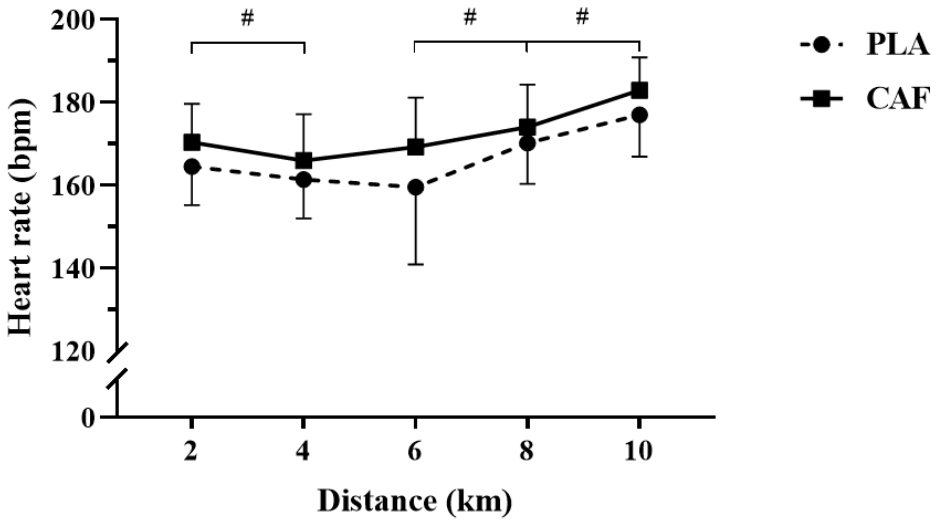

圖 4-2 心跳率在不同實驗處理和 10 公里跑步計時測驗期間不同時間點之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理。# $p < .05$，時間點間達顯著差異。

三、 運動自覺努力程度

本研究參與者在兩次正式實驗中於 10 公里跑步計時測驗所測得之第 2、4、6、8 及 10 公里的運動自覺努力程度數值，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 ($F = 1.32, p = .28, \eta^2 = .13$)；在主要效果的部分，處理因子未達顯著差異 ($F = 2.89, p = .28, \eta^2 = .13$)，僅時間因子達顯著 ($F = 54.52, p < .001, \eta^2 = .86$)，經事後比較後發現，各時間點之間皆有顯著差異 ($p < .05$)，運動自覺努力程度隨運動時間增加而上升 (2 km < 4 km < 6 km < 8 km < 10 km, 11.15 ± 0.69 < 13.40 ± 0.51 < 14.70 ± 0.39 < 16.05 ± 0.41 < 17.55 ± 0.54)。

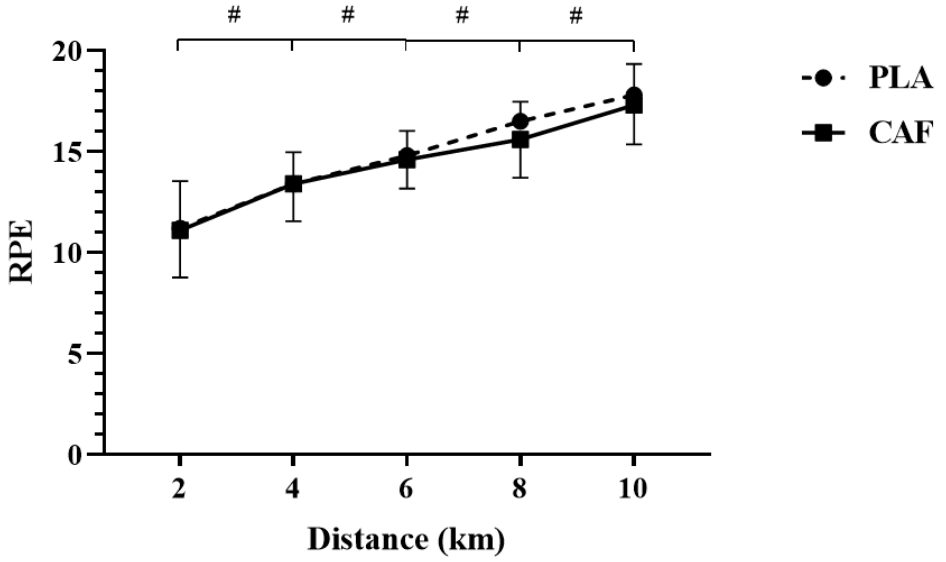

圖 4-3 RPE 在不同實驗處理和 10 公里跑步計時測驗期間不同時間點之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理。# $p < .05$，時間點間達顯著差異。

四、 相對運動強度

本研究參與者在兩次正式實驗中於 10 公里跑步計時測驗所測得之第 2、4、6、8 及 10 公里的運動強度（%最大攝氧量），經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 ($F = .33, p = .83, \eta^2 = .04$)；在主要效果的部分，處理因子達顯著差異 ($F = 11.58, p = .01, \eta^2 = .56$) ，經事後比較後發現，咖啡因處理 (90.52 ± 4.84 %) 之運動強度顯著高於安慰劑處理 (83.59 ± 4.19 %) ($p < .05$)。時間因子亦達顯著 ($F = 12.73, p < .001, \eta^2 = .59$)，經事後比較後發現，第 6 公里 (86.64 ± 4.79 %) 之運動強度顯著高於第 2 公里 (81.71 ± 3.66 %) 及第 4 公里 (84.02 ± 4.04 %) ($p < .05$)，第 10 公里 (93.98 ± 5.03 %) 之運動強度亦顯著高於第 6 公里 (86.64 ± 4.79 %) 及第 8 公里 (88.95 ± 5.13 %) ($p < .05$)。

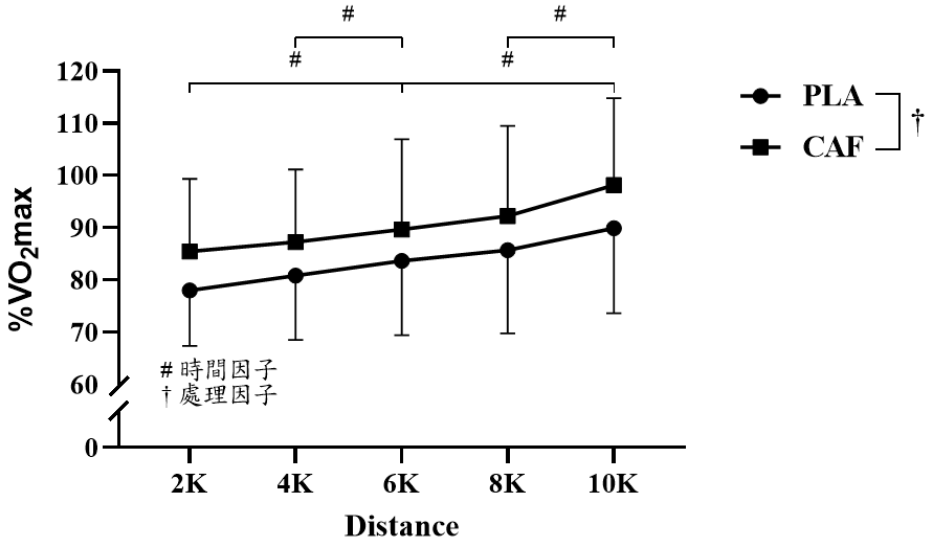

圖 4-4 運動強度在不同實驗處理和 10 公里跑步計時測驗期間不同時間點之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理。

