

國立臺灣師範大學運動與休閒學院運動競技學系

碩士論文

Department of Athletic Performance

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

增補低劑量咖啡因對高強度反覆跑步衝刺表現之急性影響

Acute Effect of Low Dose Caffeine Supplementation on

Multiple Sprint Running Performance

方偉業

FONG, Wai-Yip

指導教授：何仁育 博士

Advisor: HO, Jen-Yu, Ph.D.

中華民國 109 年 7 月

July 2020

謝 誌

回望整個碩士生涯，我非常感激家人支持和給予我來台追尋夢想的機會，同時感謝姐姐們在港照顧父母，使我無後顧之憂地完成學業。希望未來的日子可以取得成就後，回饋家人和社會。

首先，我好感謝指導教授何仁育 副教授在我修讀碩士期間，給予我好多機會讓我學習。不管是學術和價值觀上都讓我成長，尤其是運動營養方面上，老師為了讓我們有更多機會實踐營養師的職責，特意申請計畫案讓我們有更多機會去接觸選手，令我可以獲得經驗並了解更多專業知識。在學術上，老師令我了解嚴謹和仔細，這些都使我未來職場生涯更有競爭力。

另外，我想感謝系上每一個曾經幫助過我的人，因為初來台北，其實有好多台北的地方，文化都與高雄不同，所以剛來台北時讓我感到不適應，但是系上的助教一亮暉老師和郁偉老師不厭其煩地解答我的問題，讓我更快適應系上和台北的文化。除此之外，我好感謝研究伙伴一品博和政宏，在我進行實驗時幫助我完成實驗並打理一些實驗中的瑣事，讓我可以更集中地完成實驗。碩士一路上認識了好多界別的朋友與同學，這些交流中都讓我學習不少另類的知識或想法，讓我明白學海無涯，同時他們都十分關懷我在台生活是否習慣，這些都讓我感受到滿滿的人情味。

最後，我好感謝運動競技系給予我修讀碩士的機會，去完成一開始對自己的期許，同時亦讓我了解自己不足的地方，不管在知識和做人價值上自己仍需努力。同時碩士班的所見所聞都是讓我茁壯成長的養份，希望未來可以達成當初自己的期許和人生目標，之後可以回饋母校和社會。

增補低劑量咖啡因對高強度反覆跑步衝刺表現之急性影響

2020 年 7 月

研究生：方偉業
指導教授：何仁育

摘要

目的：本研究旨在探討每公斤體重 3 毫克低劑量咖啡因增補 (caffeine, CAF) 對於高強度反覆跑步衝刺表現之影響。**方法：**本研究招募 12 名大專甲組男子籃球員 (年齡： 20.1 ± 1.2 歲、身高： 185.6 ± 6.7 公分、體重： 85.6 ± 9.2 公斤)，以雙盲、平衡次序與重複量數進行 CAF 以及同劑量安慰劑 (placebo, PLA) 增補處理，在增補後一小時後進行高強度反覆跑步衝刺測驗 (2 組 12×30 m)，反覆衝刺間休息 30 秒，組間休息 4 分鐘，並收集反覆衝刺測驗的平均衝刺時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、衝刺總時間、疲勞增加率、心跳率和詢問運動自覺程度以及在休息時、增補 1 小時後及衝刺後 3 分鐘檢測血乳酸，以重複量數二因子變異數分析進行統計。**結果：**第二組 (共 12 趟) 的平均衝刺時間、疲勞增加率、心跳率以及運動自覺程度，不管 CAF 和 PLA 處理都會比第一組表現 (共 12 趟) 為差。整體平均衝刺時間 CAF 比 PLA 有減少的趨勢 ($p=0.55$)。整體衝刺的最慢衝刺時間方面，CAF 是短於 PLA (CAF vs PLA, 4.828 ± 0.123 s vs 4.889 ± 0.162 s)。在第二組的衝刺平均衝刺時間表現方面中，不論那個區段 CAF 是顯著低於 PLA (CAF vs PLA, 4.675 ± 0.148 s vs 4.732 ± 0.149 s)。在第二組衝刺運動自覺程度表現方面，在第一個區段與第二個區段中，CAF 是顯著低於 PLA (CAF vs PLA, 16 ± 3 , 18 ± 2 vs 18 ± 3 , 19 ± 1)。關於最快衝刺時間、衝刺總時間、疲勞增加率、心跳率以及血乳酸，CAF 與 PLA 均無顯著差異。**結論：**每公斤體重 3 毫克低劑量 CAF 增補可能透過運動自覺程度的降低，進而改善第二組高強度反覆跑步衝刺表現，即高強度反覆跑步衝刺的後期表現。

關鍵字：高強度間歇訓練、運動增能劑、籃球運動

Acute Effect of Low Dose Caffeine Supplementation on Multiple Sprint Running Performance

July, 2020

Author : FONG, Wai-Yip

Advisor : HO, Jen-Yu

Abstract

Purpose: The aim of this study was to examine acute effect of low dose caffeine (3 mg/kg CAF) supplementation on multiple sprint running performance. **Methods:** Using a double-blind, counter-balanced order, and repeated measures design, 12 male division one college basketball players (Age: 20 ± 1.2 , Height(cm): 185.6 ± 6.7 , Weight(kg): 85.6 ± 9.2) ingested a gelatin capsule containing either caffeine (3 mg/kg, CAF) or placebo (PLA) 1 hr before performing an indoor multiple sprint running trial (2 sets of 12×30 m; repeated at 30-s intervals; 4-min rest intervals between 2 sets). Sprint times were recorded via smart speed PRO and earlobe blood samples were drawn to evaluate rest, pretest and posttest lactate concentrations. Heart rate was monitored continuously throughout the tests, with RPE recording after every sprint. **Results:** Average sprint time, fatigue, heart rate, and RPE were significantly greater in the 2nd set than in the first set, regardless of supplementation. However, CAF supplementation resulted in a trend reduction of average sprint time ($p=.055$) and a significant lower of slowest sprint time ($p < .05$; CAF vs PLA, 4.828 ± 0.123 s vs 4.889 ± 0.162 s). In the 2nd set, the average sprint time of CAF supplementation was significantly lower than PLA supplementation, regardless of stages (CAF vs PLA 4.675 ± 0.148 s vs 4.732 ± 0.149 s). In addition, RPE of CAF supplementation was significantly lower than PLA supplement in the first and second stage (CAF vs PLA, 16 ± 3 , 18 ± 2 vs 18 ± 3 , 19 ± 1). In contrast, there were no significant effects of CAF supplementation on fastest sprint time, total sprint time, fatigue, heart rate, and lactate. **Conclusion:** Low does (3mg/kg) caffeine supplementation can improve average sprint time of second set of multiple sprint running trial by reducing rating of perceived exertion.

Keywords : high-intensity interval training, ergogenic supplement, basketball



目次

謝誌.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii
目次.....	v
表次.....	viii
圖次.....	ix
第壹章 緒論.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 研究目的.....	4
第三節 研究假設.....	5
第四節 研究範圍與限制.....	5
第五節 研究重要性.....	5
第六節 名詞操作性定義.....	6
第貳章 文獻探討.....	7
第一節 咖啡因增補與無氧能力表現.....	7
第二節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現的文獻評論.....	10
第三節 反覆衝刺間的休息比對咖啡因增補效益之影響探討.....	12
第四節 文獻總結.....	15

第參章 研究方法	17
第一節 研究對象.....	17
第二節 實驗日期與地點.....	17
第三節 實驗設計.....	18
第四節 實驗方法與步驟.....	20
第五節 實驗控制.....	26
第六節 資料處理與分析.....	26
第肆章 結果	27
第一節 受試者基本資料.....	27
第二節 高強度反覆跑步衝刺的表現.....	28
第三節 高強度反覆跑步衝刺時的生理反應.....	37
第伍章 討論	46
第一節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現之影響.....	46
第二節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺時生理指標之影響.....	50
第三節 結論與建議.....	52
參考文獻	53
附錄	58
附錄一 健康及訓練情況調查表.....	58

附錄二 受試者須知.....	60
附錄三 受試者同意書.....	61
附錄四 咖啡因食/飲品成分表.....	62
附錄五 飲食紀錄表.....	63
附錄六 熟悉期實驗記錄表.....	64
附錄七 正式實驗紀錄表.....	66



表 次

表 1 低劑量咖啡因增補對高強度反覆衝刺表現之影響探討.....	12
表 2 反覆衝刺間的休息比對咖啡因增補效益之影響探討.....	15
表 3 受試者基本資料.....	27



圖 次

圖 1 實驗設計圖.....	19
圖 2 光閘.....	20
圖 3 攜帶式血乳酸分析儀.....	20
圖 4 Polar 無線心跳紀錄錶.....	20
圖 5 咖啡因粉末與麥芽糊精粉末.....	22
圖 6 實驗處理流程圖.....	22
圖 7 心率帶配戴位置.....	23
圖 8 咖啡因與安慰劑處理的平均衝刺時間趨勢.....	28
圖 9 增補咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的平均衝刺時間.....	29
圖 10 第一組衝刺下，不同處理間與不同衝刺趟數下的平均衝刺時間.....	30
圖 11 第二組衝刺下，不同衝刺趟數下的平均衝刺時間.....	31
圖 12 第二組衝刺下，不同處理間的平均衝刺時間.....	32
圖 13 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的最快衝刺時間.....	33
圖 14 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的最慢衝刺時間.....	34
圖 15 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的衝刺總時間.....	35
圖 16 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的疲勞增加率.....	36
圖 17 咖啡因與安慰劑處理的平均心跳率趨勢.....	37
圖 18 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的平均心跳率.....	38
圖 19 第一組衝刺下，不同處理間與不同衝刺趟數下的平均心跳率.....	39
圖 20 第二組衝刺下，不同處理間與不同衝刺趟數下的平均心跳率.....	40
圖 21 咖啡因與安慰劑處理的平均運動自覺強度趨勢.....	41
圖 22 咖啡因與安慰劑處理在第一組，第二組的平均運動自覺強度.....	42
圖 23 第一組衝刺下，不同處理間與不同衝刺趟數下的平均運動自覺強度.....	43

圖 24 第二組衝刺下，不同處理間與不同衝刺趟數下的平均運動自覺強度.....44

圖 25 咖啡因與安慰劑處理在不同時間點的血乳酸變化.....45



第壹章 緒論

第一節 前言

日常生活中咖啡因 (caffeine, CAF) 廣泛存在於許多食物 (如：巧克力)、飲品 (如：咖啡、可樂、運動飲料及茶) 及藥品 (消炎止痛劑、中樞神經興奮劑及體重控制藥品) 中，為容易取得且方便攝取之物質。雖然 CAF 在飲食中並無高度的營養價值，但常被作為運動競賽之增補劑 (ergogenic aid) 並受到運動員的喜愛 (Sökmen et al., 2008)。在 2004 年國際奧林匹克委員會 (International Olympic Committee, IOC) 把 CAF 從禁止使用的物質名單上剔除後 (Astorino & Roberson, 2010)，CAF 更加受到運動員與教練喜愛，使 CAF 成為更普及的運動增補劑。由於 CAF 是一種黃嘌呤化合物 (1,3,7-trimethylxanthine) 為中樞神經興奮劑，透過 CAF 的增補可以減少疲勞、增強認知能力和集中力等 (Glade, 2010)。過去研究結果支持 CAF 增補 (5-9 mg/kg) 可以延緩疲勞的產生並改善有氧運動的表現 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Graham, 2001; Pasma, Van Baak, Jeukendrup, & De Haan, 1994)。然而，研究結果並沒有發現 CAF 效益具有劑量反應，甚至在高劑量 (9-13 mg/kg) 的增補下會出現副作用，讓受試者產生不良反應 (Evans & Griffiths, 1991; Graham & Spriet, 1995; Karacan et al., 1976; Sökmen et al., 2008)。CAF 劑量反應的研究結果讓學者開始研究增補 CAF 有效劑量之最低閾值，研究結果支持低劑量 CAF 增補 (3-4 mg/kg) 除了保有提升有氧運動表現之增補效果外 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Pickering & Kiely, 2019; Spriet, 2014)，同時有研究指出攝取 3 mg/kg CAF 後，並不會大幅改變心跳率、兒茶酚胺濃度、血乳酸濃度等生理反應 (Graham & Spriet, 1995)。上述文獻表示低劑量 CAF 增補同樣可以改善有氧運動表現，同時不會給予身體太多生理上負擔。

儘管有氧能力是多數運動員所需具備的重要體能，然而在某些運動項目中，特別是團體球類運動項目，有氧能力並非是致勝的唯一關鍵，運動員是否具備高強度運動 (high-intensity exercise) 表現的能力也扮演重要的角色，更是左右比賽勝負的關鍵。而上

述提到 CAF 是一種中樞神經興奮劑，有學者認為 CAF 會阻斷腺苷酸接受器，影響中樞神經系統，進而提升高強度運動表現 (林文煌，1996；李佳倫、鄭景峰，2011；Astorino & Roberson, 2010)。加上中樞神經系統的活化會增加警覺性和專注力，使運動員的疲勞感覺不易察覺，因而提升高強度運動表現 (Glade, 2010)；此外，CAF 亦能影響血漿中鉀離子濃度，從而潛在地延遲疲勞 (Lindinger, Williams, & Hawke, 1996; Renaud, 2002)。因此，學者開始進一步探討 CAF 增補是否也可以促進高強度運動表現。Turley, Eusse, Thomas, Townsend 與 Morton (2015) 使用 3 mg/kg CAF 增補下進行 30 秒腳踏車衝刺測驗，結果顯示 CAF 能提升功率峰值。Duncan, Dobell, Caygill, Eyre 與 Tallis (2019) 用 5 mg/kg CAF 增補下進行 30 秒手搖車衝刺測驗，研究結果也證實 CAF 增補也可以影響高強度運動表現 (Duncan et al., 2019; Turley et al., 2015; Wiles et al., 1992)。

上述提到，在團體球類運動項目中，例如籃球、足球、手球等，運動員是否具備高強度運動 (high-intensity exercise) 表現能力，像是短、中距離的衝刺及短時間反覆衝刺的表現能力，也會左右比賽的勝負。因此，球類運動員在訓練上都會著重高強度運動的體能訓練，例如高強度間歇訓練或高強度反覆衝刺，以提升在比賽場上高強度運動表現。另有研究指出高強度間歇訓練可以有效提升非運動員和運動員的無氧能力 (如：功率峰值) (Hazell, MacPherson, Gravelle, & Lemon, 2010; Monks, Seo, Kim, Jung, & Song, 2017)；並減少過度訓練的風險 (Laursen, 2010)。由此可見高強度反覆衝刺或間歇衝刺對於球類團體運動項目是不可或缺的能力，而具備優異的反覆衝刺能力也能提升體能訓練之效益 (更進一步提升有氧與無氧能力)。儘管過去的文獻已提出 CAF 增補可提升高強度運動 (如：腳踏車衝刺表現)，但對於高強度反覆衝刺是否有同樣的效果？

目前針對高強度反覆衝刺表現的研究中，多數使用中劑量 (5-8 mg/kg) CAF 作為主要補劑量。Glaister 等 (2008) 利用 5 mg/kg CAF 增補，高強度反覆跑步衝刺為單組 12 × 30 m，結果顯示 CAF 顯著改善初期的衝刺表現。Carr, Dawson, Schneiker, Goodman 與 Lay (2008)，利用 6 mg/kg CAF 增補 5 組 6 × 20 m 反覆跑步衝刺，結果顯示 CAF 顯著減少衝刺總時間。以上結果都顯示中劑量 CAF 都能改善高強度反覆衝刺的表現。但目前只有少數文獻是使用低劑量 CAF 增補，且結果呈現不一致 (Collomp, Ahmaidi, Chatard,

Audran, & Prefaut, 1992 ; Del Coso et al., 2012 ; Ermolao et al., 2017) 。Del Coso 等 (2012) 採用 19 名足球員，使用 3 mg/kg CAF 增補，進行單組 7 × 30 m 反覆跑步衝刺，結果顯示可以增加衝刺時間。但 Ermolao 等 (2017) 研究卻呈現相反結果，採用 12 名足球員，使用 4 mg/kg CAF 增補進行單組 11 × 20 m 反覆跑步衝刺，結果顯示沒有改善衝刺時間。低劑量 CAF 增補是否能改善高強度反覆衝刺的表現，目前研究結果並不一致，還需要更多研究去證實。

除了劑量可能會影響 CAF 在提升高強度反覆衝刺的運動表現外，有相關研究指出，高強度反覆跑步衝刺間的休息時間長短也可能會影響 CAF 對高強度反覆跑步衝刺的增補效益 (Carr et al., 2008; Glaister et al., 2008; Lee, Cheng, Lin, & Huang 2012; Paton, Hopkins, & Vollebregt, 2001; Spencer, Bishop, Dawson, & Goodman, 2005) 。Paton 等 (2001) 進行單組 10 × 20 m，反覆衝刺間的休息時間為 10 秒 (工作/休息比約 1 : 3)，在使用 6 mg/kg 的 CAF 增補情況下，卻未能改善衝刺表現。Glaister 等 (2008) 研究卻呈現相反結果，使用 5 mg/kg CAF 增補，高強度反覆跑步衝刺為單組 12 × 30 m；每次衝刺間的休息時間為 35 秒 (工作/休息比約 1 : 7) 結果顯示 CAF 增補能顯著改善初期的衝刺表現。其後 Lee 等 (2012) 進行反覆衝刺間的不同休息時間對於 CAF 增補效果的影響，使用 6 mg/kg CAF 增補進行腳踏車衝刺，反覆衝刺間的休息時間分別有 90 秒和 20 秒，結果休息 90 秒的功率峰值和平均功率的表現比休息 20 秒高。綜合上述的文獻，衝刺間的休息時間長短會影響磷酸肌酸、三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP) 的再合成 (Glaister, 2005; Holloszy, 1982; Spriet, Lindinger, McKelvie, Heigenhauser, & Jones, 1989)，因此提出高強度反覆衝刺間工作/休息比 > 1 : 5.5 的建議，較可能彰顯出 CAF 對高強度反覆跑步衝刺的增補效益，進而改善高強度運動表現 (Lee et al., 2012)。

過去的多數研究，高強度反覆衝刺的測驗方法都以單組衝刺為主，只有少數研究使用多組高強度反覆衝刺；但是球類運動在體能訓練上並不會只進行單組的訓練，多數會進行兩組或以上的訓練 (何正峰、李文志、王錠堯，2008；何正峰、石俊益、詹貴惠、王錠堯，2012)。Carr 等 (2008) 進行 5 組 6 × 20 m 衝刺測驗，然而作者並沒有進一步去分析 CAF 處理是否能繼續改善第二組表現，因此無法確定 CAF 增補效益是否可以延

續至第二組高強度反覆衝刺訓練的表現。其它相關研究指出，低劑量 CAF 增補下高強度運動（如：跑步）的效益可以高達 5 分鐘，有氧運動則可以維持 60 分鐘 (Graham & Spriet, 1995; Wiles et al., 1992)，基於上述文獻的結果，CAF 能維持部份高強度運動和有氧運動時間，但 CAF 在高強度反覆跑步衝刺增補效益到底可以維持多長時間，又可否改善第二組的高強度反覆衝刺表現，值得去進一步探討。

綜合上述的文獻，目前仍不清楚低劑量 CAF 增補對高強度反覆跑步衝刺表現影響的效果為何；此外，反覆衝刺間的休息時間是否會影響到 CAF 增補效益，合適的工作/休息比為何，也尚未釐清。基於籃球運動在比賽中經常使用到高強度反覆衝刺，但目前尚無針對籃球員進行相關的研究，因此，本研究希望以籃球運動員為研究對象，探討低劑量 3 mg/kg CAF 對高強度反覆跑步衝刺表現的影響，同時參考 Lee 等 (2012) 建議（工作/休息比率 > 1 : 5.5 時，可能可以改善 CAF 對高強度運動表現增補效益的建議），以及 McInnes, Carlson, Jones 與 McKenna (1995) 的研究結果（籃球比賽中工作/休息比為 1 : 6），探討在低劑量 3 mg/kg CAF 增補時，高強度反覆衝刺間的工作/休息比 (1 : 6) 是否為合適的比例，希望本研究結果可以給予籃球選手在體能訓練上的建議，更符合比賽的情境，進而提升籃球員在場上的衝刺表現。