# $p < .05$，時間點間達顯著差異；† $p < .05$，處理間達顯著差異。

第三節　咖啡因增補結合 10 公里跑步測驗對認知功能的影響

一、 一致性情境正確率

本研究參與者在兩次正式實驗中於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即所測得之一致性情境正確率數值，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 ($F = .08, p = .93, \eta^2 = .01$)；在主要效果的部分，處理因子 ($F = 1.17, p = .31, \eta^2 = .12$) 與時間因子皆未達顯著差異 ($F = 1.18, p = .33, \eta^2 = .12$)。

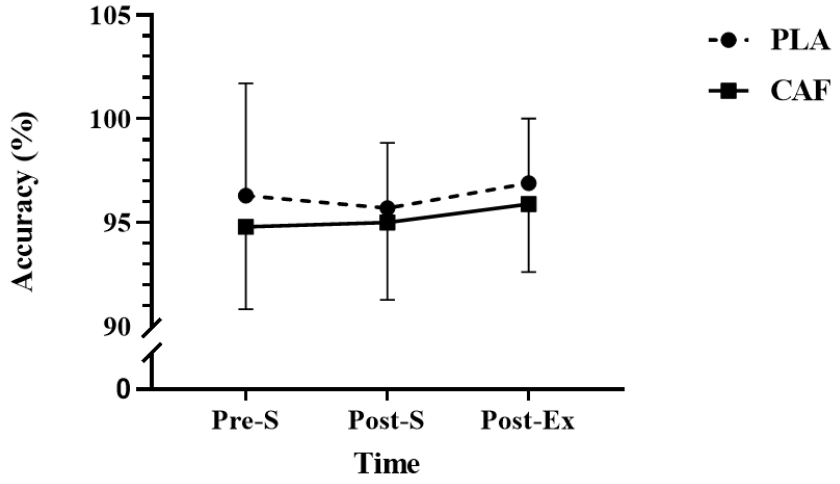

圖 4-5 不同實驗處理和不同時間點一致性情境正確率之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理；Pre-S，增補前；Post-S 增補後；Post-Ex，運動後。

二、 不一致性情境正確率

本研究參與者在兩次正式實驗中於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即所測得之不一致性情境正確率數值，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間交互作用達顯著 ($F = 4.53, p = .03, \eta^2 = .34$) ；經事後比較，發現咖啡因處理在運動後 (92.90 ± 6.44 %) 及增補後 40 分鐘 (91.10 ± 7.37 %) 不一致性情境之正確率皆顯著高於增補前 (84.50 ± 9.34 %) ($p < .05$)。

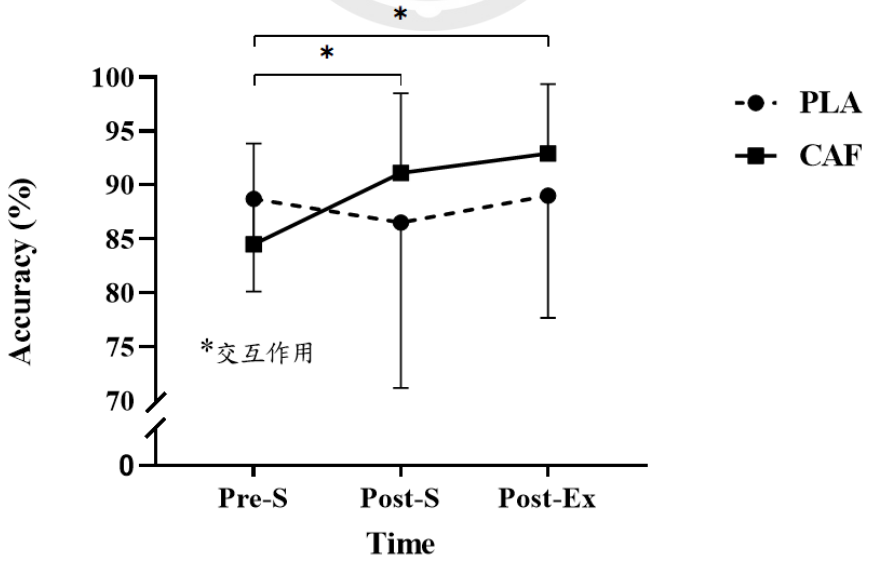

圖 4-6 不同實驗處理和不同時間點不一致性情境正確率之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理；Pre-S，增補前；Post-S 增補後；Post-Ex，運動後。

* $p < .05$，咖啡因處理在該時間點與增補前相比達顯著差異。

三、 一致性情境反應時間

本研究參與者在兩次正式實驗中於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即所測得之一致性情境反應時間數值，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 ($F = 2.05$, $p = .18$, $\eta^2 = .19$)；在主要效果的部分，處理因子未達顯著差異 ($F = 3.66$, $p = .09$, $\eta^2 = .29$) ，僅時間因子達顯著 ($F = 77.53$, $p < .001$, $\eta^2 = .90$)，各時間點之間皆有顯著差異 ($p < .001$)，一致性情境所需之反應時間隨時間下降。(運動後<增補後 40 分鐘<增補前，454.53 ± 15.00 ms < 491.94 ± 17.71 ms < 515.78 ± 18.27 ms)

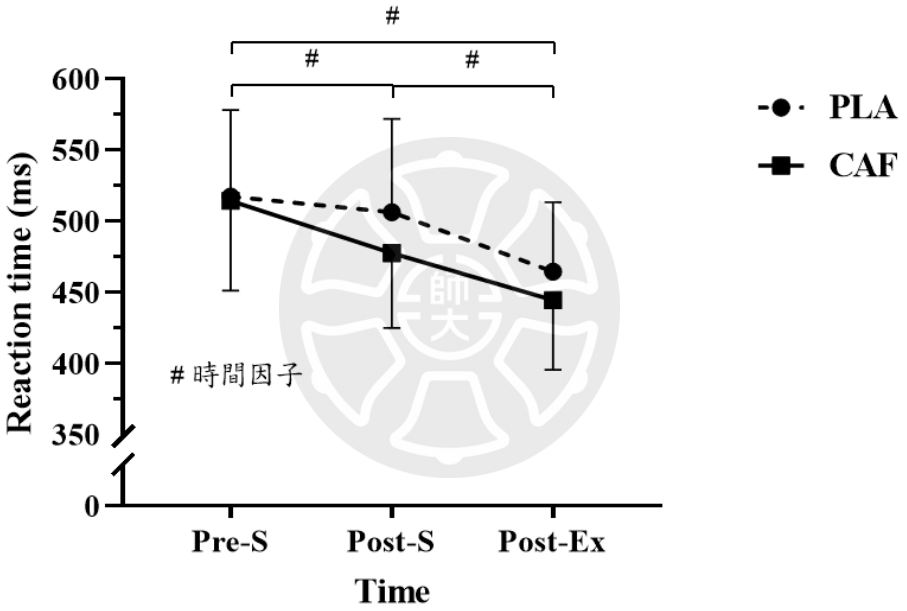

圖 4-7 不同實驗處理和不同時間點一致性情境反應時間之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理；Pre-S，增補前；Post-S 增補後；Post-Ex，運動後。

# $p < .05$，時間點間達顯著差異。

三、 不一致性情境反應時間

本研究參與者在兩次正式實驗中於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即所測得之不一致性情境反應時間，經重覆量數二因子變異數分析後，結果顯示處理因子與時間因子之間並無顯著交互作用 ($F = 1.56$, $p = .24$, $\eta^2 = .15$)；在主要效果的部分，處理因子及

($F = 5.48, p = .04, \eta^2 = .38$) 時間因子皆達顯著 ($F = 16.73, p < .001, \eta^2 = .65$)，咖啡因處理在不一致性情境所需之反應時間 (513.79 ± 27.31 ms) 顯著低於安慰劑處理 (541.91 ± 24.41 ms) ($p < .05$)；在時間因子方面，各時間點之間皆有顯著差異 ($p < .05$)，不一致性情境所需之反應時間隨時間下降。 (運動後<增補後 40 分鐘<增補前，498.08 ± 22.02 ms < 529.80 ± 27.19 ms < 555.66 ± 27.92 ms)。

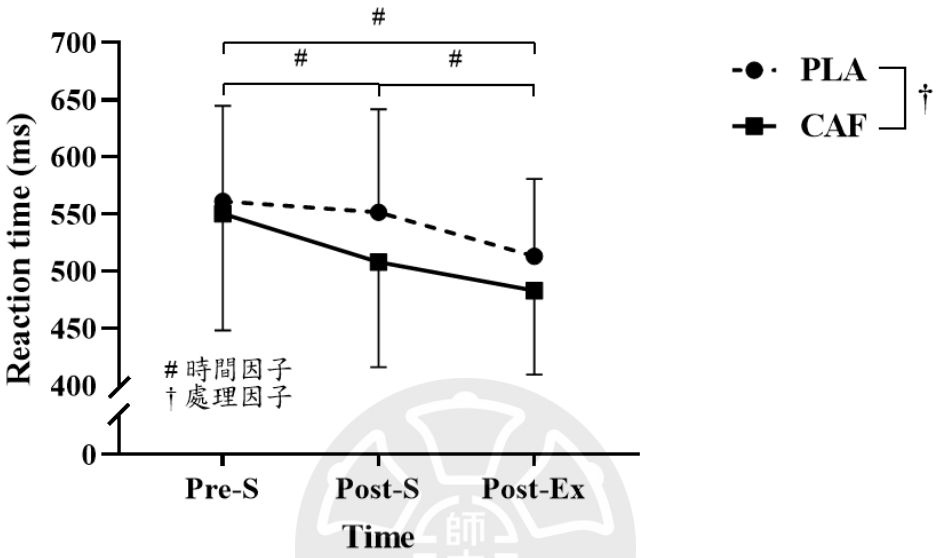

圖 4-8 不同實驗處理和不同時間點不一致性情境反應時間之變化

註：PLA，安慰劑處理；CAF，咖啡因處理；Pre-S，增補前；Post-S 增補後；Post-Ex，運動後。

# $p < .05$，時間點間達顯著差異；† $p < .05$，處理間達顯著差異。

第伍章　討論與建議

本章依第肆章所述之結果，分為第一節，咖啡因增補對 10 公里跑步測驗的影響；第二節，咖啡因增補結合 10 公里跑步測驗對認知功能的影響；第三節，結論與建議等三節加以討論。

第一節　咖啡因增補對 10 公里跑步測驗的影響

本研究目的在探討咖啡因增補對 10 公里跑步表現的影響及咖啡因增補結合 10 公里跑步對認知功能的影響，本節將主要討論咖啡因增補與安慰劑處理對 10 公里跑步測驗的完成時間及其他生理指標的影響。

首先，在 10 公里跑步測驗的完成時間方面，過去統合分析已證實於單次運動前 30 至 90 分鐘增補咖啡因每公斤體重 3 至 6 毫克能改善平均輸出功率及計時測驗完成時間，提升有氧計時測驗表現 (Glaister & Moir, 2019; Southward et al., 2018)。本研究結果發現運動前 45 分鐘增補每公斤體重 6 毫克咖啡因能有效提升運動表現，減短完成 10 公里跑步測驗所需之時間 4.4%，與之前的研究結果相似 (Bridge & Jones, 2006; O'Rourke et al., 2008)。O'Rourke 等 (2008) 分別以 15 名業餘及經過良好訓練的跑者於 5 公里跑步計時測驗前 60 分鐘增補每公斤體重 5 毫克咖啡因或安慰劑，結果發現不論何種層級的跑者，咖啡因皆能有效提升 5 公里跑步計時測驗 1%之運動表現。Bridge 與 Jones 等 (2006) 以 8 名跑者採平衡次序法於 8 公里跑步計時測驗前 60 分鐘分別增補每公斤體重 3 毫克咖啡因、葡萄糖或無增補，結果發現增補咖啡因後完成 8 公里跑步所需之時間較增補葡萄糖或無增補所需之時間短 1.2%。雖然 Hanson 等 (2019) 與 Figueiredo 等 (2021) 的研究未能觀察到增補咖啡因提升 10 公里跑步計時測驗的結果，與 O'Rourke 等、Bridge 與 Jones 等及本研究結果不同的主要差異，推測可能來自於實驗環境 (濕熱環境) (Hanson et al., 2019) 或是增補方式 (咖啡因漱口) 及基因型 (C 等位基因) (Figueiredo et al., 2021) 等研究方法不一致所致。