第二節 研究目的

本研究主要目的在於：

- 一、低劑量咖啡因增補後對高強度反覆跑步衝刺（包括高強度反覆衝的總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率）的影響。
- 二、低劑量咖啡因增補後可否延續改善第二組的高強度反覆跑步衝刺（包括高強度反覆衝的總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率）。

第三節 研究假設

本研究之假設為：

- 一、低劑量咖啡因增補後，可以改善高強度反覆衝刺的總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率。
- 二、低劑量咖啡因增補仍可改善第二組高強度反覆衝刺的總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率。

第四節 研究範圍與限制

- 一、本研究以大專籃球甲組之男性運動員為受試者，因此本研究所得之結果只能推論到相同條件的受試者。
- 二、受試者運動測試前一天的訓練強度和訓練量無法控制，但本研究會要求受試者維持飲食與生活作息一致，以減少因為訓練強度和訓練量的不同影響高強度反覆衝刺表現的差異。
- 三、本研究無法控制測驗場地的溫度和相對濕度，因此本研究可能會因溫度和相對濕度導致高強度反覆衝刺表現受到影響。

第五節 研究重要性

隨著籃球比賽水平的進步，體能教練為了針對選手的體能表現會進行不同訓練，以達到提升選手表現，從而增加獲勝的機會，因此可以利用營養增補的方法，更進一步提升選手訓練時的強度以及效果。而 CAF 已被證實可以改善有氧運動和高強度運動表現，但是當增補劑量過多 (9-13 mg/kg) 時會有副作用，使選手減低增補意願。而目前針對 CAF 對高強度反覆衝刺能力的研究多數以中劑量和單組的衝刺為主，同時並沒有考慮 CAF 增補效益的時間性。除此之外，有文獻證實低劑量 CAF (3-4 mg/kg) 也可以改善有氧運動表現，同時並不會對身體產生太大生理負擔。因此本研究欲探討低劑量 CAF 對

高強度反覆跑步衝刺能力的影響以及增補效益的時間性，期望本研究結果可以找出增補 CAF 有效劑量之最低閾值和提供體能教練作為籃球體能訓練上的參考，提升訓練時的高強度反覆跑步衝刺能力表現，讓長期的訓練後更能進一步提升無氧能力，最後達到改善選手在比賽場時的運動表現。

第六節 名詞操作性定義

一、高強度反覆跑步衝刺測驗

是根據過去研究 (Glaister et al., 2008 ; Lee et al., 2012) 作為基礎加以修改，受試者在過程中穿戴心率錶 (Polar H10, JOHNSON, United States of America)，並在光閘 (Smart Speed PRO, Fusion Sport, United States of America) 中進行 2 組 12×30 m 的反覆衝刺。

二、疲勞增加率

本研究疲勞增加程度的判定，利用各組 12 次衝刺時間進行迴歸方程式；換算出受試者各組衝刺時間斜率代表疲勞增加率。

三、平均衝刺時間

受試者的 24 次衝刺時間加總後除以 24，作為平均衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 次衝刺時間分別進行計算，得出組別的平均衝刺時間。

四、最快衝刺時間

受試者 24 次衝刺時間，選取衝刺時間最快，作為最快衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 次衝刺時間分別進行篩選，得出組別的最快衝刺時間。

五、最慢衝刺時間

受試者 24 次衝刺時間，選取衝刺時間最慢，作為最慢衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 次衝刺時間分別進行篩選，得出組別的最慢衝刺時間。

第貳章 文獻探討

本章主要針對咖啡因增補處理與高強度反覆衝刺運動進行相關文獻的探討，分成以下四個章節進行敘述：一、咖啡因增補與無氧能力表現；二、低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現的文獻評論；三、反覆衝刺間的休息比對咖啡因增補效益之影響探討；四、文獻總結。

第一節 咖啡因增補與無氧能力表現

日常生活中咖啡因 (caffeine, CAF) 廣泛存在於許多食物 (如：巧克力)、飲品 (如：咖啡、可樂、運動飲料及茶) 及藥品 (消炎止痛劑、中樞神經興奮劑及體重控制藥品) 中，為容易取得且方便攝取之物質。雖然 CAF 在飲食中並無高度的營養價值，但常被作為運動競賽之增補劑 (ergogenic aid) 並受到運動員的喜愛 (Sökmen et al., 2008)。在 2004 年國際奧林匹克委員會 (international olympic committee, IOC) 把 CAF 從禁止使用的物質名單上剔除後 (Astorino & Roberson, 2010)，CAF 更加受到運動員與教練喜愛，使 CAF 成為更普及的運動增補劑。由於 CAF 是一種黃嘌呤化合物 (1,3,7-trimethylxanthine) 是中樞神經興奮劑，透過 CAF 的增補可以減少疲勞、增強認知能力、增加集中力等 (Glade, 2010)。因此開始研究 CAF 對於不同運動之間的影響。有關 CAF 攝取方法，早期研究大多使用絕對劑量 (如：250~400 mg) CAF 進行增補，但 CAF 吸收和代謝上因個體差異可能干擾實驗結果。因此改以受試者每公斤體重計算 CAF 增補劑量，CAF 在胃部和小腸吸收，攝取後顯示不管男生或女生血漿皆有一致的 CAF 濃度，攝取 1 小時後體內 CAF 濃度為最高，CAF 體內半衰期為 4-6 小時，同時 CAF 是肝臟的細胞色素 P450 系統所代謝 (Graham & Spriet, 1995; Graham, 2001)。

過去研究支持 CAF 增補劑 (3-9 mg/kg) 可以改善有氧運動的表現與延緩疲勞的產生 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Graham, 2001; Pasman et al., 1994)。Pasman

等 (1994) 增補不同 CAF 劑量 (5 mg/kg, 9 mg/kg 以及 13 mg/kg) 在腳踏車有氧運動表現之影響研究, 9 個受訓練男生, 使用雙盲, 隨機重複量數在 1 小時前攝取 CAF 膠囊以及安慰劑處理; 進行 80% 最大功率的耐力測驗, 結果腳踏車運動時間和血糖在 CAF 處理顯著比安慰劑處理高, 但是不同 CAF 劑量增補並沒有差異。之後 Graham 與 Spriet (1995), 同樣進行不同增補 CAF 劑量 (3 mg/kg, 6 mg/kg 以及 9 mg/kg) 招攬了 8 名男性跑步運動者對於跑步耐力的影響, 使用雙盲, 重複量數在 1 小時前攝取 CAF 以及安慰劑處理, 進行最大攝氧量的 85% 跑步速度到精疲力盡和抽取血液分析 CAF 體內消化吸收情況。結果跑步時間 CAF 處理顯著比安慰劑處理長, 不同 CAF 劑量則沒有差異, 在攝取 60 分鐘後, 體內血漿 CAF, 副腎上腺素和腎上腺素等激素濃度到達最高峰。

以上研究結果並沒有發現 CAF 效益具有劑量反應 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Pasma et al., 1994), 甚至在高劑量 (9-13 mg/kg) 的增補後會出現副作用, 讓受試者有不良反應 (Evans & Griffiths, 1991; Graham & Spriet, 1995; Karacan et al., 1976; Sökmen et al., 2008)。因此學者開始研究增補 CAF 有效劑量之最低閾值, 發現低劑量 CAF 增補 (3-4 mg/kg) 有上述的增補效果 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Sprite, 2014; Pickering & Kiely, 2019); 同時有研究指出攝取 3 mg/kg CAF 後, 並不會大幅改變心跳率、兒茶酚胺濃度、血乳酸濃度等生理反應 (Graham & Spriet, 1995)。上述文獻表示低劑量 CAF 增補同樣可以改善有氧運動表現; 同時不會給予身體太多生理上負擔。

儘管有氧能力是多數運動員所需具備的重要體能, 然而在某些運動項目中, 特別是團體球類運動項目 (例如: 籃球含有跳躍和衝刺等), 有氧能力並非是致勝的關鍵, 運動員是否具備高強度運動 (high-intensity exercise) 表現也扮演重要的角色, 更是左右比賽勝負的關鍵。而上述提到 CAF 是一種中樞神經興奮劑, 有學者認為 CAF 會抑制磷酸二酯酶 (phosphodiesterase, PDE) 作用令環腺苷酸 (cyclic 3', 5'AMP, cAMP) 濃度增加; 而 PDE 是分解 cAMP 成 5'-腺嘌呤核苷酸 (adenosine 5'-monophosphate, 5' AMP) 的酵素 (林文煌, 1996)。而 cAMP 濃度增加可以導致神經傳遞物質釋出和增加運動單位招募, 使動作電位頻率加快和讓更多肌肉參與高強度運動, 使肌肉收縮速率加快, 令到可以肌肉產生更大張力, 同時亦可以減少疲勞與改善情緒和警覺性以及增加反應速度 (Astorino

& Roberson, 2010)。

此外 CAF 是黃嘌呤化合物，而 CAF 化學結構與細胞膜上的腺苷酸 (adenosine) 結構類似，因此 CAF 可以腺苷酸競爭腺苷酸接受器 (adenosine receptor) (林文煌，1996；李佳倫、鄭景峰，2011)。而腺苷酸接受器有分為 A_1 與 A_2 ，CAF 會與腺苷酸 A_1 接受器競爭，增加兒茶酚胺 (catecholamine) 生成 (林文煌，1996)。在兒茶酚胺作用下，腎上腺素釋出更多同時胰島素釋出減少，這樣使肝醣分解速率增加，在訓練前和訓練中可以產生更多血糖，導致醣解作用速率上升，產生更多 ATP 生成，提供高強度運動時所使用，改善高強度運動表現 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Graham, Helge, MacLean, Kiens, & Richter, 2000)。同時阻斷腺苷酸接受器亦會抑制 PDE 的作用，使 cAMP 濃度增加，加強影響中樞神經系統的作用。

再者 CAF 能促進鈉-鉀 ATP 酶 (Na^+/K^+ ATP_{ase}) 活性 (Lindinger et al., 1996)。保持血漿中鈉離子 (sodium, Na^+) 和鉀離子 (potassium, K^+) 的電化學梯度 (Renaud, 2002)，因此透過增強 Na^+/K^+ ATP_{ase} 活性來防止血漿中 K^+ 升高可以為肌肉收縮創造更有利的環境，從而潛在地延遲疲勞。CAF 代謝物 (副黃嘌呤) 已被證明可以通過增加 Na^+ / K^+ ATP_{ase} 的活性來刺激骨骼肌的 K^+ 傳遞 (Clausen, 1996；Renaud, 2002)。Graham 等 (2000) 研究證實 CAF 增補下在最大攝氧量 70% 運動中可以降低血漿 K^+ 。

因此，學者開始進一步探討 CAF 增補是否也可以促進高強度運動表現。Wiles 等 (1992) 使用 3 mg/kg 的 CAF 增補對 1.5 公里跑步的影響。18 名優秀跑者進行 1.5 公里的跑步機測驗，而最後 0.6 公里則是全力衝刺。結果是攝取 CAF 無論在 1.5 公里以及最後衝刺都有顯著改善。Turley 等 (2015) 使用 3 mg/kg CAF 增補下進行 30 秒腳踏車衝刺測驗，結果顯示 CAF 能提升功率峰值。Duncan 等 (2019) 用 5 mg/kg CAF 增補下進行 30 秒手搖車衝刺測驗。以上研究結果也證實 CAF 增補也可以影響高強度運動表現 (Duncan et al., 2019; Turley et al., 2015; Wiles et al., 1992)。

第二節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現的文獻評論

在團體球類運動項目中，例如籃球、足球、手球等，運動員是否具備高強度運動 (high-intensity exercise) 表現，像是短、中距離的衝刺及短時間反覆衝刺的表現，也會左右比賽的勝負 (Spencer et al., 2005)。因此，球類運動員在訓練上都著重高強度運動的體能訓練，例如強度間歇訓練或高強度反覆衝刺，以提升在比賽場上高強度運動表現。另有研究指出高強度間歇訓練可以有效提升非運動員和運動員的無氧能力 (如：功率峰值) (Hazell et al., 2010; Monks et al., 2017)；並減少過度訓練的風險 (Laursen, 2010)。由此可見高強度反覆衝刺或間歇衝刺對於球類團體運動項目是不可或缺的能力，而具備優異的反覆衝刺能力也能提升體能訓練之效益 (更進一步提升有氧與無氧能力)。同時 Girard, Mendez-Villanueva 與 Bishop (2011) 指出高強度反覆衝刺運動 (repeated-sprint exercise) 為單趟衝刺時間小於 10 秒，且每趟衝刺時只有小於 60 秒的休息時間，此種衝刺運動會因恢復時間較短，產生疲勞，導致在數趟衝刺後的運動表現能力下降。儘管過去的文獻已提出 CAF 增補可提升高強度運動 (如：腳踏車衝刺表現) (Duncan et al., 2019; Turley et al., 2015; Wiles et al., 1992)，但對於高強度反覆衝刺是否有同樣的效果又是否可以延緩反覆衝刺時疲勞產生呢？

目前針對高強度反覆衝刺表現的研究中，多數使用中劑量 (5-8 mg/kg) CAF 作為主要補劑。Glaister 等 (2008) 招募 15 名學生，分別進行 5 mg/kg 的 CAF 增補以及安慰劑處理。以膠囊形式在測試前一小時給予補充，進行單組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺，而每次試驗會相隔 4 天，研究結果顯示 CAF 處理的初期衝刺時間顯著比安慰劑處理快。Carr 等 (2008)，利用 6 mg/kg CAF 增補 5 組 6 × 20 m 反覆跑步衝刺，而每次試驗會相隔 7 天，結果顯示 CAF 顯著減少衝刺總時間。以上結果都顯示中劑量 CAF 都能改善高強度反覆衝刺的表現。但利用低劑量 CAF 是否可以同樣改善高強度反覆跑步衝刺表現？目前只有少數使用低劑量增補高強度反覆衝刺 (Collomp et al., 1992; Del Coso et al., 2012; Ermolao et al., 2017)。

早期，Collomp 等 (1992) 則研究低劑量 CAF 增補對於游泳速度的影響，採用 7 名

一般成人，7名受訓練經驗成人，分別進行250毫克(4.3mg/kg)的CAF處理和安慰劑處理；進行2×100m游泳衝刺，每次衝刺休息20分鐘。結果顯示有訓練經驗的受試者游泳速度CAF處理顯著比安慰劑處理快，一般人則沒有差異，在血乳酸數據上訓練經驗的受試者是顯著高於安慰劑處理，但在一般受試者卻呈現相反的情況。本研究發現有使用250毫克(4.3mg/kg)的CAF可以改善高強度反覆衝刺運動的表現。

其後，Del Coso等(2012)，使用無糖能量飲料(3mg/kg CAF)增補19名足球員表現研究。其中進行單組7×30m反覆跑步衝刺，每次衝刺休息30秒，最大跳躍測試以及2×40分鐘的模擬比賽；結果發現CAF均可改善最快衝刺時間，跳躍高度及比賽時跑步距離。但是Ermolao等(2017)研究卻呈現相反結果，採用12名足球員，分別進行4mg/kg CAF以及安慰劑處理，混入500毫升水製備以成，並在測驗前一小時給予受試者服用。進行單組11×20m反覆跑步衝刺，每次衝刺休息20秒。結果顯示處理間的衝刺總時間，平均衝刺時間是沒有差異。

低劑量CAF增補是否能改善高強度反覆衝刺的表現，目前研究結果並不一致，還需要更多研究去證實。綜合上述文獻的探討，除了劑量可能會影響CAF在提升高強度反覆衝刺的運動表現外，有相關研究指出，高強度反覆衝刺間的休息時間長短也可能會影響CAF對高強度反覆衝刺的增補效益(Carr et al., 2008; Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012; Paton et al., 2001; Spencer et al., 2005)。

表 1 低劑量咖啡因增補對高強度反覆衝刺表現之影響探討

作者/年代	對象	劑量	測試方法	結果
Collomp 等 (1992)	7 名游泳訓練者 7 名非訓練者	4.3 mg/kg	2 組的 100 m 游泳衝刺	↑ 游泳訓練者 游泳速度
Glaister 等 (2008)	15 名學生	5 mg/kg	12 × 30 m 反覆 跑步衝刺	↑ CAF 處理衝 刺速度
Carr 等(2008)	10 名訓練和比賽 背景的學生	6 mg/kg	5 組的 6 × 20 m 反覆跑步衝刺	↓ CAF 處理衝 刺總時間
Del Coso 等 (2012)	19 名足球員	3 mg/kg	7 × 30 m 反覆 跑步衝刺	↑ 最快衝刺速 度
Ermolao 等 (2017)	12 名足球運動員	4 mg/kg	11 × 20 m 反覆 跑步衝刺	- 衝刺總時間 - 平均衝刺時 間

註：↑ 顯著提升；↓ 顯著下降；- 無顯著差異

第三節 反覆衝刺間的休息比對咖啡因增補效益之影響探討

在增補 CAF 高強度反覆衝刺測驗的方法都不一樣，包括衝刺次數、距離、休息時間等.....除了 CAF 劑量對運動表現影響外，有相關研究指出高強度反覆衝刺間的休息時間長短都會影響高強度反覆衝刺表現 (Carr et al., 2008; Ermolao et al., 2017; Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012; Paton et al., 2001)。Paton 等 (2001) 進行 6 mg/kg CAF 增補高強度反覆衝刺。招募 16 名具有團體運動員，進行單組 10 × 20 m 反覆跑步衝刺，每次衝刺休息 10 秒 (工作/休息比例約 1:3)，而每次試驗會相隔 2-3 天。結果顯示 CAF 處理和安慰劑處理在單次衝刺時間，衝刺總時間沒有差異。作者認為衝刺越快時所產生代謝廢物亦都會同時增加，加快疲勞出現，導致 CAF 作用減少。因此 Glaister 等 (2008) 利用 5 mg/kg CAF 增補，並把衝刺距離增加為單組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺，每次衝刺休息增

加為 35 秒 (工作/休息比例約 1:7)，而每次試驗會相隔 4 天，反而結果顯示 CAF 處理的有顯著改善初期衝刺時間。

後來，學者開始進行不同休息比對於反覆衝刺的影響。Carr 等 (2008) 進行不同休息比下對於高強度反覆跑步衝刺表現影響。當中特別的是增加衝刺的組數，進行 6 mg/kg CAF 增補 5 組的 6 × 20 m 反覆跑步衝刺；但每次衝刺休息則分為 25 秒和 60 秒 (工作/休息比例約 1:5 和 1:12)，組間休息 4 分鐘，而每次試驗會相隔 7 天。結果顯示不管在 25 秒和 60 秒的 CAF 處理的衝刺總時間顯著比安慰劑處理快而可以改善到第二組和第三組表現。而作者認為休息時間長短會影響高強度反覆衝刺運動的表現同時認為 CAF 會增加醣解作用的速率導致產生更多 ATP 生成，提升高強度反覆衝刺表現。另外，Lee 等 (2012) 進行類似的研究，結果與上述研究結果類似。

綜合上述文獻證實，反覆衝刺間的休息時間對高強度反覆衝刺表現有舉足輕重的效果影響。學者認為反覆衝刺間的休息時間長短會影響醣解作用或是磷酸肌酸、ATP 再合成作用，甚至或許影響肝臟代謝乳酸，阻礙肌肉肝醣分解，以上因素影響 CAF 增補高強度反覆衝刺表現效果 (Carr et al., 2008; Lee et al., 2012)。從以上文獻觀察當反覆衝刺間的休息時間不足時 (<25 秒，休息比 <1:5) CAF 增補對高強度反覆跑步衝刺表現則沒有幫助，反觀當反覆衝刺間的休息時間增加 (≥25 秒，休息比 ≥1:5) 時，CAF 增補效果就可以改善高強度反覆衝刺初期表現，但是當高強度反覆衝刺的總時間逐漸累積下，CAF 增補益處又會因為疲勞感的產生，CAF 無法有效改善反覆衝刺的後期表現。最後 Lee 等 (2012) 建議工作/休息比率 >1:5.5 時，CAF 可能改善高強度反覆衝刺表現。因為有足夠時間可以使磷酸肌酸、ATP 再合成。然而目前各研究所使用工作/休息比不盡相同，可能是造成研究結果不同的原因。因此是否可以透過改變反覆衝刺間的休息時間改善低劑量 CAF 增補效益？

過去的多數研究，高強度反覆衝刺的測驗方法都以單組衝刺為主，只有少數研究使用多組高強度反覆衝刺；但是球類運動在體能訓練上並不會只進行單組的訓練，多數會進行兩組或以上的訓練 (何正峰等，2008；何正峰等，2012)。Carr 等 (2008) 是使用 5 組的 6 × 20 m 衝刺，然而作者並沒有進一步去分析衝刺組數間的成績是否有差異，因

此無法確定 CAF 增補效益是否可以延續第二組訓練的表現。有相關研究指出低劑量 CAF 增補可以維持高強度運動和有氧運動時間的有效性，Graham 與 Spriet (1995)，同樣進行 3 mg/kg CAF 增補對於跑步耐力的影響，招攬了 8 名男性跑步運動者進行跑步耐力測驗，進行最大攝氧量的 85 % 跑步速度到精疲力盡，結果 CAF 跑步時間可以維持 60 分鐘。Wiles 等(1992) 使用 3 mg/kg 的 CAF 增補對 1.5 公里跑步的影響，18 名優秀跑者進行 1.5 公里的跑步機測驗，最後 0.6 公里則是全力衝刺。結果攝取 CAF 處理在 1.5 公里完成時間約 5 分鐘。基於上述文獻結果，CAF 可以維持部份高強度運動和有氧運動時間，但 CAF 在高強度反覆衝刺增補效益到底可以維持多長時間，又可否改善高強度反覆衝刺第二組表現呢，值得去進一步探討。

由於本次研究對象為籃球員，而過去的反覆衝刺研究對象都是團體運動為主，因此必須考量籃球專項性的因素，所以考量實際籃球比賽的工作/休息比率，符合實際情境下訓練。McInnes 等 (1995) 籃球比賽分析得出一場職業籃球比賽中平均出現 345 次低，中，高強度衝刺，其中高強度衝刺佔了 63 ± 33 次 (高強度衝刺約佔整體衝刺的 18%，衝刺總時間為 126 秒) 而換算後高強度衝刺的工作/休息比率為 1：6，同時籃球員平均每 21 秒就會有一次衝刺，而持續時間很短，大約 2 到 6 秒；而換算後高強度衝刺的工作/休息比率為 1：5 (Narazaki, Berg, Stergiou, & Chen, 2009)。因此這次反覆衝刺測驗方法衝刺時間和工作/休息比會參考上述數據設定 (McInnes et al., 1995; Narazaki et al., 2009)。

表 2 反覆衝刺間的休息比對咖啡因增補效益之影響探討

作者/年代	對象	劑量	反覆衝刺間 休息比	測試方法	結果
Paton 等 (2001)	16 名球類運 動員	6 mg/kg	1 : 3	10 × 20 m 反覆 跑步衝刺	- 衝刺總時 間
Glaister 等 (2008)	15 名有訓練 經驗的學生	5 mg/kg	1 : 7	12 × 30 m 反覆 跑步衝刺	↑ CAF 處理 衝刺速度
Carr 等 (2008)	10 名訓練和 比賽背景的 學生	6 mg/kg	1 : 5 和 1 : 12	5 組的 6 × 20 m 反覆跑步衝刺	↓ CAF 處理 衝刺總時間
Lee 等 (2012)	14 名業餘運 動員	6 mg/kg	1 : 5 和 1 : 22.5	2 組 4 秒 × 12 反覆腳踏車衝 刺	↑ CAF 處理 功率峰值 ↑ CAF 處理 平均功率

註：↑ 顯著提升；↓ 顯著下降；- 無顯著差異

第四節 文獻總結

透過以上文獻探討，可以歸納以下幾點：

- 一、從上述研究發現，有氧運動使用 CAF 增補並沒有劑量反應，低劑量 CAF 增補可以改善有氧運動的表現；而高強度運動下低劑量增補亦可以改善運動表現。而生理機轉主要是透過影響中樞神經系統和阻斷腺苷酸接受器；使得增加神經傳遞物質釋出和增加運動單位招募，使動作電位頻率加快和讓更多肌肉參與高強度運動，使肌肉收縮速率加快。同時增加醣解作用速率上升，產生更多 ATP 生成。以及增加鉀離子

進入細胞中，維持電化學梯度，達到延遲肌肉疲勞。

- 二、在高強度反覆衝刺下 CAF 增補多數是使用 5-6 mg/kg 作為主要補劑量，以目前只有少數研究是使用低劑量增補 (少於 4 mg/kg)。所以低劑量增補是否同樣可以改善高強度反覆跑步衝刺表現？以及若有效益下，又可以維持多少時間或第二組表現。
- 三、反覆衝刺間的休息時間多寡會影響醣解作用或是磷酸肌酸、ATP 再合成作用，甚至或許影響肝臟代謝乳酸，阻礙肌肉肝醣分解。而反覆衝刺間的休息時間最好是 ≥ 25 秒或工作/休息比例 $\geq 1:5$ ；而籃球的工作/休息比例為 $1:5\sim 6$ 。



第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究招募自願參與且健康情況良好之 12 名大專籃球甲組之男性運動員。實驗開始前，每位受試者均須填寫健康狀況調查表 (附錄一)，受試者須知 (附錄二)，並簽署受試者同意書 (附錄三)，以保障受試者權益，實驗期間並隨時回答受試者疑問。

本研究主要排除條件：

- 一、有抽菸之習慣者 (會加速 CAF 代謝速率, Nehlig, 2018)。
- 二、目前有服用處方藥或其他成藥。
- 三、罹患心血管等疾病。
- 四、已知下肢傷患者。

符合本研究條件且同意參加本研究之所有受試者，於實驗前 48 小時至實驗完成期間，除依規定增補本研究提供 CAF 膠囊或安慰劑外，不得使用藥物、營養增補品、以及含有酒精和 CAF 的食物和飲料，相關食/飲品之咖啡因含量 (附錄四)。第二次熟悉期前一天填寫每日飲食紀錄表 (附錄五)，要求受試者的第一，二次實驗處理前一天飲食要與熟悉期前一天相同；並會利用問卷了解受試者日常 CAF 攝取情況。同時不得做額外的激烈運動，並確保正常生活作息與飲食。

第二節 實驗日期與地點

招募受試者日期：民國 109 年 3 月 1 日至民國 109 年 3 月 31 日。

正式實驗日期：民國 109 年 4 月 1 日至民國 109 年 6 月 5 日。

實驗地點：咖啡因增補與血乳酸採取地點為國立臺灣師範大學公館校區運動生理實驗室。另外，高強度反覆跑步衝刺測驗也將在體育運動大樓室內操場進行。

第三節 實驗設計

本實驗採用雙盲 (double blind)、平衡次序 (counter-balanced order) 與重覆量數 (repeated measures) 的實驗設計，探討補充低劑量 CAF (3 mg/kg) 對於 2 組 12 × 30 m 的高強度反覆跑步衝刺表現的影響。

12 名籃球員在完成實驗熟悉期間隔 72 小時後以平衡次序隨機分配進行兩種實驗處理分別為安慰劑 (PLA)、低劑量 CAF。每次的正式處理會在一小時前服用膠囊後進行 2 組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺，衝刺休息時間 30 秒；組間休息 4 分鐘 (衝刺方法以 Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012; McInnes et al., 1995 所制訂，以符合籃球專項) 並透過光閘收集衝刺時間，Polar 無線心跳紀錄錶與攜帶式血乳酸分析儀會在不同時間點下紀錄心跳率、運動自覺強度以及血乳酸；受試者會休息 4 天 (Glaister et al., 2008) 然後依平衡次序進行另一個實驗處理。全部實驗完成後，進行統計分析與資料處理 (圖 1 所示)。



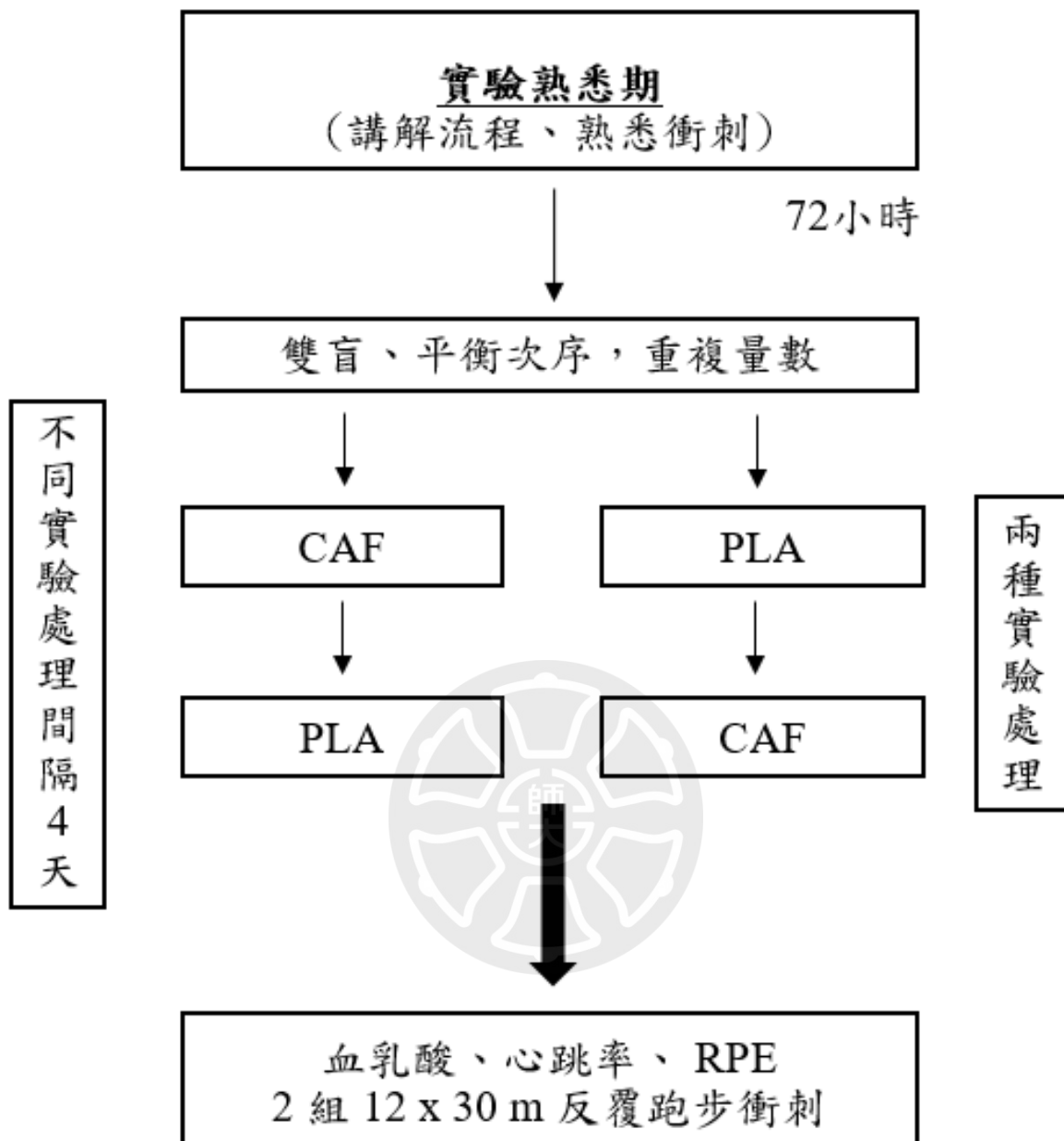


圖 1 實驗設計圖

註：PLA (placebo)，安慰劑處理；CAF，低劑量咖啡因 (3 mg/kg)。

第四節 實驗方法與步驟

本研究包括 2 次的熟悉試驗與 2 次的實驗處理，實驗處理分別為 1 次的安慰劑處理 (PLA) 和 1 次的咖啡因增補處理 (CAF)，實驗處理間隔至少 96 小時，以避免 CAF 的效果和身體狀況影響數據。

一、實驗前準備階段

(一) 儀器校正

1. 光閘 (Smart Speed PRO, Fusion Sport, United States of America)：利用此光閘 (圖 2 所示) 來執行測量 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺時間。並利用碼錶進行時間校正。在 0 m 與 30 m 放置光閘。
2. 攜帶式血乳酸分析儀 (Lactate Pro^{TM2}, Arkray Inc, Japan)：利用此攜帶式血乳酸分析儀 (圖 3 所示) 來執行血乳酸的測量，並請廠商校正儀器。使用前依操作手冊所列之程序與方法進行校正。
3. Polar 無線心跳紀錄錶 (Polar H10, JOHNSON, United States of America)：利用此儀器 (圖 4 所示) 來執行收集 12 × 30 m 反覆衝刺時間整段時間的心跳率，並請廠商校正儀器。使用前依操作手冊所列之方法進行校正。

(二) 相關表格準備

「健康狀況調查表」、「受試者須知」、「受試者同意書」(附錄一，二，三)、熟悉期與實驗記錄表 (附錄六) 所需表格之準備。



圖 2 光閘



圖 3 攜帶式血乳酸分析儀



圖 4 Polar 無線心跳紀錄錶

二、實驗熟悉期 (familiarization)

參與者在開始進行正式實驗處理之前，必需先進行 2 次的熟悉期，除了熟悉測驗之內容與流程外，主要是在進行 2 組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺時，能夠了解整個測驗流程，最主要的目的是降低任何學習效應 (learning effect) 可能影響到研究的結果。在熟悉期過程中，參與者先測量身高、體重，並教導參與者如何使運動自覺強度量表 (Borg, 1982)。接著，在進行完標準化的熱身活動再進行 2 組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺練習。

(一) 熟悉標準化熱身

內容為 400 m 慢跑，5 分鐘的動態伸展與 2 次 30%、50%、70% 和 100% 全力衝刺。動態伸展活動著重於衝刺時會使用到之主要肌群，包括步行舉膝 (walking knee lift)、股四頭肌伸展 (quadriceps stretch)、直腿伸展 (straight-leg march)、弓步側身伸展過頭 (lunge with overhead side reach) 與深蹲 (squat)。完成後，再給予 5 分鐘休息時間讓受試者準備。以上標準化熱身會在正式實驗處理前進行。

(二) 熟悉 2 組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺測驗

當 5 分鐘休息時間結束前 1 分鐘，會請受試者站在起跑線上，當休息時間結束後會讀出 3, 2, 1, GO 的指令，當聽到 GO 時受試者就要馬上衝刺。休息前 10 秒，會請受試者準備站在線上，同樣會讀出 3, 2, 1, GO 的指令。受試者會反覆衝刺 2 組 12 × 30 m 反覆衝刺，組間休息 4 分鐘，藉由練習減少正式實驗受到學習效果的影響。其中第二次的熟悉期的 2 組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺測驗會作為前測數據。

三、製備膠囊

以受試者在熟悉期所測量的體重為 PLA 和 CAF 3 的劑量計算所需要的劑量；劑量計算完畢後，會由非實驗人員製備膠囊，放在膠盒中並標記 A, B。本研究所使用 CAF (Sigma-Aldrich, Sydney, USA) (圖 5 所示)，以及安慰劑 (Maltodextrin, Sentosa, Taiwan) (圖 5 所示)，使用麥芽糊精 (Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)。

以及麥芽糊精化學結構擁有無法被人體消化酵素消化的鍵結，所以進到小腸後也不易被人體小腸中吸收，因此本研究才會採用麥芽糊精為安慰劑。



圖 5 咖啡因粉末與麥芽糊精粉末

四、正式實驗處理

每次實驗處理的流程 (圖 6 所示)，受試者報到後，先量測身高與體重，隨即配戴儀器並收集安靜臥姿的實驗數據，隨後服用膠囊休息 1 小時後 (休息 1 小時是參考 Graham 與 Spriet (1995) 的研究結果，攝取 3 mg/kg CAF 1 小時後體內 CAF 和兒茶酚胺濃度為最高)，完成所指定的 2 組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺測驗，詳細的流程說明與測驗說明如下：

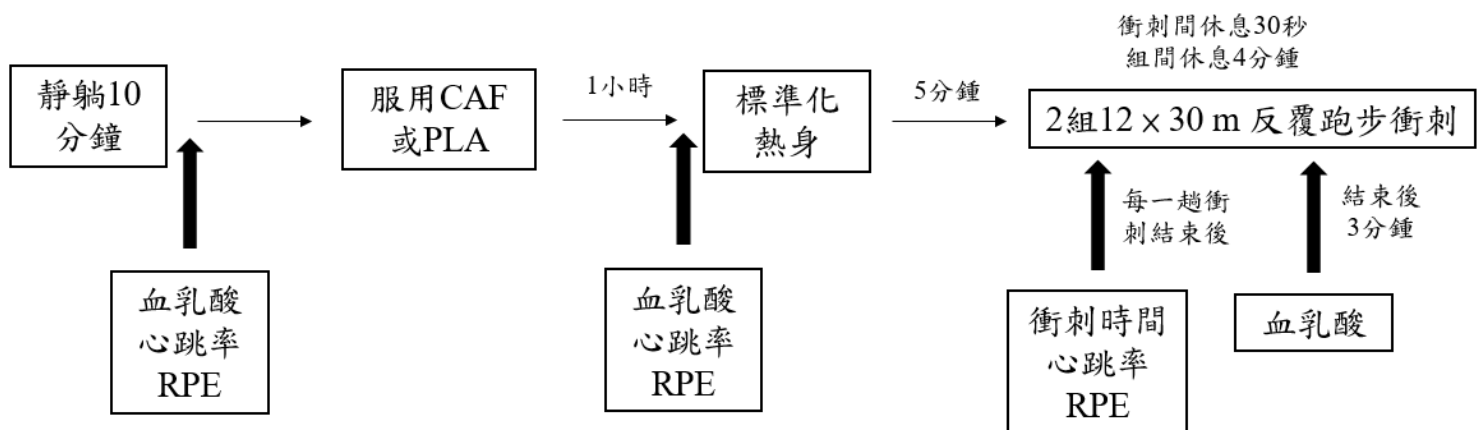


圖 6 實驗處理流程圖

註：PLA (placebo)，安慰劑處理；CAF (caffeine)，自變項；RPE (rating of perceived exertion)，運動自覺強度。

(一) Polar 無線心跳紀錄錶

心率帶配戴於受試者胸骨下端與左右第 5 根肋骨處 (圖 7 所示), 再將 Polar 無線心跳率發報器放在該位置, 並請受試者戴上手錶, 使研究者方便觀察與監控。

當受試者配戴儀器後會臥姿休息 10 分鐘, 10 分鐘後會抽取第一次血乳酸、詢問運動自覺強度與紀錄心跳率時間點。受試者會服用 CAF 3 或 PLA 的膠囊並休息 1 小時。1 小時結束後會抽取第二次血乳酸、詢問運動自覺強度與紀錄心跳率時間點。



圖 7 心率帶配戴位置

(二) 2 組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺

高強度反覆跑步衝刺測驗方法是根據 McInnes 等 (1995) 的籃球高強度衝刺總時間和工作/休息比為 1 : 6 的前提下, 利用 Glaister 等 (2008) 測驗方法為基礎, 把高強度反覆跑步衝刺測驗從一組增加到兩組和改變工作/休息比而符合上述籃球專項數據, 而組間休息時間是根據 Lee 等 (2012) 所訂定。受試者會進行標準化熱身, 再給予 5 分鐘休息時間讓受試者準備。當 5 分鐘休息時間結束前 1 分鐘, 會請受試者站在起跑線上, 當休息時間結束前 3 秒會讀出 3, 2, 1, GO 的指令, 當聽到 GO 時受試者就要馬上衝刺。休息前 10 秒, 會請受試者準備站在線上, 同樣會讀出 3, 2, 1, GO 的指令。受試者會反覆衝刺 12 趟,

衝刺中會鼓勵受試者，每趟衝刺後受試者會休息 30 秒，並會紀錄衝刺時間，心跳率和詢問受試者運動自覺強度。

當第 1 組 12×30 m 高強度反覆跑步衝刺結束後，會有 4 分鐘休息時間，當剩下 30 秒時會請受試者在起跑線前準備，當休息時間結束前 3 秒會讀出 3，2，1，GO 的指令，當聽到 GO 時受試者就要馬上衝刺。每趟衝刺後會紀錄衝刺時間和心跳率時間點和詢問受試者運動自覺強度。衝刺結束後 3 分鐘會抽取第三次血乳酸。

五、資料分析

(一) 平均衝刺時間

受試者的 24 趟衝刺時間加總後除以 24，作為整體衝刺的平均衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 趟衝刺時間分別以 1-4 趟、5-8 趟和 9-12 趟進行計算，得出不同組數衝刺時平均衝刺時間，以平均值和標準差顯示。