其他生理指標方面，在心跳率的部分，經咖啡因處理後心跳率有較安慰劑處理高的趨勢，但兩者間未達顯著差異，僅時間因子達顯著，心跳率在運動一開始時 (第 2 公里) 較高，經適應後稍微下降 (第 4 公里)，最後隨著運動時間上升，心跳率持續上升到完成 10 公里時達到高峰 (180.22 ± 2.82 bpm)。Benjamim 等 (2020) 以文獻回顧探討於運動前增補咖啡因對心血管功能的影響，指出增補咖啡因會使在稍低於力竭運動的高強度運動期間心跳率顯著上升。過去研究亦指出增補咖啡因會使隨後計時運動過程中之心跳率顯著上升，原因可能是增補咖啡因後使平均輸出功率增加，增強運動強度，提升運動表現所致 (Glaister & Moir, 2019)。Womack 等 (2012) 以 35 名業餘男性自行車選手於 40 公里自行車計時測驗前 60 分鐘增補每公斤體重 6 毫克咖啡因，結果發現在歷時約 70 分鐘的計時測驗中，經咖啡因處理後平均心跳率顯著較安慰劑處理高。在本研究中經咖啡因處理後完成 10 公里跑步所需時間較短，運動強度亦較高（%最大攝氧量），結果雖可能因樣本數過少而未發現增補咖啡因後運動期間心跳率顯著上升，但咖啡因處理在 10 公里跑步計時測驗期間之平均心跳率仍有較安慰劑處理高的趨勢 (p =.074)，每分鐘平均心跳率增加了 5.98 下，仍高於 Glaister 與 Moir (2019) 在統合分析中所觀察到每分鐘增加 3.28 下的差異，與過往的研究結果類似。造成咖啡因處理心跳率較高的原因除了運動強度增加以外，咖啡因本身亦能透過增加兒茶酚胺釋放，活化交感神經系統，對心血管功能造成影響，使心跳率及血壓上升 (Green et al., 1996)。因此，咖啡因自身作用及運動強度增加皆可能獨立或協同作用導致咖啡因處理在運動過程中心跳率有較高的趨勢。

在運動自覺努力程度方面，過去研究指出增補咖啡因能有效降低非最大努力運動過程中之運動自覺努力程度或是能夠在同等運動自覺努力程度下作更多的功 (Doherty & Smith, 2005)，但在計時測驗等最大努力運動下，Glaiste 與 Moir (2019) 的統合分析則發現運動自覺努力程度在增補咖啡因或安慰劑之間並無顯著差異，也就是增補咖啡因並不會降低最大努力運動期間之自覺努力程度。Desbrow 等 (2012) 以 16 名自行車選手探討增補不同劑量咖啡因對時長約 60 分鐘的自行車計時測驗之影響，結果發現增補每公斤體重 3 及 6 毫克咖啡因皆能提升運動表現並同時維持運動自覺努力程度不變。本研究結果顯示在運動前 45 分鐘增補咖啡因或安慰劑處理間之運動自覺努力程度並無顯著差異，

僅時間因子達顯著，運動自覺努力程度隨運動完成距離增加持續上升至完成 10 公里時到達高峰 (17.46±0.48)，與過去之研究結果一致。咖啡因雖未能降低運動自覺努力程度，但能在同等運動自覺努力程度下提升 10 公里跑步計時測驗之運動表現，其背後機制可能是咖啡因作為腺苷受體拮抗劑，能增加多巴胺釋放，伴隨著血清素 (serotonin) 分泌減少，降低中樞神經系統疲勞，提升覺醒程度，減低對自發活動的抑制 (Davis et al., 2003) 有關。

第二節　咖啡因增補結合 10 公里跑步測驗對認知功能的影響

叫色測驗除了可測量基本的注意力及訊息處理速度，亦用於測量個體抑制控制之能力。抑制控制涉及個體操控其注意力、行為、思想以及情緒，克制強烈的內在前置因素 (internal predisposition) 與外在誘因 (external lure) 做出正確的選擇 (Diamond, 2013)，而因受干擾使反應時間加長稱為史楚普效應 (stroop effect)。

本研究在一致性情境正確率方面，參與者分別於增補前、增補後 40 分鐘及運動後立即進行叫色測驗之檢測，結果顯示不論是交互作用、增補及時間主要效果皆無顯著差異。一般而言，在一致性情境中所需的認知資源較少、難度較低，容易造成天花板效應 (Chang et al., 2017; Hsieh et al., 2018)，本研究中參與者於一致性情境的正確率亦達百分之九十五，所以可能無法反映出增補或運動所產生的影響，只能用於檢測參與者是否認真進行測驗。

過去研究普遍認同增補咖啡因能提升低階認知功能，例如注意力及訊息處理速度，但對於高階認知功能的效果如抑制控制則較不清楚，因此 Einöther 與 Giesbrecht (2013) 藉由搜尋相關文獻並進行整理回顧，提出咖啡因似乎可以改善低階認知功能的正確率及反應時間，且對高階認知功能產生的正面影響不僅是通過提升覺醒程度及訊息處理速度（低階認知功能）。然而在一致情境中，本研究結果發現除了正確率可能因難度較低無法反映出增補或運動所產生的影響以外，反應時間亦未觀察到咖啡因處理的效果，與過去認同咖啡因能提升低階認知功能的研究不同。造成研究結果差異的原因可能與一致情

境之難易度較不一致情境低，以致較難檢測出差異有關外，本研究之樣本數較少可能也是導致咖啡因處理在一致情境的反應時間只有較安慰劑處理快的趨勢 (p =.08) 而未達顯著的原因。相反的，在不一致情境中，可以看到咖啡因處理在運動後及增補後 40 分鐘正確率皆顯著高於增補前，顯示增補咖啡因能提升不一致情境的正確率。而在反應時間方面，咖啡因處理之反應時間亦顯著低於安慰劑處理。咖啡因能顯著提升不一致情境之正確率及縮短反應時間，顯示咖啡因似乎有助於改善不一致情境中之抑制控制能力。Brunyé 等 (2010) 招募 36 名健康大學生以旁側抑制作業進行注意力網絡測試，結果發現於測驗前 30 分鐘增補 200 或 400 毫克咖啡因皆能顯著提升抑制控制能力。Zhang 等 (2020) 以 10 名健康男性於叫色測驗前 60 分鐘增補每公斤體重 3、6 及 9 毫克咖啡因，結果發現在一致性情境中僅增補每公斤體重 3 毫克咖啡因能顯著降低反應時間；在不一致性情境則增補每公斤體重 3 及 6 毫克咖啡因皆能使所需反應時間顯著減少。以上研究皆與本研究之結果相似，增補每公斤體重 6 毫克咖啡因後有助於提升抑制控制能力，此與過去認為增補咖啡因能透過抑制 A1、A2A 腺苷受體結合，增加兒茶酚胺分泌，刺激中樞神經系統，活化前額葉皮質與前扣帶皮層等掌管高階認知功能（抑制控制）腦區的研究結果一致 (Fan et al., 2003; Fisone et al., 2004; Koppelstaetter et al., 2008)。

本研究結果在反應時間方面，一致情境及不一致情境中反應時間皆隨時間下降。過去認為運動與認知功能呈倒 U 形關係，只有在中等強度運動對認知功能產生最佳效果 (Davey, 1973)，在事件相關電位 (event-related potential) 的腦波研究亦發現運動強度將影響中樞神經系統的訊息處理能力，特別是反映了注意力的分配情況的 P3 振幅，在中等強度運動後上升，最大強度運動後下降，顯示在最大強度運動時較少的注意力資源被分配至任務處理 (Kamijo et al., 2004)。雖然過去的系統性回顧及統合分析皆指出高強度甚至最大強度運動對認知功能並沒有任何影響 (Browne et al., 2017; Chang et al., 2012)。但 Hogervorst 等 (1996) 發現在約一小時的自行車計時測驗後，在叫色測驗所需之反應時間顯著減少。此外，Zimmer 等 (2016) 招募 121 名年輕成人以獨立樣本探討進行 35 分鐘不同強度運動對血液中血清素 (serotonin) 濃度及叫色測驗的影響，結果發現高強度運動 (85-90% HRmax) 後血清素濃度顯著高於控制組，而低強度運動 (45-50%