(二) 衝刺總時間

受試者的 24 趟衝刺時間進行加總計算。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 趟衝刺時間分別進行計算，得出組數的衝刺總時間，以平均值和標準差顯示。

(三) 最快衝刺時間

受試者 24 趟衝刺時間，選取衝刺時間最快，作為最快衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 趟衝刺時間分別進行篩選，得出組數的最快衝刺時間，以平均值和標準差顯示。

(四) 最慢衝刺時間

受試者 24 趟衝刺時間，選取衝刺時間最慢，作為最慢衝刺時間。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 趟衝刺時間分別進行篩選，得出組數的最慢衝刺時間，以平均值和標準差顯示。

(五) 疲勞增加率

利用各組 12 趟衝刺時間進行迴歸方程式；換算出受試者各組衝刺時間斜率代表疲勞增加率。

(六) 心跳率 (HR)

會將整段心跳率輸出進行分析，而紀錄心跳率時間有受試者配戴完儀器後，採臥姿休息 10 分鐘後，休息後，紀錄受試者臥姿休息狀態下的時間點；紀錄心跳率的時間點尚有：服用膠囊 1 小時後與每趟衝刺後。每趟心跳率是以衝刺後休息 30 秒中的 10 到 15 秒平均值。受試者的 24 趟心跳率加總後除以 24，作為整體衝刺時平均心跳率。此外，本研究也會把第一組和第二組的第 4，8，12 趟心跳率分別進行計算，得出不同組數衝刺時的平均心跳率，以平均值和標準差所顯示。

(七) 運動自覺程度 (RPE)

受試者配戴完儀器後，採臥姿休息 10 分鐘後，休息後，詢問受試者臥姿休息狀態下的 RPE；詢問 RPE 的其餘時間點尚有：服用膠囊 1 小時後與每趟衝刺後。受試者的 24 趟 RPE 加總後除以 24，作為整體衝刺時平均 RPE。此外，本研究也會把第一組和第二組的 12 趟 RPE 分別進行計算，分別以 1-4 趟、5-8 趟和 9-12 趟進行計算，得出不同組數衝刺時平均 RPE，以平均值和標準差所顯示。

(八) 血乳酸

受試者配戴完儀器後，採臥姿休息 10 分鐘後，休息後，採集受試者臥姿休息狀態下的血乳酸；採集血乳酸的其餘時間點尚有：增補 1 小時後與衝刺結束 3 分鐘。

第五節 實驗控制

在實驗期間，受試者會被要求其在未來正式的實驗處理時，確實遵守以下項目：

1. 實驗前 24 小時不可從事訓練或其他激烈的運動。
2. 實驗期間不可攝取任何含有咖啡因食物和飲料 (附錄四)、不可喝酒、不可吃任何藥品或營養食品。
3. 實驗期間依您食用平常習慣之飲食。
4. 實驗前一天睡眠時間睡滿 7 小時或以上，水份攝取要 2000 毫升以上。
5. 實驗前一天飲食需要與前測前一天飲食一致。
6. 每次實驗前需禁食 3 小時以上 (可喝水)。
7. 每次實驗服裝和鞋子都必須相同。

第六節 資料處理與統計方法

本研究之各項資料以電腦統計軟體 SPSS 23.0 版本 (IBM SPSS Statistics for Window, Version 23.0, SPSS Inc., U.S)，統計顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。統計分析方法如下：

- 一、以描述性統計 (平均值 \pm 標準差) 呈現實驗收集到的數據。
- 二、以二因子重複量數變異數分析 (two-way ANOVA, mixed design) (處理[2] \times 組數[2]) 檢定咖啡因和安慰劑在第一組及第二組 12 \times 30 m 高強度反覆跑步衝刺表現的差異 (包括反覆衝刺總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率)、血乳酸濃度、運動自覺強度以及心跳率，當交互作用達顯著差異時，將進一步考驗單純主要效果，並以 Bonferroni 法進行事後比較。
- 三、以二因子重複量數變異數分析 (two-way ANOVA, mixed design) (處理[2] \times 衝刺趟數[3]) 檢定咖啡因和安慰劑在單組每 4 趟平均衝刺時間以及不同趟數時心跳率、運動自覺強度和血乳酸濃度是否有顯著差異。當交互作用達顯著差異時，將進一步考驗單純主要效果，並以 Bonferroni 法進行事後比較。若球形檢定達顯著差異時，以 Greenhouse-Geisser 調整自由度。

第肆章 結果

本研究之資料經統計處理後，所得之結果呈現於本章，分為第一節、受試者基本資料；第二節、高強度反覆跑步衝刺的表現；第三節、低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺時生理指標之影響等 3 個部分進行敘述。

第一節 受試者基本資料

本研究以 12 名自願參與本實驗之大專甲組男子籃球員為研究受試者，以雙盲 (double blind)、平衡次序 (counter-balanced order) 與重覆量數 (repeated measures) 參與 CAF 和 PLA 增補對 2 組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺表現的實驗；受試者基本資料表 3 所示。

表 3 受試者基本資料

基本資料	
年齡 (歲)	20.1 ± 1.2
身高 (公分)	185.6 ± 6.7
體重 (公斤)	85.6 ± 9.2
接受訓練時間 (年)	7.8 ± 2.8
日常咖啡因攝取量 (mg)	108.5 ± 11.2

第二節 高強度反覆跑步衝刺的表現

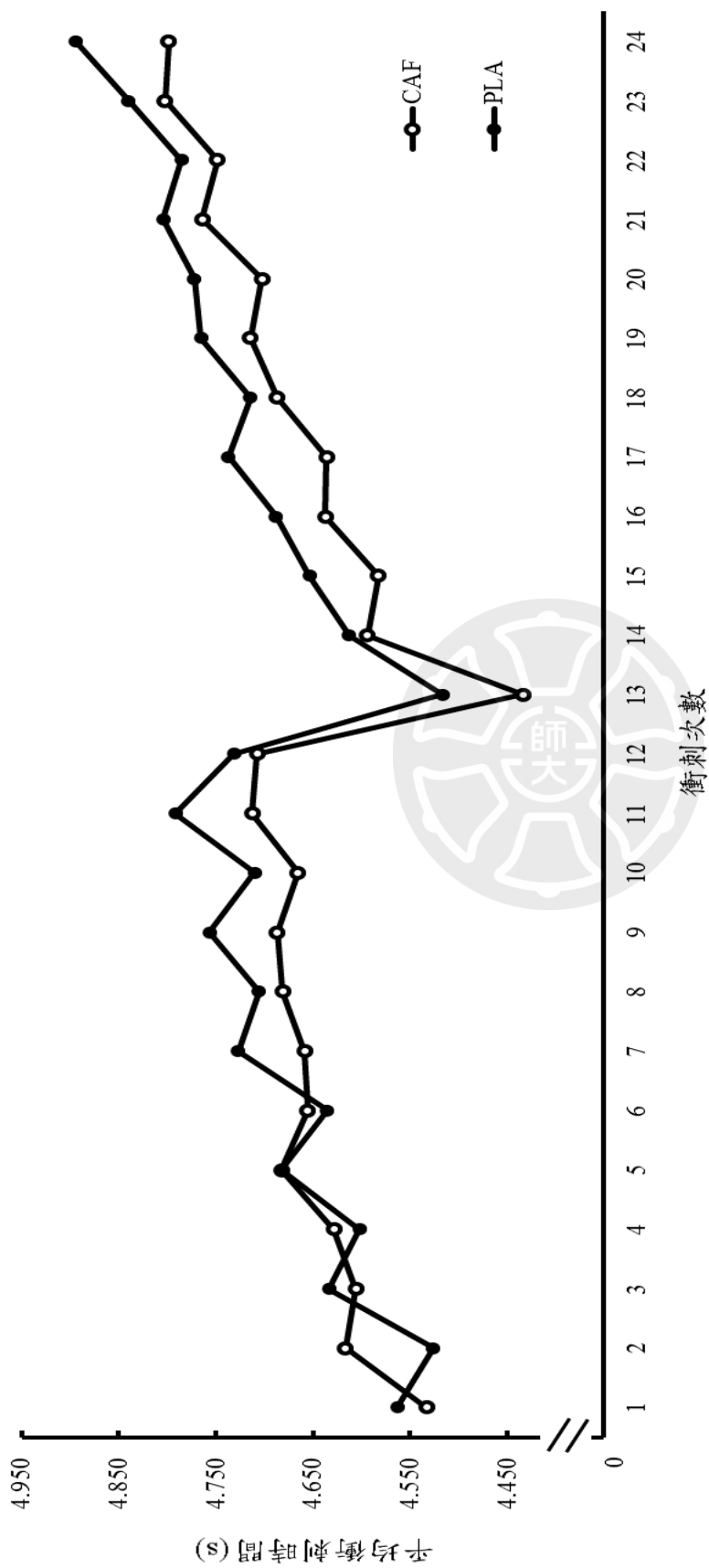


圖 8 咖啡因與安慰劑處理的平均衝刺時間趨勢

一、整體衝刺的平均衝刺時間

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 對第一組和第二組平均衝刺時間之影響 (圖 9 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=2.213, p=.165, \eta^2=.168$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=4.593, p=.055, \eta^2=.295$) (圖 9 所示), 組數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=5.243, p<.05, \eta^2=.323$) 在組數因子主要效果檢定顯示, 不管 CAF 和 PLA 處理下第二組平均時間 (4.704 ± 0.102 s) 顯著高於第一組平均時間 (4.663 ± 0.130 s)。

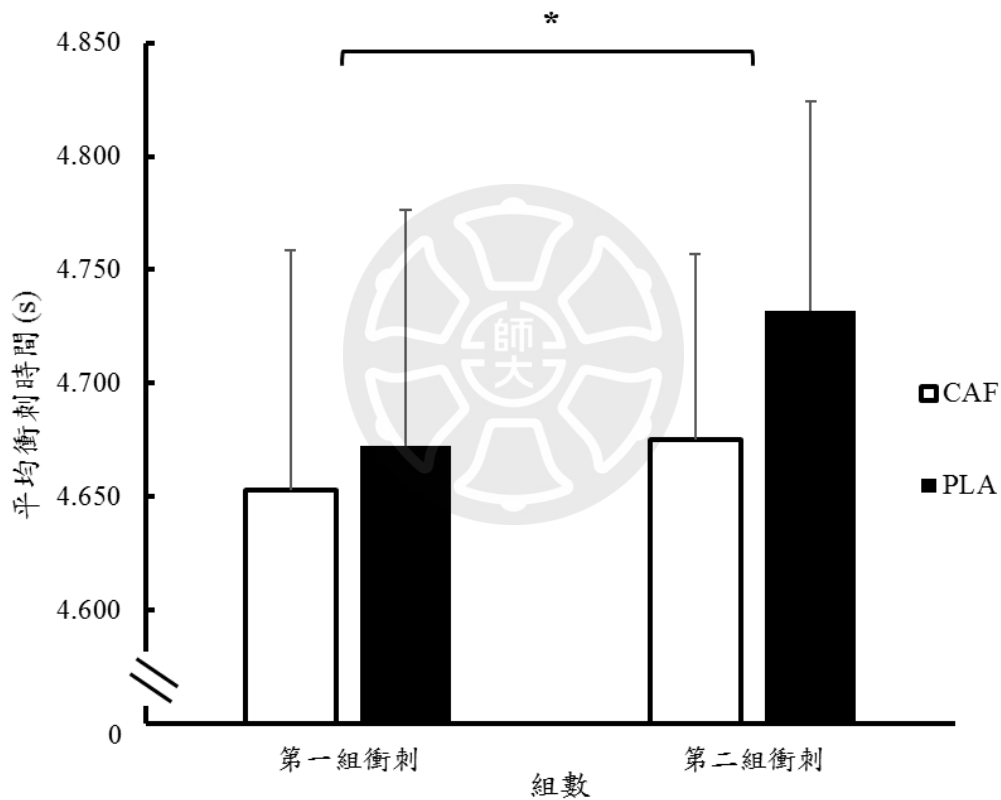


圖 9 增補咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的平均衝刺時間

註: $*p<.05$, 第一組和第二組平均衝刺時間達顯著差異。

二、第一組衝刺的平均衝刺時間

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第一組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (1-4、5-8、9-12 趟) 平均衝刺時間之差異 (圖 10 所示)。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(2,22)=2.745, p=.086, \eta^2=.200$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=.599, p=.455, \eta^2=.052$) (圖 10 所示), 衝刺趟數因子主要效果達顯著水準 ($F(2,22)=23.312, p<.001, \eta^2=.679$) 在衝刺趟數主要效果檢定顯示, 不管是 CAF 和 PLA 處理上 9-12 趟平均衝刺時間顯著高於 5-8 趟和 1-4 趟平均衝刺時間, 而 5-8 趟平均衝刺時間又會顯著高於 1-4 趟平均衝刺時間 ($4.720 \pm 0.145 \text{ s} > 4.679 \pm 0.131 \text{ s} > 4.589 \pm 0.157 \text{ s}$)。

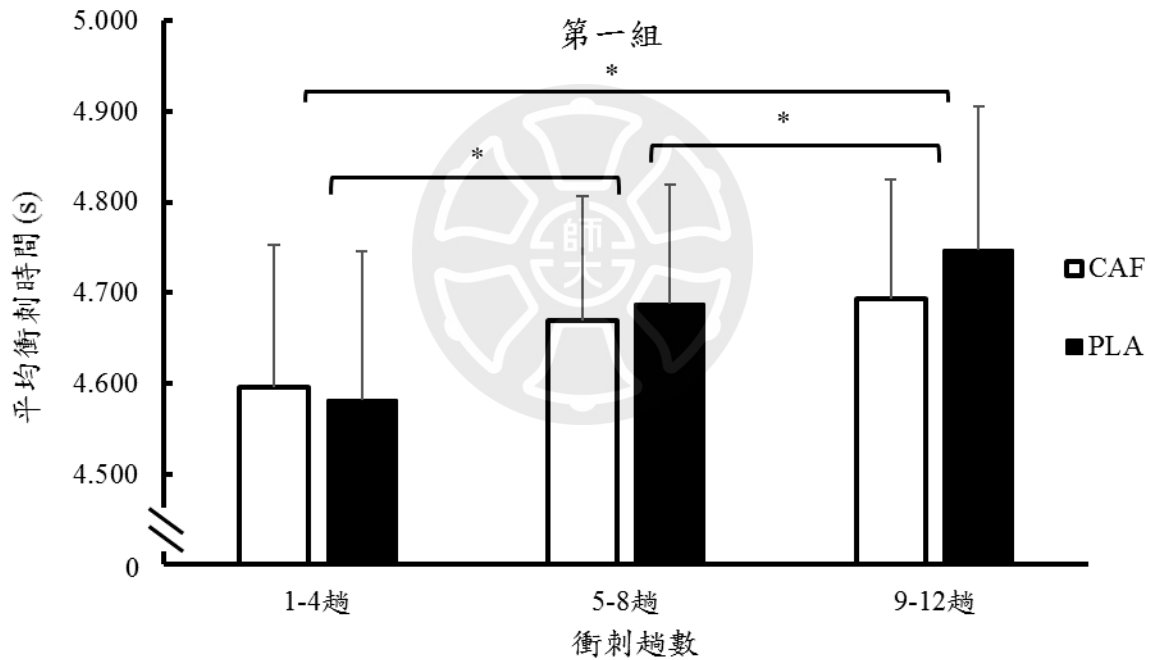


圖 10 第一組衝刺下, 不同處理間與不同衝刺趟數下的平均衝刺時間

註: $*p<.001$, 衝刺趟數間平均時間達顯著差異。

三、第二組衝刺的平均衝刺時間

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第二組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (1-4、5-8、9-12 趟) 平均衝刺時間之差異 (圖 11 所示)。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(2,22)=.038$, $p=.896$, $\eta^2=.003$), 處理因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=9.619$, $p<.05$, $\eta^2=.467$), 處理因子主要效果檢定顯示, 不論在 1-4 趟、5-8 趟、9-12 趟衝刺趟數下, CAF 的平均衝刺時間 CAF (4.675 ± 0.148 s) 都低於 PLA 的平均衝刺時間 (4.732 ± 0.149 s) (圖 12 所示); 衝刺趟數因子主要效果達顯著水準 ($F(2,22)=34.383$, $p<.001$, $\eta^2=.758$) 衝刺趟數因子主要效果檢定顯示, 不管是 CAF 和 PLA 處理上, 9-12 趟平均衝刺時間顯著高於 5-8 趟和 1-4 趟平均衝刺時間, 而 5-8 趟平均衝刺時間又會顯著高於 1-4 趟平均衝刺時間 (4.805 ± 0.105 s $>$ 4.716 ± 0.119 s $>$ 4.590 ± 0.142 s)。

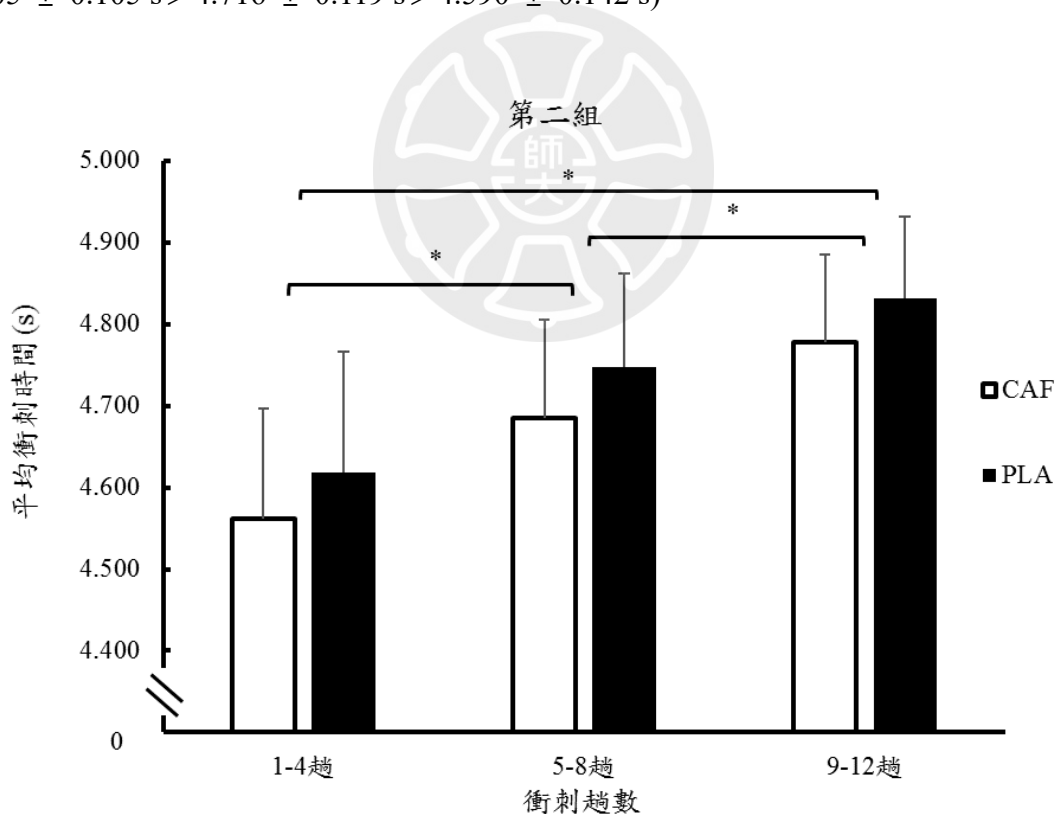


圖 11 第二組衝刺下, 不同衝刺趟數下的平均衝刺時間

註: * $p<.001$, 咖啡因和安慰劑第二組平均時間達顯著差異。

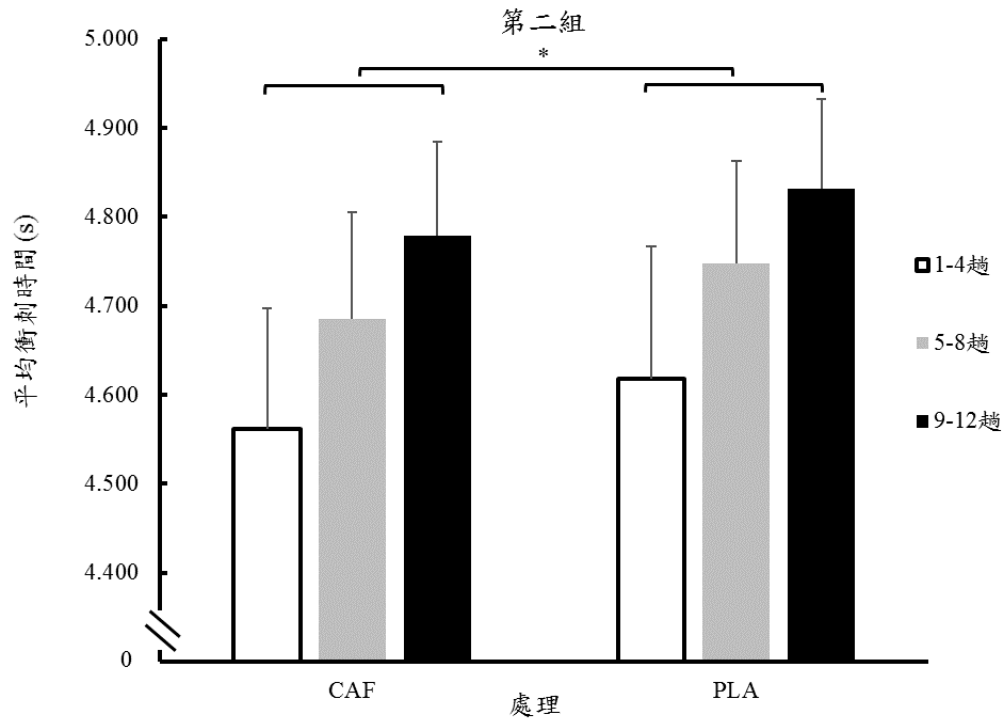


圖 12 第二組衝刺下，不同處理間的平均衝刺時間

註： $*p < .05$ ，咖啡因和安慰劑平均時間達顯著差異。

四、整體衝刺的最快衝刺時間

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 時對第一組和第二組最快衝刺時間之影響 (圖 13 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=4.692$, $p=.053$, $\eta^2=.299$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=.103$, $p=.755$, $\eta^2=.009$), 組數因子主要效果未達顯著水準 ($F(1,11)=.338$, $p=.573$, $\eta^2=.030$)。