HRmax) 及中強度運動 (65-70% HRmax) 與其餘組別間皆無顯著差異。在基準值時，較高的血清素濃度顯著與較短的反應時間相關，在高強度運動後血清素濃度上升亦與運動後之反應時間下降顯著相關。然而，有些研究仍有不同的發現，並指出參與者的體能水平可能是單次運動與認知功能之中介變項。Budde 等 (2012) 發現只有規律運動組在間歇性最大運動後提升認知功能，並推測可能是因為較高體能水平的參與者在最大努力運動時並不會使生理覺醒程度最大化，會因著練習效果而使覺醒程度維持在中等水平，或是因能更有效運用能源基質，從而提高認知測驗表現。本研究中的參與者亦具有規律運動習慣，因此即便十公里跑步計時測驗同屬於最大努力運動仍同樣有可能透過增加兒茶酚胺及血清素等神經傳遞物質，影響相關事件相關電位，提高覺醒程度及神經反應性 (neural reactivity)，進而縮短反應時間，而且對正確率亦未出現任何不良影響，因此並無產生犧牲正確率使反應時間加快的速度正確性之權衡 (speed-accuracy trade-off)。但由於本研究在反應時間的結果中未發現交互作用，只有時間的主要效果（運動後<增補後<增補前），且本研究亦未有不運動的控制處理，因此難以釐清在運動後反應時間縮短是由 10 公里跑步測驗所導致，或者是單純的學習效應，此為本研究的限制。

過去針對增補咖啡因結合單次運動對抑制控制能力影響的研究亦有類似的發現，Hogervorst 等 (1999) 以 75% Wmax 進行 1 小時腳踏車運動，並於運動前 40 分鐘、運動中第 20 及 40 分鐘，採平衡次序法分別共增補每公斤體重 2.1、3.2、及 4.5 mg 咖啡因結合碳水化合物電解質飲料、碳水化合物電解質飲料或水，結果發現單純喝水在運動後即可降低史楚普效應，所有劑量之咖啡因處理在運動後亦較碳水化合物電解質飲料處理顯著提升抑制控制之能力。另外，Hogervorst 等 (2008) 的研究以 60 % VO2max 進行 150 分鐘腳踏車運動後，將強度調整至 75 % VO2max 並持續運動至力竭，且在運動前、運動中第 55、115 分鐘分別增補含 100 mg 的咖啡因能量棒、不含咖啡因能量棒或調味水，結果發現增補咖啡因能量棒在運動後反應時間顯著較快，且增補效果在不一致性情境中較一致性情境大。綜合上述研究及本研究結果，可見增補咖啡因及單次最大努力運動皆能改善認知功能，且咖啡因之增補效果似乎在不一致情境中較明顯，顯示咖啡因增補可能提升抑制控制之能力。雖然在 Hogervorst 等 (1999) 及 Hogervorst 等 (2008) 的研究

中可以觀察到加成效果，但在本研究中並未發現類似結果，可能的差異在於上述研究增補物含括咖啡因及碳水化合物，因此無法斷定增補物之間與運動是否會產生其他作用交互影響結果。此外，過去相關研究皆是以固定時間及強度的非最大努力運動進行介入，而本研究採用 10 公里最大努力跑步進行介入異於過往研究亦可能是導致未有加成效果的原因之一。

第三節　結論

本研究透過對增補變項的操弄，觀察咖啡因增補對 10 公里跑步計時測驗及認知功能的影響。結果發現增補咖啡因能有效提升 10 公里跑步計時測驗運動表現，且咖啡因可以提升不一致情境的正確率及縮短反應時間，但結合最大努力運動對正確率及反應時間並沒有加成的效果。

參考文獻

王俊智、宋岱芬、祝堅恆、張育愷 (2016)，健身運動與認知功能：大腦神經滋養因子調節機制之探討。*應用心理研究*，64，95-134。

教育部體育署 (2021)，*110 年運動統計*。https://www.sa.gov.tw/Resource/Ebook/637710365422845355.pdf

Aguilar-Navarro, M., Muñoz, G., Salinero, J. J., Muñoz-Guerra, J., Fernández-Álvarez, M., Plata, M. d. M., & Del Coso, J. (2019). Urine Caffeine Concentration in Doping Control Samples from 2004 to 2015. Nutrients, 11(2), 286. https://www.mdpi.com/2072-6643/11/2/286

Ali, A., O'Donnell, J., Starck, C., & Rutherfurd-Markwick, K. (2015). The effect of caffeine ingestion during evening exercise on subsequent sleep quality in females. Int J Sports Med, 36(6), 433-439.

Ali, A., O'Donnell, J., Von Hurst, P., Foskett, A., Holland, S., Starck, C., & Rutherfurd-Markwick, K. (2016, 2016/02/16). Caffeine ingestion enhances perceptual responses during intermittent exercise in female team-game players. Journal of Sports Sciences, 34(4), 330-341. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1052746

Arnsten, A. F. T. (2009, 2009/06/01). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. Nature Reviews Neuroscience, 10(6), 410-422. https://doi.org/10.1038/nrn2648

Beedie, C. J., Stuart, E. M., Coleman, D. A., & Foad, A. J. (2006, Dec). Placebo effects of caffeine on cycling performance. Med Sci Sports Exerc, 38(12), 2159-2164. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233805.56315.a9

Benjamim, C. J. R., Kliszczewicz, B., Garner, D. M., Cavalcante, T. C. F., da Silva, A. A. M., Santana, M. D. R., & Valenti, V. E. (2020, 2020/08/17). Is Caffeine Recommended Before Exercise? A Systematic Review To Investigate Its Impact On Cardiac Autonomic Control Via Heart Rate And Its Variability. Journal of the American College of Nutrition, 39(6), 563-573. https://doi.org/10.1080/07315724.2019.1705201

Bento-Torres, J., Bento-Torres, N. V. O., Stillman, C. M., Grove, G. A., Huang, H., Uyar, F., Watt, J. C., Wollam, M. E., & Erickson, K. I. (2019, 2019/07/01/). Associations between cardiorespiratory fitness, physical activity, intraindividual variability in behavior, and cingulate cortex in younger adults. Journal of Sport and Health Science, 8(4), 315-324. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.03.004

Bridge, C. A., & Jones, M. A. (2006, 2006/04/01). The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. Journal of Sports Sciences, 24(4), 433-439. https://doi.org/10.1080/02640410500231496

Browne, S. E., Flynn, M. J., O'Neill, B. V., Howatson, G., Bell, P. G., & Haskell-Ramsay, C. F. (2017). Chapter 9 - Effects of acute high-intensity exercise on cognitive performance in trained individuals: A systematic review. In M. R. Wilson, V. Walsh, & B. Parkin (Eds.), Progress in Brain Research (Vol. 234, pp. 161-187). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.003

Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Lieberman, H. R., & Taylor, H. A. (2010, 2010/03/01/). Caffeine modulates attention network function. Brain and Cognition, 72(2), 181-188. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.07.013

Budde, H., Brunelli, A., Machado, S., Velasques, B., Ribeiro, P., Arias-Carrión, O., & Voelcker-Rehage, C. (2012, 2012/02/01/). Intermittent Maximal Exercise Improves Attentional Performance Only in Physically Active Students. Archives of Medical Research, 43(2), 125-131. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2012.02.005

Carr, A., Dawson, B., Schneiker, K., Goodman, C., & Lay, B. (2008). Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. Journal of sports medicine and physical fitness, 48(4), 472.