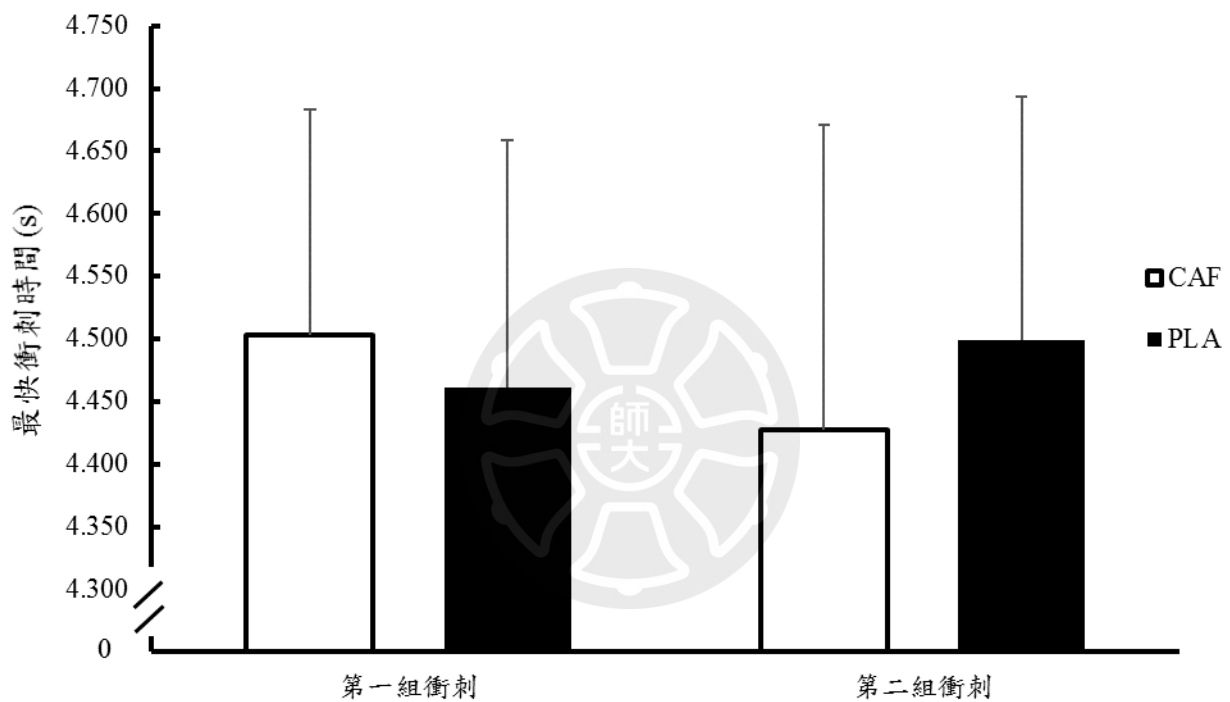


圖 13 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的最快衝刺時間

五、整體衝刺的最慢衝刺時間

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 對第一組和第二組最慢衝刺時間之影響 (圖 14 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=.003$, $p=.956$, $\eta^2=.000$), 處理因子主要效果顯著水準 ($F(1,11)=5.415$, $p<.05$, $\eta^2=.330$), 在處理因子主要效果檢定顯示, 不管第一組和第二組下 CAF 最慢衝刺時間 (4.828 ± 0.123 s) 顯著低於 PLA 最慢衝刺時間 (4.889 ± 0.162 s)。組數因子主要效果未達顯著水準 ($F(1,11)=4.274$, $p=.063$, $\eta^2=.280$)。

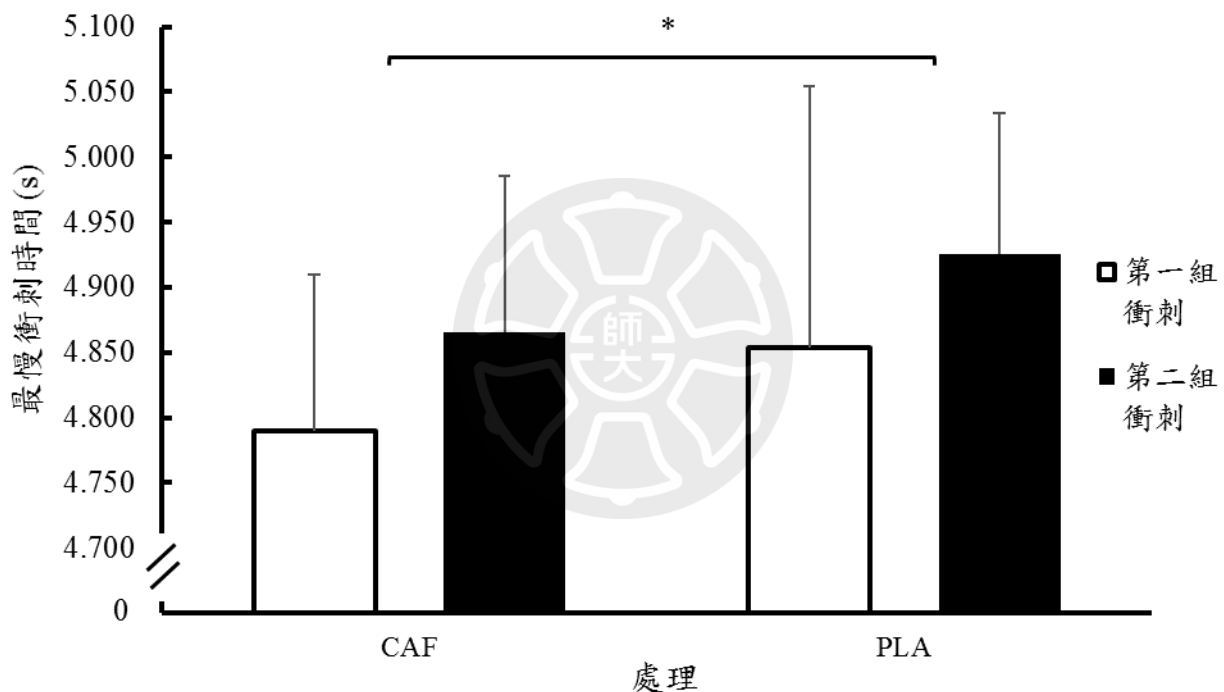


圖 14 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的最慢衝刺時間

註: $*p<.05$, 咖啡因和安慰劑最慢衝刺時間達顯著差異。

六、整體衝刺的衝刺總時間

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 時對第一組和第二組衝刺總時間之影響 (圖 15 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=2.202, p=.166, \eta^2=.167$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=4.575, p=.055, \eta^2=.294$), 組數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=5.258, p<.05, \eta^2=.323$), 在組數因子主要效果檢定顯示, 不管 CAF 和 PLA 處理下第二組衝刺總時間 (56.443 ± 1.270 s) 顯著高於第一組衝刺總時間 (55.950 ± 1.632 s)。

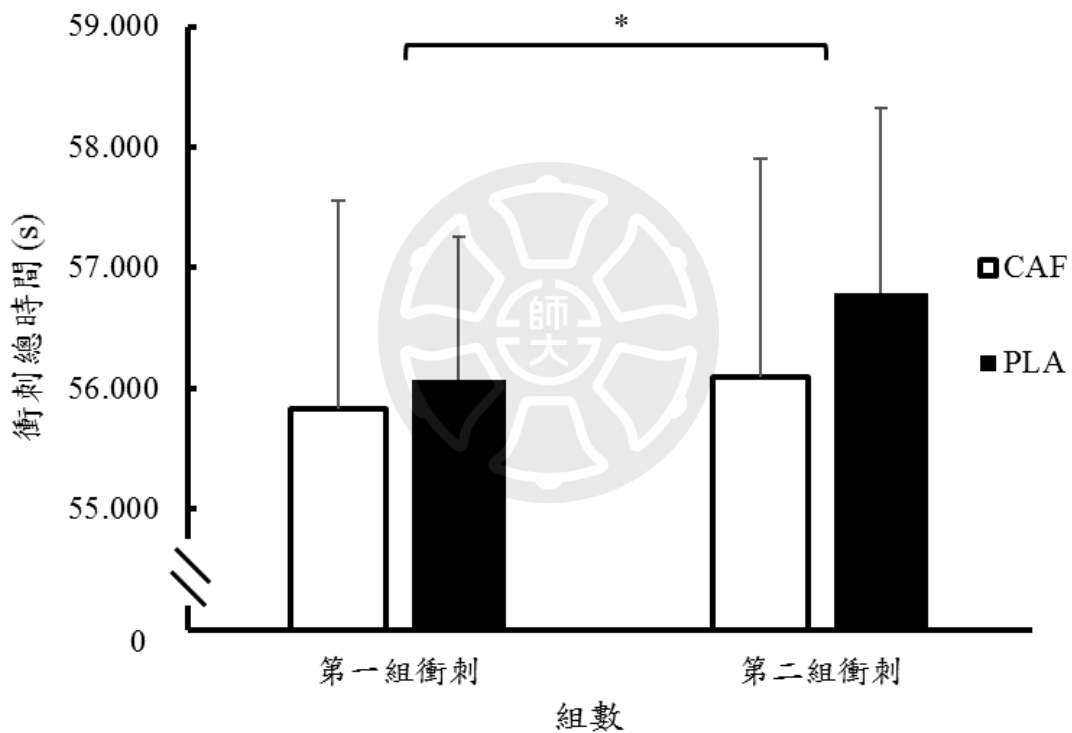


圖 15 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的衝刺總時間

註: $*p<.05$, 第一組和第二組衝刺總時間達顯著差異。

七、整體衝刺的疲勞增加率

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 對第一組和第二組疲勞增加率之表現 (圖 16 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=2.254, p=.161, \eta^2=.170$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=.718, p=.415, \eta^2=.061$) (圖 16 所示), 組數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=10.357, p<.001, \eta^2=.008$) 在組數因子主要效果檢定顯示, 不管 CAF 和 PLA 處理下第二組疲勞增加率 (0.028 ± 0.018) 顯著高於第一組疲勞增加率 (0.016 ± 0.012)。

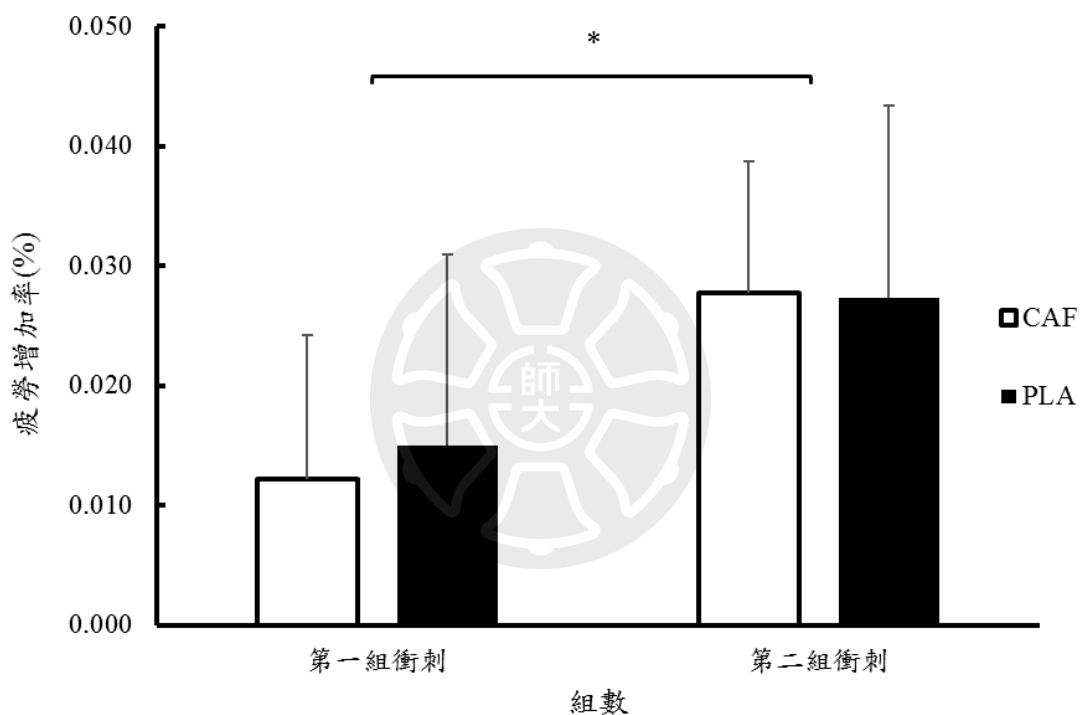


圖 16 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的疲勞增加率

註: $*p<.001$, 第一組和第二組疲勞增加率達顯著差異。

第三節 高強度反覆跑步衝刺時的生理反應

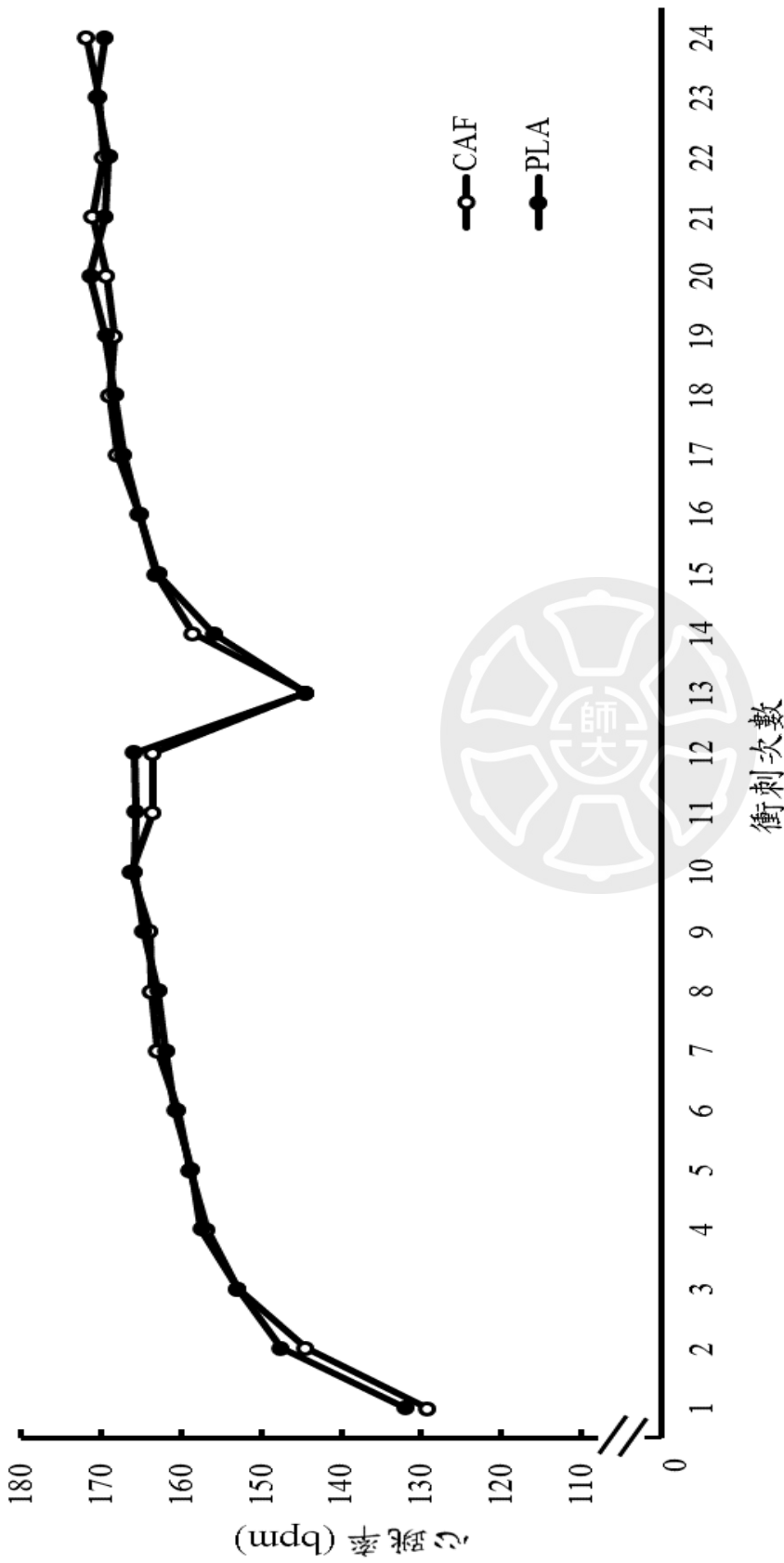


圖 17 咖啡因與安慰劑處理的平均心跳率趨勢

一、整體衝刺時的平均心跳率

以重複量數二因子 (處理 × 組數) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 時對第一組和第二組心跳率之影響 (圖 18 所示)。結果顯示, 處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=3.536$, $p=.087$, $\eta^2=.243$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=2.374$, $p=.152$, $\eta^2=.152$) (圖 18 所示), 組數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=90.434$, $p<.001$, $\eta^2=.892$) 在組數因子主要效果檢定顯示, 不管 CAF 和 PLA 處理下第二組平均時間 (165.5 ± 7.7 bpm) 顯著高於第一組平均時間 (157.8 ± 10.2 bpm)。

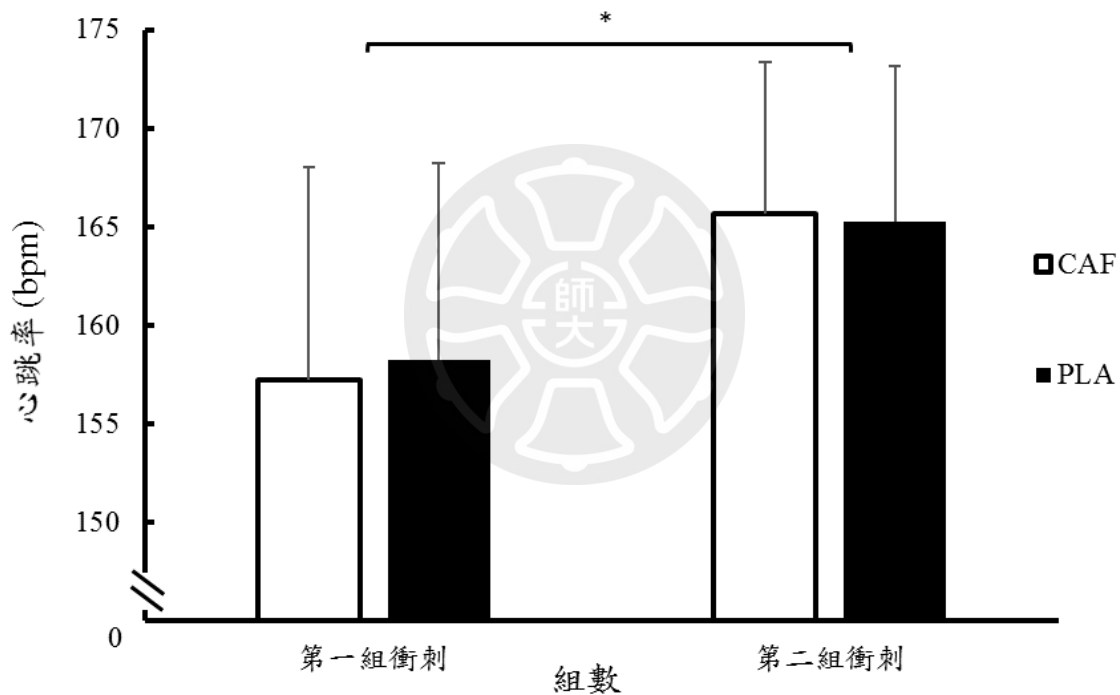


圖 18 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的平均心跳率
註: $*p<.001$, 第一組和第二組心跳率達顯著差異。

二、第一組衝刺時的平均心跳率

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第一組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (第 4、8、12 趟) 心跳率之差異 (圖 19 所示)。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(2,20)=.934$, $p=.409$, $\eta^2=.085$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,10)=.055$, $p=.819$, $\eta^2=.005$), 衝刺趟數因子主要效果達顯著水準 ($F(2,20)=18.386$, $p<.001$, $\eta^2=.648$), 衝刺趟數因子主要效果檢定顯示, 不論是 CAF 和 PLA 在第 12, 8 趟衝刺時心跳率顯著高於第 4 趟衝刺時心跳率 (164.8 ± 8.8 bpm, 163.3 ± 9.4 bpm $>$ 157.1 ± 10.9 bpm)。

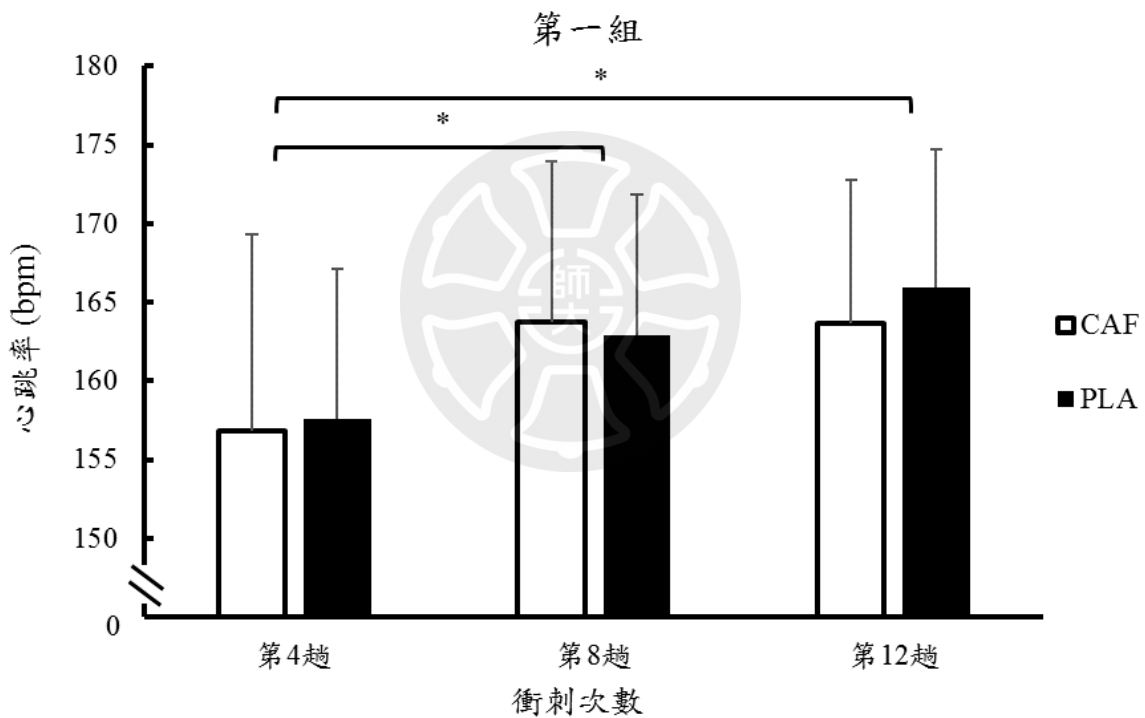


圖 19 第一組衝刺下, 不同處理間與不同衝刺趟數下的平均心跳率

註: * $p<.001$, 第 12 趟、第 8 趟、第 4 次衝刺心跳率達顯著差異。

三、第二組衝刺時的平均心跳率

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第二組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (第 4、8、12 次) 時心跳率之差異 (圖 20 所示)。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(2,20)=2.530$, $p=.105$, $\eta^2=.202$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,10)=.002$, $p=.968$, $\eta^2=.000$), 衝刺趟數因子主要效果達顯著水準 ($F(2,20)=11.257$, $p<.001$, $\eta^2=.530$), 衝刺趟數因子主要效果檢定顯示, 不論是 CAF 和 PLA 在第 12, 8 趟衝刺時心跳率顯著高於第 4 趟衝刺時心跳率 (170.8 ± 8.6 bpm, 170.4 ± 9.4 bpm $>$ 165.4 ± 9.8 bpm)。

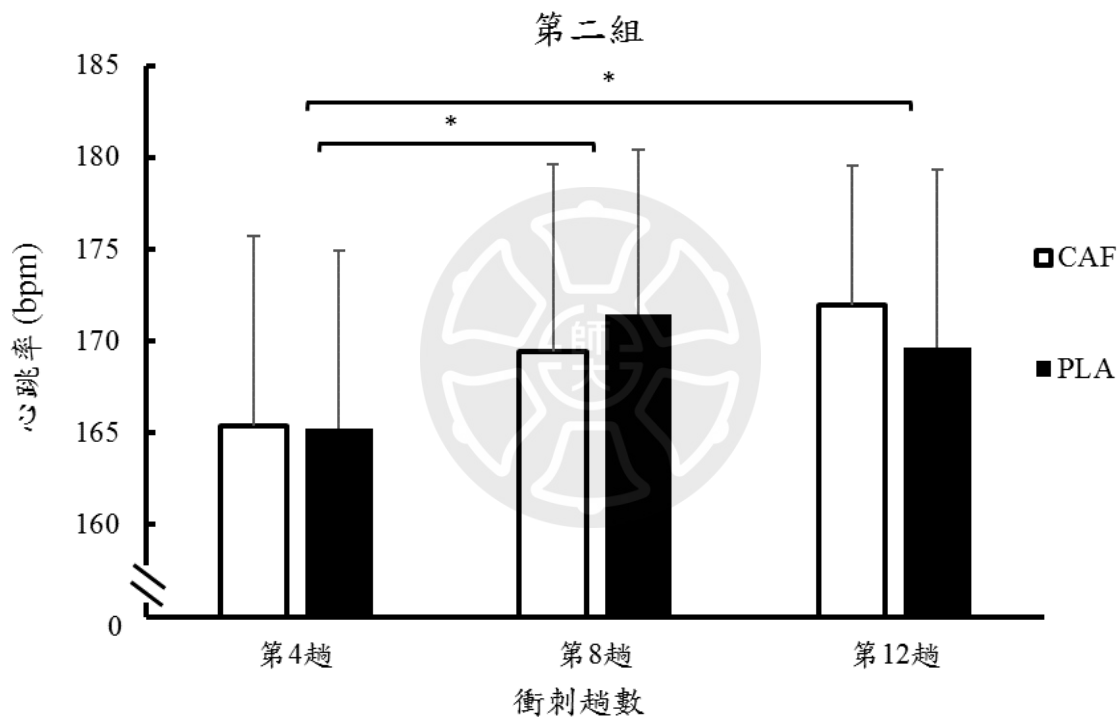


圖 20 第二組衝刺下, 不同處理間與不同衝刺趟數下的平均心跳率

註: * $p<.001$, 第 12 次、第 8 次、第 4 次衝刺心跳率達顯著差異。

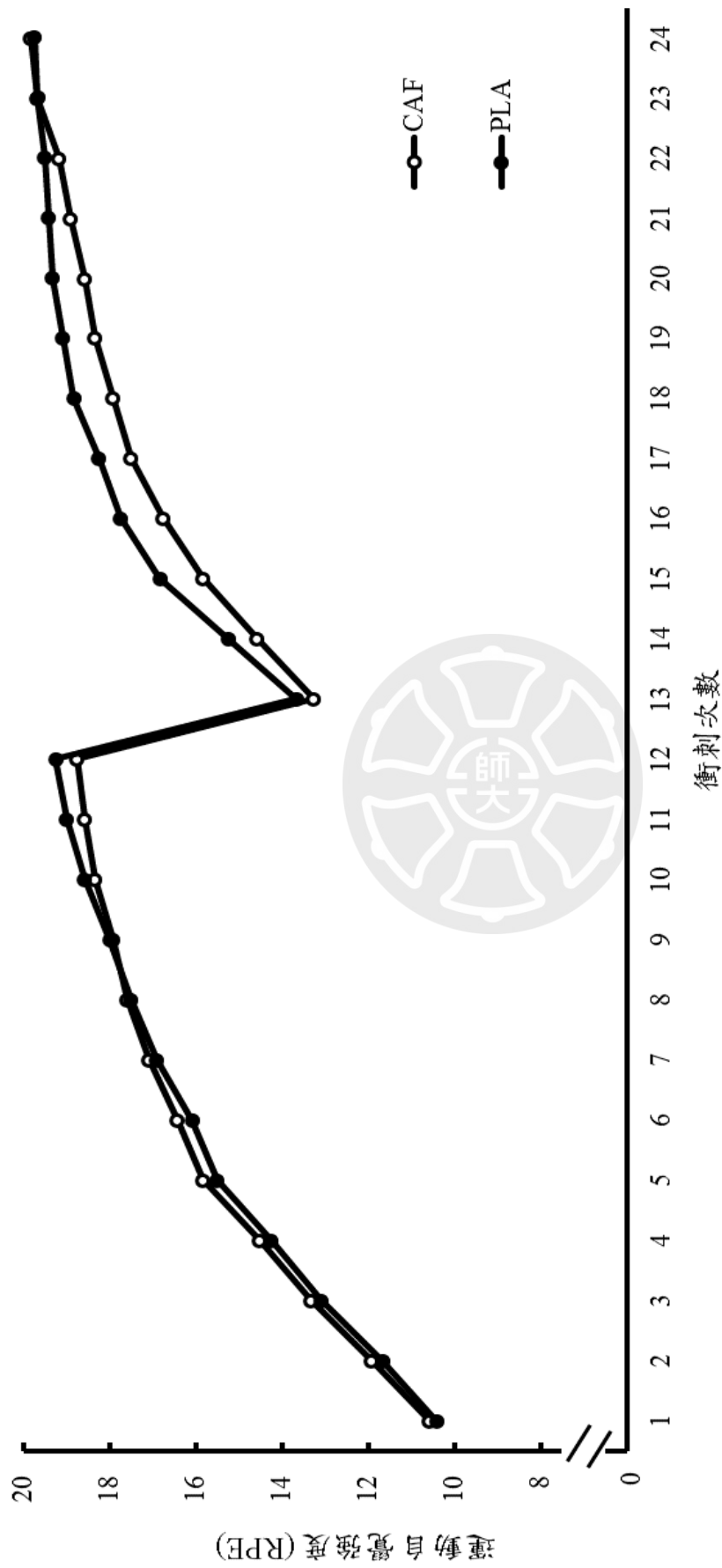


圖 21 咖啡因與安慰劑處理的平均運動自覺強度趨勢

四、整體衝刺時的運動自覺強度

以重複量數二因子(處理 × 組數) 變異數分析，考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 時對組別 (第一組, 第二組) 運動自覺強度之影響 (圖 22 所示)。結果顯示，處理因子與組數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,11)=2.895, p=.117, \eta^2=.208$)，處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=.541, p=.477, \eta^2=.047$)，組數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,11)=25.143, p<.001, \eta^2=.696$) 在組數因子主要效果檢定顯示，不論是 CAF 和 PLA 第二組運動自覺強度 (18 ± 2) 顯著高於第一組平均時間 (16 ± 3)。

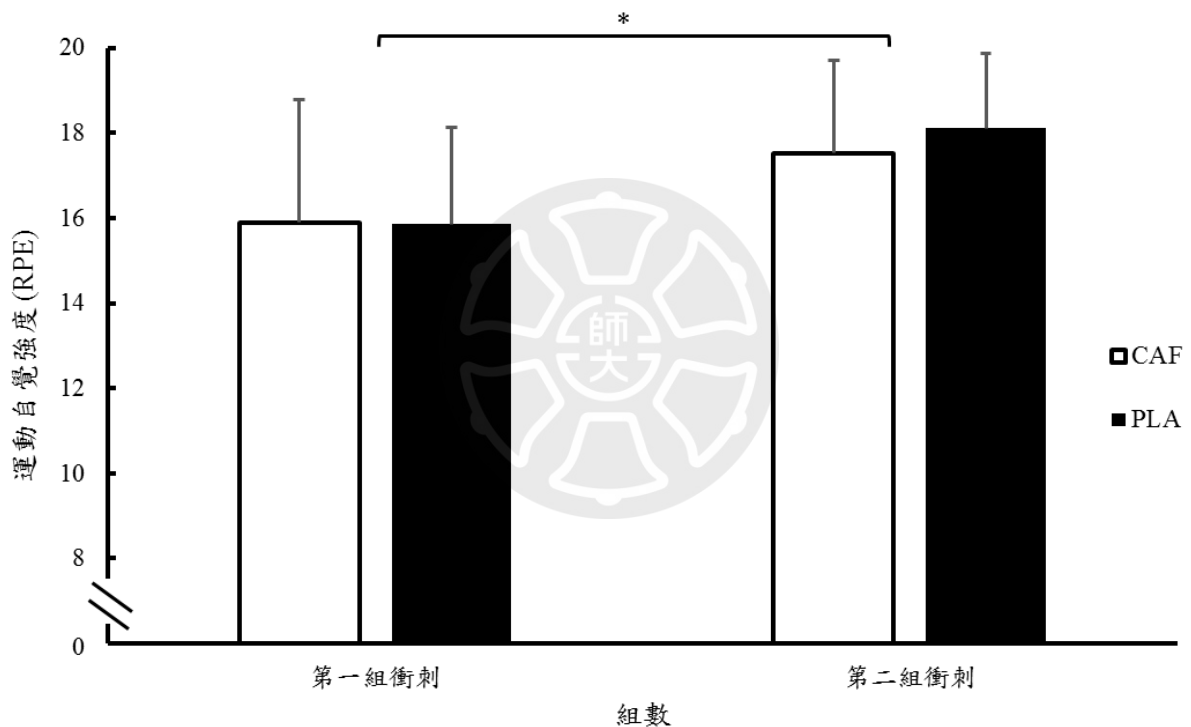


圖 22 咖啡因與安慰劑處理在第一組, 第二組的平均運動自覺強度
註：* $p<.001$ ，第一組和第二組衝刺運動自覺強度達顯著差異。

五、第一組衝刺時的運動自覺強度

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第一組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (第 4、8、12 趟) 運動自覺強度之差異 (圖 23 所示)。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子在交互作用上無顯著差異 ($F(1,265,13.914)=.911, p=.380, \eta^2=.076$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=.018, p=.897, \eta^2=.002$), 衝刺趟數因子主要效果達顯著水準 ($F(1,090,11.987)=47.127, p<.001, \eta^2=.811$), 衝刺趟數因子主要效果檢定顯示, 不論是 CAF 和 PLA 在 12 趟顯著高於 8 趟顯著高於 4 趟運動自覺強度 ($19 \pm 2 > 18 \pm 3 > 14 \pm 3$)。

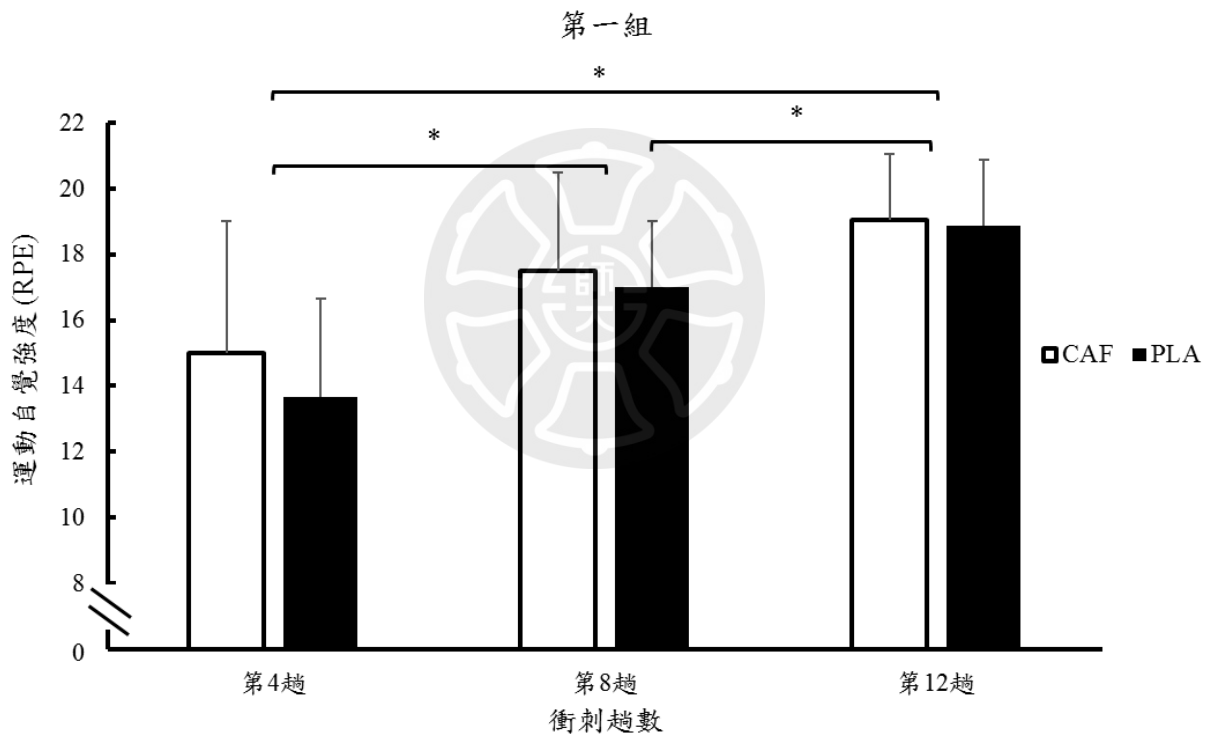


圖 23 第一組衝刺下, 不同處理間與不同衝刺趟數下的平均運動自覺強度
註: * $p<.001$, 第 12 次、第 8 次、第 4 次衝刺運動自覺強度達顯著差異。

六、第二組衝刺時運動自覺強度

以重複量數二因子 (處理 × 衝刺趟數) 變異數分析, 考驗在第二組衝刺下, 兩種不同處理 (CAF, PLA) 在三個不同衝刺趟數下 (第 4、8、12 趟) 運動自覺強度之差異。結果顯示, 處理因子與衝刺趟數因子有交互作用的差異 ($F(1.122, 12.337) = 6.919, p < .05, \eta^2 = .386$), 處理因子之單純主要效果顯著水準 ($F(1, 11) = 5.831, p < .05, \eta^2 = .347$), 事後比較顯示在第 4, 8 趟 CAF 顯著低於 PLA ($16 \pm 3, 18 \pm 2 < 18 \pm 3, 19 \pm 1$) (圖 24 所示)。衝刺趟數因子單純主要效果達顯著水準 ($F(1.042, 11.458) = 11.256, p < .001, \eta^2 = .506$), 事後比較顯示衝刺趟數因子主要效果檢定顯示, CAF 在 12 趟顯著高於 8 趟顯著高於 4 趟運動自覺強度 ($20 \pm 1 > 18 \pm 2 > 16 \pm 3$), PLA 在 12 趟, 8 趟顯著高於 4 趟運動自覺強度 ($20 \pm 1, 19 \pm 1 > 18 \pm 3$) (圖 23 所示)。