Chang, Y.-K., Alderman, B. L., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Song, T.-F., & Chen, F.-T. (2017, 2017/02/01). Acute exercise has a general facilitative effect on cognitive function: A combined ERP temporal dynamics and BDNF study [https://doi.org/10.1111/psyp.12784]. Psychophysiology, 54(2), 289-300. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/psyp.12784

Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012, 2012/05/09/). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. Brain Research, 1453, 87-101. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068

Connell, C. J., Thompson, B., Kuhn, G., & Gant, N. (2016). Exercise-induced fatigue and caffeine supplementation affect psychomotor performance but not covert visuo-spatial attention. PLoS one, 11(10), e0165318.

Davey, C. P. (1973, 1973/09/01). Physical Exertion and Mental Performance. Ergonomics, 16(5), 595-599. https://doi.org/10.1080/00140137308924550

Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J., & Hand, G. A. (2003, 2003/02/01). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 284(2), R399-R404. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00386.2002

Desbrow, B., Biddulph, C., Devlin, B., Grant, G. D., Anoopkumar-Dukie, S., & Leveritt, M. D. (2012, 2012/01/01). The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. Journal of Sports Sciences, 30(2), 115-120. https://doi.org/10.1080/02640414.2011.632431

Diamond, A. (2013). Executive functions. Annual review of psychology, 64, 135.

Diamond, D. M., Campbell, A. M., Park, C. R., Halonen, J., & Zoladz, P. R. (2007). The temporal dynamics model of emotional memory processing: a synthesis on the neurobiological basis of stress-induced amnesia, flashbulb and traumatic memories, and the Yerkes-Dodson law. Neural plasticity, 2007.

Doherty, M., & Smith, P. M. (2005, 2005/04/01). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis [https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 15(2), 69-78. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x

Duncan, M. J., Dobell, A. P., Caygill, C. L., Eyre, E., & Tallis, J. (2019, 2019/01/02). The effect of acute caffeine ingestion on upper body anaerobic exercise and cognitive performance. European Journal of Sport Science, 19(1), 103-111. https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1508505

Einöther, S. J. L., & Giesbrecht, T. (2013, 2013/01/01). Caffeine as an attention enhancer: reviewing existing assumptions. Psychopharmacology, 225(2), 251-274. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2917-4

Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M., & Posner, M. I. (2003, 2003/01/01/). Cognitive and Brain Consequences of Conflict. NeuroImage, 18(1), 42-57. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1319

Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005, 2005/06/01/). The activation of attentional networks. NeuroImage, 26(2), 471-479. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004

Figueiredo, N., Queiroz, M., Felício, F. P., Ferreira, J., Gerosa-Neto, J., Mota, J. F., da Silva, C. R., Ghedini, P. C., Saunders, B., & Pimentel, G. D. (2021, 2021/04/01/). Acute caffeine mouth rinsing does not improve 10-km running performance in CYP1A2 C-allele carriers. Clinical Nutrition ESPEN, 42, 93-97. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.02.012

Fisone, G., Borgkvist, A., & Usiello, A. (2004, 2004/04/01). Caffeine as a psychomotor stimulant: mechanism of action. Cellular and Molecular Life Sciences CMLS, 61(7), 857-872. https://doi.org/10.1007/s00018-003-3269-3

Funahashi, S. (2001, 03/01). Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex. Neuroscience research, 39, 147-165. https://doi.org/10.1016/S0168-0102(00)00224-8

Glaister, M., & Moir, G. (2019, 2019/06/01). Effects of Caffeine on Time Trial Performance and Associated Physiological Responses: A Meta-Analysis. Journal of Caffeine and Adenosine Research, 9(2), 40-52. https://doi.org/10.1089/caff.2019.0003

Glaister, M., Pattison, J. R., Muniz-Pumares, D., Patterson, S. D., & Foley, P. (2015). Effects of Dietary Nitrate, Caffeine, and Their Combination on 20-km Cycling Time Trial Performance. The Journal of Strength & Conditioning Research, 29(1). https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2015/01000/Effects_of_Dietary_Nitrate,_Caffeine,_and_Their.21.aspx

Goldstein, E. R., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C., Taylor, L., Willoughby, D., Stout, J., Graves, B. S., Wildman, R., Ivy, J. L., Spano, M., Smith, A. E., & Antonio, J. (2010, 2010/01/27). International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 7(1), 5. https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-5

Graham, T. E. (2001, 2001/09/01). Caffeine and Exercise. Sports medicine, 31(11), 785-807. https://doi.org/10.2165/00007256-200131110-00002

Green, P. J., Kirby, R., & Suls, J. (1996). The effects of caffeine on blood pressure and heart rate: A review1. Annals of Behavioral Medicine, 18(3), 201-216. https://doi.org/10.1007/bf02883398

Grgic, J. (2018, 2018/02/07). Caffeine ingestion enhances Wingate performance: a meta-analysis. European Journal of Sport Science, 18(2), 219-225. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1394371

Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2019, 2019/01/01). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review. Sports medicine, 49(1), 17-30. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0997-y

Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018, 2018/03/05). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 15(1), 11. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0

Griffin, É. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, Á. M. (2011, 2011/10/24/). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. Physiology & Behavior, 104(5), 934-941. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.06.005

Hanson, N. J., Martinez, S. C., Byl, E. N., Maceri, R. M., & Miller, M. G. (2019). Increased rate of heat storage, and no performance benefits, with caffeine ingestion before a 10-km run in hot, humid conditions. International journal of sports physiology and performance, 14(2), 196-202.

Hogervorst, E., Bandelow, S., Schmitt, J., Jentjens, R., Oliveira, M., Allgrove, J., Carter, T., & Gleeson, M. (2008). Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 40(10), 1841-1851.

Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., & Jolles, J. (1996, 1996/10/01). Cognitive Performance after Strenuous Physical Exercise. Perceptual and Motor Skills, 83(2), 479-488. https://doi.org/10.2466/pms.1996.83.2.479

Hogervorst, E., Riedel, W., Kovacs, E., Brouns, F., & Jolles, J. (1999, 09/01). Caffeine Improves Cognitive Performance After Strenuous Physical Exercise. International journal of sports medicine, 20, 354-361. https://doi.org/10.1055/s-2007-971144

Hsieh, S.-S., Huang, C.-J., Wu, C.-T., Chang, Y.-K., & Hung, T.-M. (2018). Acute Exercise Facilitates the N450 Inhibition Marker and P3 Attention Marker during Stroop Test in Young and Older Adults. Journal of Clinical Medicine, 7(11), 391. https://www.mdpi.com/2077-0383/7/11/391

Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., & Kuroiwa, K. (2004, 2004/07/01). Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. European journal of applied physiology, 92(3), 305-311. https://doi.org/10.1007/s00421-004-1097-2

Karayigit, R., Naderi, A., Akca, F., Cruz, C. J. G. d., Sarshin, A., Yasli, B. C., Ersoz, G., & Kaviani, M. (2021). Effects of Different Doses of Caffeinated Coffee on Muscular Endurance, Cognitive Performance, and Cardiac Autonomic Modulation in Caffeine Naive Female Athletes. Nutrients, 13(1), 2. https://www.mdpi.com/2072-6643/13/1/2

Kevin De, P., Bart, R., Jeroen Van, C., Lieselot, D., Angelica, V., Kim, T., Robert, B. L., Andres, E. C., & Romain, M. (2017, 01 Oct. 2017). Do Glucose and Caffeine Nasal Sprays Influence Exercise or Cognitive Performance? International journal of sports physiology and performance, 12(9), 1186-1191. https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0598 10.1123/ijspp.2016-0598 10.1123/ijspp.2016-0598 10.1123/ijspp.2016-0598

Koppelstaetter, F., Poeppel, T. D., Siedentopf, C. M., Ischebeck, A., Verius, M., Haala, I., Mottaghy, F. M., Rhomberg, P., Golaszewski, S., Gotwald, T., Lorenz, I. H., Kolbitsch, C., Felber, S., & Krause, B. J. (2008, 2008/01/01/). Does caffeine modulate verbal working memory processes? An fMRI study. NeuroImage, 39(1), 492-499. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.08.037

Laura, P., Jeanick, B., Arnaud, H., & Karen, D. (2019, 01 May. 2019). Effects of Carbohydrate, Caffeine, and Guarana on Cognitive Performance, Perceived Exertion, and Shooting Performance in High-Level Athletes. International journal of sports physiology and performance, 14(5), 576-582. https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0865 10.1123/ijspp.2017-0865 10.1123/ijspp.2017-0865 10.1123/ijspp.2017-0865

Machado, S., Sá Filho, A. S., Campos, C., de Paula, C. C., Bernardes, F., Murillo-Rodriguez, E., Maranhão Neto, G. A., & Lattari, E. (2020, 2020/06/01/). Can caffeine intake combined with aerobic exercise lead to improvement in attentional and psychomotor performance in trained individuals? IBRO Reports, 8, 76-81. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibror.2020.01.002

Magkos, F., & Kavouras, S. A. (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45(7-8), 535-562.

McConnell, T. R. (1988). Practical Considerations in the Testing of V̇ 2 max in Runners. Sports medicine, 5(1), 57-68.

McLellan, T. M., Caldwell, J. A., & Lieberman, H. R. (2016, 2016/12/01/). A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 71, 294-312. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.09.001

McMorris, T., & Hale, B. J. (2012, 2012/12/01/). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. Brain and Cognition, 80(3), 338-351. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.09.001

McMorris, T., Hale, B. J., Corbett, J., Robertson, K., & Hodgson, C. I. (2015, 2015/03/15/). Does acute exercise affect the performance of whole-body, psychomotor skills in an inverted-U fashion? A meta-analytic investigation. Physiology & Behavior, 141, 180-189. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.010

Moriarty, T. A., Mermier, C., Kravitz, L., Gibson, A., Beltz, N., & Zuhl, M. (2019). Acute aerobic exercise based cognitive and motor priming: practical applications and mechanisms. Frontiers in psychology, 10, 2790.

O'Rourke, M. P., O'Brien, B. J., Knez, W. L., & Paton, C. D. (2008, 2008/04/01/). Caffeine has a small effect on 5-km running performance of well-trained and recreational runners. Journal of Science and Medicine in Sport, 11(2), 231-233. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.12.118

Pickering, C., & Kiely, J. (2019, 2019/06/01). What Should We Do About Habitual Caffeine Use in Athletes? Sports medicine, 49(6), 833-842. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0980-7

Piepmeier, A. T., & Etnier, J. L. (2015, 2015/03/01/). Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance. Journal of Sport and Health Science, 4(1), 14-23. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.11.001

Rogers, P. J., Heatherley, S. V., Mullings, E. L., & Smith, J. E. (2013, 2013/03/01). Faster but not smarter: effects of caffeine and caffeine withdrawal on alertness and performance. Psychopharmacology, 226(2), 229-240. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2889-4

Salinero, J. J., Lara, B., & Del Coso, J. (2019, 2019/04/03). Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: a systematic review and meta-analysis. Research in Sports Medicine, 27(2), 238-256. https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1552146

Smit, H. J., & Rogers, P. J. (2000, 2000/10/01). Effects of low doses of caffeine on cognitive performance, mood and thirst in low and higher caffeine consumers. Psychopharmacology, 152(2), 167-173. https://doi.org/10.1007/s002130000506

Southward, K., Rutherfurd-Markwick, K. J., & Ali, A. (2018, 2018/10/01). Correction to: The Effect of Acute Caffeine Ingestion on Endurance Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports medicine, 48(10), 2425-2441. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0967-4

Takahashi, S., & Grove, P. M. (2020, 2020-December-07). Use of Stroop Test for Sports Psychology Study: Cross-Over Design Research [Original Research]. Frontiers in psychology, 11. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.614038

Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. Journal of the american college of cardiology, 37(1), 153-156.

Tarnopolsky, M. A. (2008, 2008/12/01). Effect of caffeine on the neuromuscular system — potential as an ergogenic aid. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 33(6), 1284-1289. https://doi.org/10.1139/H08-121

Tieges, Z., Snel, J., Kok, A., & Richard Ridderinkhof, K. (2009, 2009/03/01/). Caffeine does not modulate inhibitory control. Brain and Cognition, 69(2), 316-327. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.001

Wang, C., Zhu, Y., Dong, C., Zhou, Z., & Zheng, X. (2020). Effects of Various Doses of Caffeine Ingestion on Intermittent Exercise Performance and Cognition. Brain Sciences, 10(9), 595. https://www.mdpi.com/2076-3425/10/9/595

Wilke, J., Giesche, F., Klier, K., Vogt, L., Herrmann, E., & Banzer, W. (2019, 2019/06/01). Acute Effects of Resistance Exercise on Cognitive Function in Healthy Adults: A

Systematic Review with Multilevel Meta-Analysis. Sports medicine, 49(6), 905-916. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01085-x

Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, M., Luden, N. D., Dunham, W., & Hancock, M. (2012, 2012/02/06). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 9(1), 7. https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-7

Yang, A., Palmer, A. A., & de Wit, H. (2010, 2010/08/01). Genetics of caffeine consumption and responses to caffeine. Psychopharmacology, 211(3), 245-257. https://doi.org/10.1007/s00213-010-1900-1

Zhang, B., Liu, Y., Wang, X., Deng, Y., & Zheng, X. (2020). Cognition and brain activation in response to various doses of caffeine: A near-infrared spectroscopy study. Frontiers in psychology, 11, 1393.