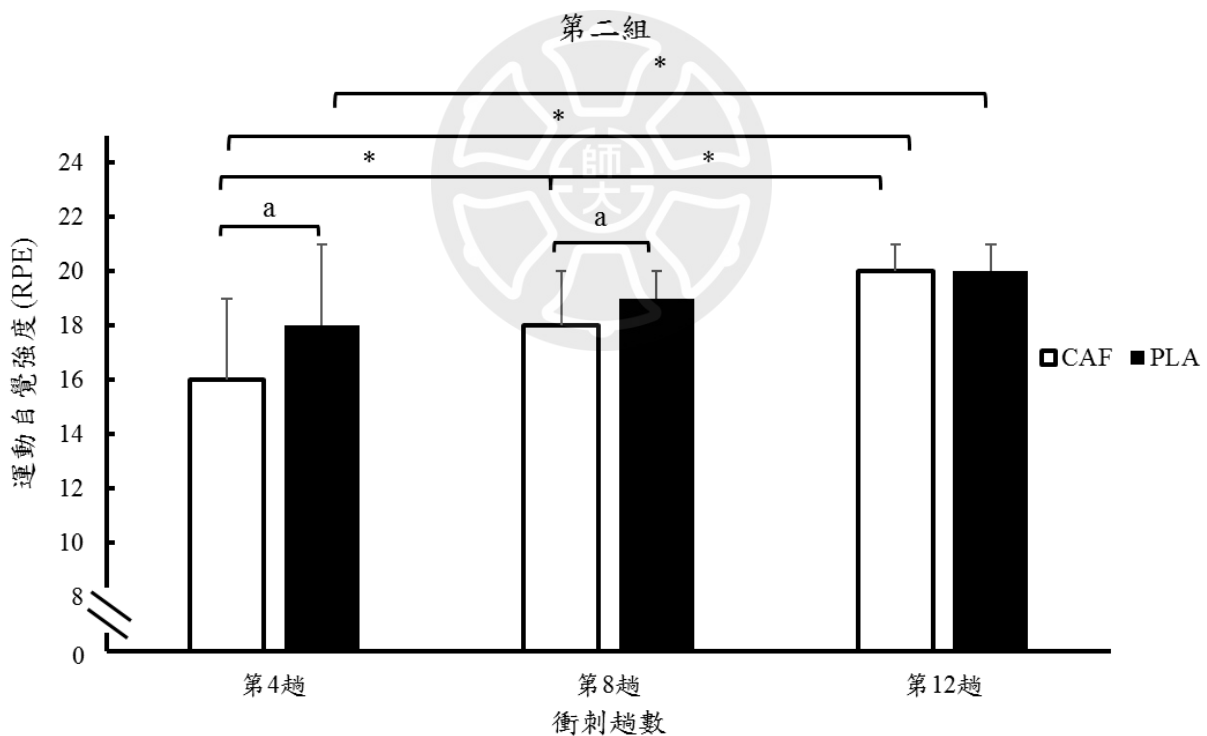


圖 24 第二組衝刺下, 不同處理間與不同衝刺趟數下的平均運動自覺強度
註: * $p < .05$, CAF 第 12 趟、第 8 趟、第 4 趟衝刺運動自覺強度達顯著差異; PLA 第 12 趟, 8 趟和第 4 趟運動自覺強度達顯著差異; ^a $p < .001$, 第 4, 8 趟運動自覺強度 CAF, PLA 達顯著差異。

七、血乳酸

以重複量數二因子 (處理 × 時間) 變異數分析, 考驗兩種不同處理 (CAF, PLA) 時對不同時間 (安靜時、增補 1 小時後、衝刺結束 3 分鐘) 血乳酸之影響 (圖 25 所示)。結果顯示, 處理因子與時間因子在交互作用上無顯著差異 ($F(2,22)=.777$, $p=.403$, $\eta^2=.066$), 處理因子主要效果未顯著水準 ($F(1,11)=1.166$, $p=.303$, $\eta^2=.096$), 時間因子主要效果達顯著差異 ($F(2,22)=93.132$, $p<.001$, $\eta^2=.894$) 在時間因子主要效果檢定顯示, 不管是 CAF, PLA 的血乳酸在衝刺結束 3 分鐘顯著高於增補 1 小時後顯著高於安靜時 ($8.1 \pm 2.6 > 1.4 \pm 0.2 > 1.2 \pm 0.3$ mmol)。

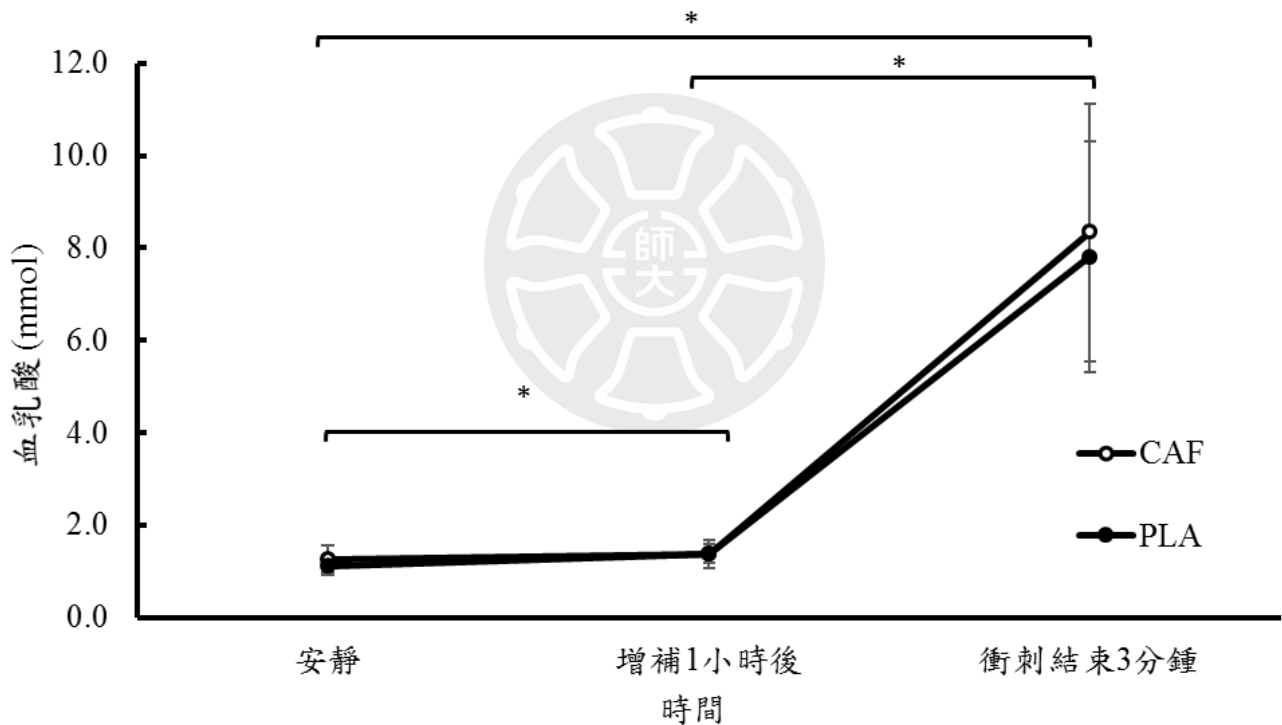


圖 25 咖啡因與安慰劑處理在不同時間點的血乳酸變化

註：* $<.001$ ，不同時間點血乳酸濃度達顯著差異。

第五章 討論

本章依據結果，分成以下三節依次進行探討：第一節、低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現之影響；第二節、低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺時生理指標之影響；第三節、結論與建議。

第一節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺表現之影響

低劑量 CAF 增補在過去研究已被發現可以改善有氧運動的表現，例如：延緩疲勞和衰竭產生及改善運動表現 (Desbrow et al., 2012; Graham & Spriet, 1995; Pickering & Kiely, 2019; Sprite, 201)。但在團體球類運動中有氧運動能力並非是唯一關鍵，運動員是否具備高強度運動表現的能力也扮演重要的角色，而高強度反覆衝刺的能力更是左右比賽勝負的關鍵。儘管低劑量 CAF 的增補也被証實可以改善高強度運動表現 (Duncan et al., 2019; Turley et al., 2015; Wiles et al., 1992)，但低劑量 CAF 增補是否也能改善高強度反覆跑步衝刺表現，值得進一步的探討。

本研究招募 12 位大專籃球甲組選手為受試者，除了分別在增補低劑量 CAF 和 PLA 後進行高強度反覆跑步衝刺測驗，並收集衝刺總時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、平均衝刺時間以及疲勞增加率作為分析衝刺表現之基礎外，並於正式實驗前在未提供任何增補劑之情形下進行兩組共 24 趟高強度反跑步覆衝刺 (前測)，以進行衝刺測驗的信度考驗。在整體 24 趟的平均衝刺時間，受試者在前測和 PLA 處理下變異係數為 $1.00 \pm 1.14\%$ ，表示衝刺測驗的重覆測驗信度高。

本研究將收集數據以二因子重複量數變異數進行分析，探討不同處理對兩組 (共 24 趟) 高強度反覆跑步衝刺表現的影響 (平均衝刺時間、最快衝刺時間、最慢衝刺時間、衝刺總時間和疲勞增加率)。研究結果顯示第二組 (共 12 趟) 的衝刺表現 (衝刺總時間、平均衝刺時間和疲勞增加率) 顯著差於第一組 (共 12 趟) 的衝刺表現，本研究的結果支

持過去研究結果 (Carr et al., 2008; Collomp et al., 1992; Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)。隨著衝刺趟數增加，磷酸肌酸的下降，碳水化合物逐漸消耗導致能量減少和血液中氫離子增加使體能逐漸下滑，因此第二組整體衝刺表現差於第一組 (林正常等，2017)。但在第一組與第二組的最快衝刺時間 (即最短的衝刺時間) (圖 13) 和衝刺總時間 (圖 15) 上，處理間並沒有差異；不過，本研究發現低劑量 CAF 增補對第一組與第二組的平均衝刺時間卻有改善的趨勢 ($p=.055$) (圖 9)。

先前有關 CAF 增補在促進高強度反覆衝刺表現的研究中，主要以中劑量 CAF 來探討，研究指出增補 5 mg/kg CAF 進行 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺能改善反覆衝刺時最快衝刺時間 (Glaister et al., 2008)；Carr 等 (2008) 研究，增補 6 mg/kg CAF 下進行 5 組的 6 × 20 m 的衝刺能改善反覆跑步衝刺時衝刺總時間，但是本研究在 CAF 與 PLA 的增補效果分析上顯示，衝刺總時間、最快衝刺時間、平均衝刺時間兩處理間並沒有達到顯著的差異。在 Graham 與 Spriet (1995) 研究發現，增補 6 和 9 mg/kg CAF 1 小時後，血液中 CAF 代謝物 (副黃嘌呤) 和兒茶酚胺濃度會高於安慰劑，表示較高的 CAF 劑量可以阻斷更多腺苷酸接受器，但是本研究是使用 3 mg/kg 為增補劑量，推測因為增補劑量不足，無法阻斷更多腺苷酸接受器，以致於無法誘發較高的中樞神經活化，進而無法招募較多肌肉參與衝刺。

此外，過去文獻亦指出增補低劑量 CAF 能改善高強度反覆衝刺表現 (Collomp et al., 1992; Del Coso et al., 2012)。Collomp 等 (1992) 增補 4.3 mg/kg CAF 可以改善 2 × 100 m 游泳衝刺時間；Del Coso 等 (2012)，增補 3 mg/kg CAF 可以改善 7 × 30 m 反覆跑步衝刺最快衝刺時間，但 Ermolao 等 (2017) 研究卻未能支持前述結果，增補 4 mg/kg CAF 對 11 × 20 m 反覆跑步衝刺是沒有幫助。或許是受試者數目不夠才導致沒有達顯著差異，Glaister 等 (2008) 認為受試者數目太少可能是造成不同研究間 CAF 增補效益不一致的原因之一，而本研究樣本數僅 12 名受試者，且在平均衝刺時間上有改善的趨勢 ($p=.055$)，建議未來研究可增加樣本數，並再次觀察低劑量 CAF 增補對於高強度反覆跑步衝刺影響的效果。

先前的學者曾提出高強度反覆衝刺間的休息時間長短也可能影響到 CAF 增補在促

進衝刺表現上的效益 (Carr et al., 2008; Glaister et al., 2008; Paton et al., 2001; Lee et al., 2012; Spencer et al., 2005)，本研究的工作/休息比設定為 1：6 (實際為約 1：6.4)，是為了可以符合籃球比賽情境的工作/休息比和驗證 Lee 等 (2012) 提出的工作/休息比 $> 1：5.5$ 的建議。但整理過去的文獻結果發現，不同劑量增補可能會受到不同工作/休息比而有不同的增補效果，在增補 3 mg/kg CAF 並使用工作/休息比為 1：7 可以改善 7×30 m 反覆跑步衝刺的衝刺表現 (Del Coso et al., 2012)、在增補 4 mg/kg CAF 但使用工作/休息比約 1：6.6 並不能改善 11×20 m 反覆跑步衝刺表現 (Ermolao et al., 2017)；此外，在增補 6 mg/kg CAF 使用工作/休息比為 1：5 或 1：22.5，使用工作/休息比 1：5 卻不能改善 2 組 4 秒 \times 12 趟腳踏車反覆衝刺表現，但若使用工作/休息比 1：22.5 可以改善 2 組 4 秒 \times 12 趟腳踏車反覆衝刺表現 (Lee et al., 2012)，而 Lee 等 (2012) 提出的工作/休息比建議是根據 6 mg/kg CAF 增補，但是本研究是低劑量 CAF 增補，而使用的工作/休息比設定為 1：6，結果也都無法改善高強度反覆跑步衝刺。因此，可以推論使用較高的工作/休息比才可能會有更好的增補效果，特別在低劑量 CAF 的增補下，或許未來研究可以探討低劑量 CAF 增補在不同工作休息比下對高強度反覆跑步衝刺表現的影響。

但是在本研究發現在最慢衝刺時間上 (即最長的衝刺時間)，不論是在第一組或第二組的衝刺上，低劑量 CAF 增補後顯著低於 PLA 的增補 (圖 14)，可能是因為 CAF 代謝物 (副黃嘌呤) 在肌肉細胞上，透過增加 Na^+/K^+ ATP_{ase} 的活性來刺激骨骼肌的 K^+ 傳遞，維持血漿電化學梯度，使肌肉有更好收縮環境，進而維持跑步衝刺的表現 (Clausen, 1996; Glade, 2010; Renaud, 2002)，未來可以針對低劑量 CAF 增補對最慢衝刺時間的影響進行相關研究。

儘管低劑量 CAF 增補並無法顯著提升第一組與第二組的最快衝刺時間和衝刺總時間，但本研究發現低劑量 CAF 增補對第一組與第二組的整體平均衝刺時間卻有改善的趨勢。而先前研究結果發現，CAF 增補是可以改善衝刺時的初期表現 (包括最快衝刺時間)，但隨著疲勞的快速累積，衝刺表現逐漸下降，使 CAF 增補在初期表現上的效益被抵消掉，導致 CAF 增補無法改善整體的跑步衝刺表現。例如，Glaister 等 (2008) 發現 CAF 增補可以改善 12 趟衝刺中的前三趟反覆跑步衝刺表現，但卻無法改善整體 12 趟

的反覆跑步衝刺表現。因此為了進一步瞭解低劑量 CAF 是否會影響第一組 (共 12 趟) 和第二組 (共 12 趟) 的初期衝刺表現，本研究以每 4 趟衝刺的平均值為一區段，並利用二因子重複量數分析，分別探討低劑量 CAF 增補與 PLA 增補對第一組與第二組中三個區段的跑步衝刺表現影響，以瞭解低劑量 CAF 增補是否也可以改善衝刺時的初期表現。研究結果發現在第一組的反覆跑步衝刺中，不論是 CAF 增補或 PLA 增補，9-12 趟和 5-8 趟的平均衝刺時間都會比 1-4 趟的平均衝刺時間長，表示隨著衝刺趟數的增加，受試者的衝刺表現逐漸下降，但是處理間的衝刺表現並沒有差異。但在第二組的反覆衝刺中發現，不論是 CAF 增補或 PLA 增補，9-12 趟和 5-8 趟都會比 1-4 趟的衝刺時間慢，9-12 趟又比 5-8 趟的衝刺時間慢，表示隨著衝刺趟數的增加，受試者的衝刺表現逐漸下降 (Carr et al., 2008; Lee et al., 2012)。除此之外，CAF 處理下的三區段平均衝刺時間 (4.675 ± 0.148 s) 都顯著低於 PLA 的處理 (4.732 ± 0.149 s)，表示不管在哪一區段的衝刺表現，CAF 的處理都會優於 PLA 的處理。

本研究在第一組的分段衝刺表現上處理間並沒有差異，可能是因為受試者背景的因素所導致。Ermolao 等 (2017) 研究是招募足球選手，使用較高劑量的咖啡因增補 (4 mg/kg)，但一樣無法改善 11 × 20 m 高強度反覆跑步衝刺表現。因此，可以推論選手的體能較佳，可以維持一組 11 趟整體的衝刺表現，而本研究也是招募大專甲組男子籃球員，因此選手可以利用自身體能維持第一組的整體衝刺表現。然而，本研究的結果，即 CAF 增補僅改善第二組 (衝刺的後期表現) 分段的衝刺表現，與先前研究結果並不一致 (Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)，可能是本研究使用 3 mg/kg CAF 增補，與先前研究的增補劑量不一致，導致劑量不足無法改善衝刺初期的表現；再加上因為先前研究是改善衝刺初期時的表現，導致隨後的疲勞快速累積，可能讓衝刺後期的表現下降 (Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)。除此之外，CAF 可以阻斷 A_{2a} 型腺苷酸接受器，而 A_{2a} 型腺苷酸接受器具有增加痛覺敏感性功能 (Davis & Green, 2009; Sawynok & Liu, 2003)，因此 CAF 可以減少受試者對疼痛的反應，導致不易感覺到疲勞，而本研究在第二組衝刺時，亦發現 CAF 增補後運動自覺強度比 PLA 增補後為低，表示 CAF 可以減少受試者對疲勞感覺的反應 (Glade, 2010)，進而在第二組的分段衝刺表現上 CAF 增補優於 PLA 增補。

同時本研究在最慢衝刺時間上，發現低劑量 CAF 增補後顯著低於 PLA 的增補。因此，這些結果可以推論低劑量 CAF 的增補並無法提升衝刺的初期表現，但隨著衝刺趟數增加時，低劑量 CAF 的增補效益才逐漸明顯，並透過降低運動自覺強度，以提升衝刺的後期表現，未來仍需要更多研究來釐清是否不同劑量的 CAF 增補，會提升不同時期的衝刺表現。

從低劑量 CAF 對整體高強度反覆跑步衝刺表現之分析結果，可看出第二組的衝刺表現顯著差於第一組衝刺表現 (衝刺總時間、平均衝刺時間)，但低劑量 CAF 增補因增補劑量不足，無法改善高強度反覆跑步衝刺的初期表現。不過，進一步分析後發現，隨著衝刺趟數增加時，CAF 增補效果才會逐漸明顯，進而改善第二組平均衝刺時間的表現 (即改善後期表現)。

第二節 低劑量咖啡因增補對高強度反覆跑步衝刺時生理指標之影響

過去的研究證實，中劑量 CAF 增補 (5-8 mg/kg) 可以改善高強度反覆衝刺表現，且同時也會提升休息時和衝刺時的心跳率，運動自覺強度以及血乳酸 (Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)，可能是 CAF 增補會增加腎上腺素釋出，興奮中樞神經系統，進而改善運動表現，相對地也會提升衝刺時的心跳率、運動自覺強度以及衝刺後的血乳酸。相反地，研究指出增補低劑量 CAF 同樣可以改善有氧運動表現，但卻不會提升休息時和運動時的心跳率，運動自覺強度以及血乳酸 (Graham & Spriet, 1995)。因此，本研究除了想了解低劑量 CAF 的增補是否會提升高強度反覆跑步衝刺表現之外，同時也測量增補後與進行衝刺測驗時的心跳率、運動自覺強度與血乳酸，以了解低劑量 CAF 的增補是否會影響休息時與衝刺時的心跳率、運動自覺強度、以及衝刺後的血乳酸。

本研究結果發現，不管是增補 CAF 或 PLA，在第二組 (共 12 趟) 衝刺的平均心跳率與平均運動自覺強度顯著高於第一組 (共 12 趟) 衝刺的平均心跳率與平均運動自覺強度，心跳率與運動自覺強度的結果也與先前的研究結果一致 (Carr et al., 2008; Lee et al., 2012)。隨著衝刺趟數的增加，疲勞的累積使體能逐漸下滑，導致第二組、平均心跳

率與平均運動自覺強度都會高於第一組，也讓第二組的衝刺表現顯著低於第一組的衝刺表現。此外，本研究結果顯示低劑量 CAF 的攝取並不會進一步提升第一組（共 12 趟）與第二組（共 12 趟）衝刺時平均心跳率、平均運動自覺強度與 24 趟衝刺結束後的血乳酸反應，然而，本研究的結果與先前研究結果並不一致 (Glaister et al., 2008; Lee et al., 2012)。先前研究指出 CAF 增補在改善運動表現的同時也會進一步提升增補後休息時和運動時的心跳率，運動自覺強度以及血乳酸 (Glaister et al., 2008)。本研究結果與先前研究結果的不一致，可能是先前研究使用中劑量 (5 mg/kg) CAF 的增補，而本研究使用低劑量 (3 mg/kg) CAF 增補，因此無法進一步增加測驗時的心跳率，運動自覺強度以及血乳酸，推測因為低劑量 CAF 增補無法引起大量腎上腺素 (Graham & Spriet, 1995)，導致無法提升高強度反覆衝刺速度，也因此沒有進一步增加增補後休息時和運動時心跳率，運動自覺強度以及血乳酸。

儘管低劑量 CAF 增補並無法顯著改善整體的高強度反覆跑步衝刺表現，但本研究進一步將第一組的 12 趟衝刺與第二組的 12 趟衝刺表現，分別進行三個區段的分析（第 1-4 趟、第 5-8 趟、第 9-12 趟），結果發現低劑量 CAF 增補可以進一步改善第二組的三個區段衝刺表現。因此為了進一步瞭解低劑量 CAF 是否也會影響第一組（共 12 趟）和第二組（共 12 趟）三個區段衝刺時的心跳率和運動自覺強度，本研究以第 4、8、12 趟為一個檢驗時間點，並利用二因子重複量數分析，進一步瞭解低劑量 CAF 增補是否也會影響第一組與第二組不同區段衝刺時的心跳率和運動自覺強度。

研究結果發現在第二組不同區段的衝刺中，不論是 CAF 增補或 PLA 增補，心跳率與運動自覺強度是隨著趟數的增加而增加，然而處理間心跳率是沒有差異，但是 CAF 的增補在第 4 趟和第 8 趟衝刺時，運動自覺強度顯著比 PLA 增補低（第 4 趟：CAF 與 PLA， 16 ± 3 與 18 ± 3 ；第 8 趟：CAF 與 PLA， 18 ± 2 與 19 ± 1 ）。Duncan, Stanley, Parkhouse, Cook 與 Smith (2013) 研究指出，增補 5 mg/kg CAF 可以改善阻力訓練時的 RPE 和疼痛感覺，而這個研究結果與本研究結果是一致。推測 CAF 可以阻斷腺苷酸接受器作用，而 A_{2a} 和 A₃ 型腺苷酸接受器作用為活化痛覺敏感性，使接受器對疼痛感覺更加敏感，當阻斷 A_{2a} 和 A₃ 型可以使痛覺訊息無法傳入中樞神經系統和大腦，達到痛覺有暫緩效果

(Davis & Green, 2009; Sawynok & Liu, 2003)，導致在第二組衝刺時，CAF 增補的運動自覺強度會比 PLA 增補低，再加上本研究在第二組三個不同區段的衝刺表現，低劑量 CAF 增補優於 PLA 的增補，代表低劑量 CAF 能延緩疲勞產生，降低運動自覺強度，進而改善高強度反覆衝刺的後期運動表現。

從低劑量 CAF 對整體 24 趟心跳率，運動自覺強度和血乳酸之分析結果，可看出因增補劑量的不足，除了不會改善高強度反覆跑步衝刺的初期表現，也不會進一步增加心跳率，運動自覺強度和血乳酸。但是進一步分析得知，低劑量 CAF 可能會改善第二組的衝刺表現，主要與運動自覺強度的下降有關。

第三節 結論與建議

一、結論

每公斤體重 3 毫克低劑量 CAF 增補可能透過運動自覺程度的降低，進而改善第二組高強度反覆跑步衝刺表現，即改善高強度反覆跑步衝刺的後期表現。

二、建議

綜合上述討論，本研究提供以下建議：

- (一) 在應用方面，本研究指出低劑量 CAF 增補能夠改善第二組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺表現，因此可以在體能訓練時使用，以增加訓練強度，以及可以在籃球比賽時使用，延緩疲勞出現，增加運動員的運動時間。
- (二) 在學術方面，低劑量 CAF 增補並不能改善 2 組 12 × 30 m 高強度反覆跑步衝刺表現。但對於增補低劑量會否有不同工作/休息比仍需釐清，建議未來研究增加樣本數和設定不同工作/休息比，並再次觀察低劑量 CAF 增補對於高強度反覆跑步衝刺影響效果。

參考文獻

- 林文煌 (1996)。咖啡因與運動能力。《中華體育季刊》，10(3)，130-140。
- 林正常、王鶴森、何仁育、吳柏翰、吳志銘、李佳倫、周峻忠、林信甫、徐孟達、郭堉圻、傅正思、劉錦謀、鄭景峰 & 黎圓 (譯)(2017)。《運動生理學：體適能與運動表現的理論與應用》。新北市：藝軒。(Power, S. K., & Holey, E T., 2015)
- 李佳倫、鄭景峰 (2011)。攝取咖啡因對心率變異性及反覆高強度衝刺的影響。《體育學報》，44(3)，351-365。
- 何正峰、李文志、王錠堯 (2008)。兩週不同型態跑步訓練對有氧及無氧耐力之影響。《運動生理暨體能學報》，(8)，81-89。
- 何正峰、石俊益、詹貴惠、王錠堯 (2012)。上坡高強度間歇訓練對籃球運動員有氧能力與下肢動力的影響。《大專體育學刊》，14(4)，476-482。
- 趙強 (2007)。《食品新知》。取自 <https://reurl.cc/QdM9M0>
- Astorino, T. A., & Roberson, D. W. (2010). Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 257-265.
- Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1319-1334.
- Błaszczuk-Bębenek, E., Piórecka, B., Kopytko, M., Chadzińska, Z., Jagielski, P., ... Schlegel-Zawadzka, M. (2018). Evaluation of caffeine consumption among pregnant women from southern poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2373-2382.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377-381.
- 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), 472-478.

Clausen, T. (1996). Long-and short-term regulation of the Na⁺-K⁺-pump in skeletal muscle. *Physiology*, 11(1), 24-30.

Collomp, K., Ahmaidi, S., Chatard, J. C., Audran, M., & Prefaut, C. (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(4), 377-380.

Davis, J. K., & Green, J. M. (2009). Caffeine and anaerobic performance ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Medicine*, 39(10), 813-832.

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

Del Coso, J., Muñoz-Fernández, V. E., Muñoz, G., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., Hamouti, N., ... Muñoz-Guerra, J. (2012). Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PloS one*, 7(2), 1-8.

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

Duncan, M. J., Stanley, M., Parkhouse, N., Cook, K., & Smith, M. (2013). Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *European Journal of Sport Science*, 13(4), 392-399.

Ermolao, A., Zanutto, T., Carraro, N., Fornasier, T., Zaccaria, M., Neunhaeuserer, D., ... Bergamin, M. (2017). Repeated sprint ability is not enhanced by caffeine, arginine, and branched-chain amino acids in moderately trained soccer players. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(1), 55-61.

Evans, S. M., & Griffiths, R. R. (1991). Caffeine tolerance and choice in humans. *Psychopharmacology*, 108(1-2), 51-59.

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability—Part I. *Sports Medicine*, 41(8), 673-694.

- Glade, M. J. (2010). Caffeine—not just a stimulant. *Nutrition*, 26(10), 932-938.
- Glaister, M. (2005). Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 35(9), 757-777.
- Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P., & McInnes, G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(10), 1835-1840.
- Graham, T. E., & Spriet, L. L. (1995). Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *Journal of Applied Physiology*, 78(3), 867-874.
- Graham, T. E., Helge, J. W., MacLean, D. A., Kiens, B., & Richter, E. A. (2000). Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *The Journal of Physiology*, 529(3), 837-847.
- Graham, T. E. (2001). Caffeine and exercise. *Sports Medicine*, 31(11), 785-807.
- Hazell, T. J., Macpherson, R. E., Gravelle, B. M., & Lemon, P. W. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 153-160.
- Lee, C. L., Cheng, C. F., Lin, J. C., & Huang, H. W. (2012). Caffeine's effect on intermittent sprint cycling performance with different rest intervals. *European Journal of Applied Physiology*, 112(6), 2107-2116.
- Lindinger, M. I., Willmets, R. G., & Hawke, T. J. (1996). Stimulation of Na⁺, K⁺-pump activity in skeletal muscle by methylxanthines: evidence and proposed mechanisms. *Acta Physiologica Scandinavica*, 156(3), 347-353.
- McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J., & McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 13(5), 387-397.
- Monks, L., Seo, M. W., Kim, H. B., Jung, H. C., & Song, J. K. (2017). High-intensity interval training and athletic performance in taekwondo athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(10), 1252-1260.

- Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N., & Chen, B. (2009). Physiological demands of competitive basketball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19, 425–432.
- Nehlig, A. (2018). Interindividual differences in caffeine metabolism and factors driving caffeine consumption. *Pharmacological Reviews*, 70(2), 384-411.
- Pasman, W. J., Van Baak, M. A., Jeukendrup, A. E., & De Haan, A. (1994). The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *International Journal of Sports Medicine*, 16(4), 225-230.
- Paton, C. D., Hopkins, W. G., & Vollebregt, L. I. S. A. (2001). Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), 822-825.
- Pickering, C., & Kiely, J. (2019). Do non-responders to exercise exist—and if so, what should we do about them? *Sports Medicine*, 49(1), 1-7.
- Renaud, J. M. (2002). Modulation of force development by Na⁺, K⁺, Na⁺ K⁺ pump and K ATP channel during muscular activity. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(3), 296-315.
- Sawynok, J., & Liu, X. J. (2003). Adenosine in the spinal cord and periphery: release and regulation of pain. *Progress in Neurobiology*, 69(5), 313-340.
- Sökmen, B., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Casa, D. J., Dias, J. C., Judelson, D. A., ... Maresh, C. M. (2008). Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 978-986.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1044.
- Spriet LL., Lindinger MI., McKelvie RS., Heigenhauser GJ., & Jones NL (1989). Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of Applied Physiology* 66(1), 8–13.
- Spriet, L. L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Medicine*, 44(2), 175-184.

Turley, K. R., Eusse, P. A., Thomas, M. M., Townsend, J. R., & Morton, A. B. (2015). Effects of different doses of caffeine on anaerobic exercise in boys. *Pediatric Exercise Science*, 27(1), 50-56.

Wiles, J. D., Bird, S. R., Hopkins, J., & Riley, M. (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *British Journal of Sports Medicine*, 26(2), 116-120.



附錄

附錄一 健康狀況調查表

本表旨在幫助您瞭解自身之健康及訓練情況，並協助測驗人員決定在正式測驗前是否需要進一步的健康檢查。您若覺得下列問題不便回答或牽扯個人隱私，可以選擇不答，但是若您拒絕回答的問題對本測驗非常重要，那麼您將不能參與此項測驗。請根據過去健康檢查報告之情況，誠實回答下列問題：(請您在有、無、不確定欄中打 v)

	有	無	不確定
1. 高血壓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 心臟病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 痛風	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 氣喘、慢性支氣管炎或肺氣腫	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 糖尿病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 貧血	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 癲癇或曾不明原因暈倒或失去意識	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 心律不整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 下肢傷害	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 有無抽菸習慣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. 是否有其他慢性疾病		<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 否
12. 過去一年內是否住院		<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 否
13. 是否有服用藥物		<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 否

原因 _____

接受訓練的時間(年) _____

以下題目為了解您咖啡因攝取狀況，無標準答案，請依據您實際狀況填答，每題只能勾選一個答案。謝謝您！參考 Błaszczyk-Bębenek 等 (2018)

「從不」：表示生活中從未有此情形

「很少」：表示每週有 1 - 2 次出現此情形

「偶爾」：表示每週有 3 - 4 次出現此情形

「經常」：表示每週有 5 - 6 次出現此情形

「總是」：表示幾乎每次皆如此；或每週有 7 次

題目	從不	很少	偶爾	經常	總是
1. 我每天至少攝取一杯研磨咖啡 (一杯為 240 mL)。					
2. 我會至少攝取一杯速溶咖啡 (一杯為 240 mL)。					
3. 我會吃巧克力或巧克力製成的食品。					
4. 我會至少攝取一杯可可 (一杯為 250 mL)。					
5. 我會至少攝取一杯巧克力牛奶 (一杯為 60 mL)。					
6. 我至少攝取一杯綠茶 (一杯為 150 mL)。					
7. 我至少攝取一杯紅茶 (一杯為 150 mL)。					
8. 我至少攝取一杯烏龍茶 (一杯為 150 mL)。					
9. 我會至少攝取一瓶能量飲料 (一瓶為 250 mL)。					
10. 我會至少攝取一瓶碳酸飲料 (一瓶為 360 mL)。					

姓名：_____

填表日期：_____

附錄二 受試者須知

本研究目的在探討「低劑量咖啡因增補對於高強度反覆跑步衝刺表現影響為何」。每位受試者總共需來實驗室四次，包含兩次熟悉實驗流程，以及兩次實驗處理為 2 組 12 × 30 m 反覆跑步衝刺，每次實驗大約進行 60 分鐘。在實驗過程中，會於不同的時間點（休息狀態下、服用膠囊 1 小時後、每次衝刺後）詢問「運動自覺強度量表」及採取耳垂血（休息狀態下、服用膠囊 1 小時後、衝刺後 3 分鐘）。受試者若改變意願不想參加實驗時，請主動告知研究人員，您可以隨時退出實驗而不受任何限制。參與實驗的受試者必須瞭解並同意下列事項：

1. 本研究的時間自民國 109 年 3 月 1 日至 109 年 6 月 31 日止。
2. 在指定的時間穿著運動服裝至國立台灣師範大學（公館校區），每位受試者總共需來實驗室 4 次，包含 2 次熟悉實驗流程，以及兩次的實驗處理，每次實驗大約進行 60 分鐘。
3. 實驗前 24 小時的飲食請依您第二次熟悉期前一天飲食。
4. 實驗前 24 小時不得飲用咖啡、茶、可樂或任何含咖啡因的飲料。
5. 實驗前一天睡滿 7 小時或以上，以及水份攝取要 2000 毫升以上。
6. 每次實驗前 24 小時，不可進行激烈運動及高強度訓練。
7. 實驗前 3 小時不可進食（可喝水）。
8. 每次實驗服裝和鞋子都必須相同。
9. 衝刺測驗時務必以全力完成測驗，勿保留實力。

研究單位：國立臺灣師範大學 運動競技學系

研究生：方偉業

指導教授：何仁育

附錄三 受試者同意書

研究的目的是探討「低劑量咖啡因增補對於高強度反覆跑步衝刺表現影響為何」。為了保護受試者權益，你可以隨時提出疑問，研究人員皆會認真解答。每位受試者總共需來實驗室四次，包含兩次熟悉實驗流程，以及兩次實驗處理，每次實驗大約進行 60 分鐘。在實驗過程中，會於不同的時間點（休息狀態下、服用膠囊 1 小時後、每次衝刺後）詢問「運動自覺強度量表」及採取耳垂血（休息狀態下、服用膠囊 1 小時後、衝刺後 3 分鐘）。受試者需據實回答健康及訓練情況調查表，經研究人員篩選出來的實驗參與者，在整個實驗操作過程應無安全上之顧慮。若受試者在運動過程中，遇有下列情形，應立即提出，並停止實驗：

- 一、身體感覺極度不適。
- 二、嚴重呼吸困難與急促。
- 三、難以忍受的疼痛或頭痛。

主要實驗處理流程如下：

- 一、熟悉期為講解實驗流程以及反覆衝刺的實驗前測。
- 二、第一次實驗時進行攝取咖啡因或安慰劑一小時後，進行測驗為 2 組 12×30 m 跑步反覆衝刺，衝刺休息時間為 30 秒。
- 三、第二次實驗過程與第一次實驗相同。

實驗所測得之所有資料與數據，僅供學術研究之用，絕不外流。本研究需要您的自願參與和合作，才能順利達成。您的健康情形已合乎本研究的要求，如您願意參與本研究，請在本同意書的下方姓名欄內簽名，表示完全了解「受試者須知」、並同意遵守本「受試者同意書」所列之各項規定。受試者若改變意願不想參加實驗時，請主動告知研究人員，您可以隨時退出實驗而不受任何限制。

姓 名(正楷)： _____

填表日期： _____

附錄四 咖啡因食/飲品成分表

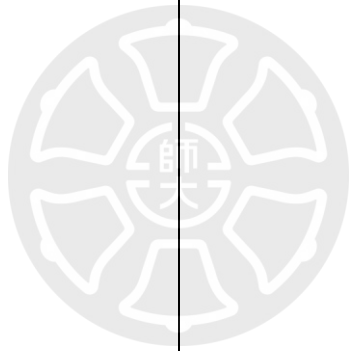
食品名稱	份量	咖啡因含量 (毫克)
咖啡		
濃縮咖啡(Espresso)	42 cc	90-120
即溶咖啡粉	3 g	60-100
煮式咖啡	180 cc	85-130
蒸餾式咖啡	180 cc	110-175
濾式咖啡	180 cc	150-300
飲料		
百事可樂	360 cc	38.04
可口可樂	360 cc	45.06
Red bulls 能量飲料	250 cc	80
巧克力牛奶	60 cc	5-15
熱巧克力	250 cc	5-10
茶		
即溶紅茶	150 cc	30
全發酵紅茶	150 cc	50
半發酵烏龍茶	150 cc	30-40
綠茶	150 cc	20-30
零食		
巧克力	100 g	80
PB speed 運動果膠	35 g	40
黑巧克力	60 g	10-50

註：摘自趙強 (2007) 食品新知-衛生福利部食品藥物管理署和 Burke (2008). Caffeine and sports performance

附錄五 飲食紀錄表

姓名：_____ 年齡：_____ 身高：_____ cm 體重：_____ kg 日期：_____

餐次	進食時間	食物來源	食物名稱	份量	烹調法



附錄六 熟悉期實驗記錄表

[受試者基本資料]

編號：_____；熟悉試驗：_____ / _____ / _____

出生年月日：_____ / _____ / _____；年齡：_____

身高：_____ cm；體重：_____ kg

[熟悉期衝刺時間]

安靜心跳率：_____ 前測：_____；_____

1. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

2. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

3. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

4. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

5. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

6. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

7. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

8. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

9. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

10. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

11. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

12. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

[第二組衝刺時間和心跳率]

13. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

14. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

15. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

16. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

17. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

18. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

19. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

20. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

21. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

22. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

23. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

24. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

附錄七 正式實驗記錄表

[受試者基本資料]

編號：_____；實驗日期：_____/_____/_____

身高：_____ cm；體重：_____ kg；第幾次實驗：_____

[血液乳酸測量]

安靜時：_____；服用一小時後：_____；衝刺後 3 分鐘：_____

[運動自覺強度]

安靜時：_____；服用一小時後：_____

[第一組衝刺時間和心跳率]

安靜時：_____；服用一小時後：_____

前測：_____；_____

1. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

2. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

3. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

4. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

5. 時間：_____ s；心跳率：_____ bpm；RPE：_____

6. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

7. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

8. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

9. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

10. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

11. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

12. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

[第二組衝刺時間和心跳率]

13. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

14. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

15. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

16. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

17. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

18. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

19. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

20. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

21. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

22. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

23. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

24. 時間： _____ s ；心跳率： _____ bpm ； RPE： _____