Zimmer, P., Stritt, C., Bloch, W., Schmidt, F.-P., Hübner, S. T., Binnebößel, S., Schenk, A., & Oberste, M. (2016, 2016/10/01). The effects of different aerobic exercise intensities on serum serotonin concentrations and their association with Stroop task performance: a randomized controlled trial. European journal of applied physiology, 116(10), 2025-2034. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3456-1

附錄一 研究參與者知情同意書

研究計畫名稱：咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響

1. 參與者基本資料：

參與者姓名：　　性別：

出生日期：　　年齡：

通訊地址：

電話：

緊急聯絡人姓名/與參與者關係：

通訊地址：

電話：

2. 研究背景與目的：

背景：過去已有統合分析指出運動對於認知功能具有正面的效果，同時也有研究指出咖啡因不但可以改善運動表現，也有助於提升認知功能，惟目前對於最大耐力固定距離的運動結合咖啡因增補對認知功能之影響仍有待釐清。**目的：**探討咖啡因增補對認知功能及 10 公里跑步表現的影響。

3.研究方法：

（1）實驗時間：民國 111 年 4 月至 12 月

（2）實驗地點：國立臺灣師範大學公館校區運動生理學實驗室

（3）研究參與者：

符合以下條件者，適合參加本研究：

① 20 至 35 歲之成年男性。

② 身體質量指數 $18.5 \leq BMI < 27$。

③ 有耐力運動習慣（能在一個小時內完成 10 公里跑步）。

④ 每日咖啡因攝取量 ＜200 毫克且無對咖啡因過敏者。

⑤ 無酗酒、抽煙之習慣。

⑥ 無心血管相關疾病、呼吸功能障礙及病史。

⑦ 無下肢骨骼肌肉相關疾病。

⑧ 目前無運動傷害或被醫師告知不得進行激烈運動。

⑨ 目前無服用處方藥、成藥或其他增補劑。

⑩ 無辨色之障礙。

（4）實驗流程：

本研究每位參與者將共進行四次的實驗，包括實驗前測、熟悉實驗及兩次正式實驗。在實驗前測當日，首先測量身高體重及填寫基本資料，而後進行跑步機遞增負荷最大攝氧量測驗，以設定其後兩次正式實驗中之熱身速度。在正式實驗前七日，讓參與者熟悉完整實驗流程，包括認知測驗的操作。其後兩次實驗處理，分別增補每公斤

體重 6 毫克咖啡因與安慰劑兩種不同處理後，進行 10 公里計時跑步測驗，於咖啡因增補前、增補後 40 分鐘與跑步結束後立即進行認知測驗。

5. 研究預期效果：

本研究預期可以釐清咖啡因增補是否會改善立即性最大努力耐力運動表現，及在最大努力耐力運動後對認知功能是否有加成之效益。

6. 研究進行中之禁忌或限制活動：

本實驗進行中，所有參與者將被要求配合下列事項：

（1）參與者於每次實驗前 24 小時，不得攝取酒精、咖啡因及其他刺激性飲食或營養補充品，且自實驗前三天起進行飲食紀錄。

7. 研究之退出與中止：

您可以決定是否參加本實驗，實驗過程中您可隨時撤銷同意，退出實驗，不須任何理由。若欲撤回同意，不再參與研究，可透過電話 09**-******聯絡，以利協助您退出。

8. 參與者權利與義務：

（1）研究人員已經妥善地向您說明了研究內容與相關資訊，並告知可能影響您參與研究意願的所有資訊。

（2）若您全程完成本實驗，本研究將提供您新台幣 2500 元營養補助費。

（3）若您有任何疑問，可向研究人詢問，研究人員將具實回答。

（4）如您同意成為本研究參與者，請您簽署一式兩份同意書，其中一份交給您留存。

9. 參與者聲明：

參與者聲明

我已了解以上的資訊且同意參與此項研究計畫。

參與者姓名（正楷）簽名_____日期_____

法定代理人姓名（正楷）簽名_____日期_____

*若您不是參與者或其法定代理人，但因實際需要，參與者或其法定代理人（暫時）無法簽署本同意書而需由您代簽。請用正楷書寫您的姓名，並寫出您與參與者的關係：

姓名（正楷）簽名_____日期_____

關係_____（有同意權之人為配偶或同居之親屬） 身份證字號_____

通訊地址_____聯絡電話_____

研究者聲明

我本人已對上述人士解釋過本研究，包括本研究的目的、方法與參加本研究可能的相關危險性和效益。參與者所提出之疑問，均予以答覆。

研究者姓名（正楷）簽名_____（簽字） 日期_____

研究單位：國立臺灣師範大學體育與運動科學系
研究生：陳宥澄
連絡電話：09**-******
E-mail：**********@gmail.com
指導教授：王鶴森

附錄二 參與者健康問卷調查表

一、個人資料表：

編號：_____

出生日期：_____年_____月_____日

身高：_____公分　　體重：_____公斤

平時是否有規律的運動習慣：☐是　　☐否

一星期的運動時數：☐少於一小時　　☐多於一小時

二、過去病史：

對大多數的人來說，從事身體活動應該不會有任何問題或危險，而此問卷的設計是確認出某些從事身體活動可能不太適合的人，而那些人若要從事身體活動，則必須要在醫學的監督下才能進行。

就你所知道的仔細回答以下問題，並在“是”或“否”的 ☐ 內打 ✓。

是☐ 否☐ 醫生曾告訴您有關心臟方面的問題嗎？

是☐ 否☐ 您常覺得胸部疼痛嗎？

是☐ 否☐ 您常常覺得虛弱或頭暈眼花嗎？

是☐ 否☐ 您的血壓過高嗎？

是☐ 否☐ 您有在服用任何心臟病或高血壓的藥物嗎？

是☐ 否☐ 醫生曾告訴您患有因運動而骨骼關節惡化的問題（像關節炎）嗎？

是☐ 否☐ 有其他不能參加運動的理由（上述未提）嗎？

上述問題中，如有任何一個問題回簽「是」的話，便不能接受運動訓練或體適能測驗。

姓名：

填表日期：中華民國_____年_____月_____日

附錄三 飲食與運動紀錄表

日期							
早上							
下午							
晚上							
運動類型與運動量							