

國立臺灣體育運動大學競技運動學系
碩士學位論文

探討補充支鏈胺基酸與精胺酸對優秀女子手球
選手連續兩天模擬比賽運動表現之影響

THE EFFECTS OF BRANCHED-CHAIN
AMINO ACIDS AND ARGININE ON
PERFORMANCE IN TWO CONSECUTIVE
DAYS OF SIMULATED GAMS IN FEMALE



研 究 生： 梁 雅 瑀 撰
指 導 教 授： 張 振 崗 教 授

中 華 民 國 103 年 7 月

中文摘要

支鏈胺基酸 (branched-chain amino acids, BCAA) 與精胺酸 (arginine, Arg) 具有多重生理功能。運動前補充 BCAA 可能可減少色氨酸進入腦部，降低腦部血清素合成，進而延緩中樞疲勞；亦可能促進肌肉蛋白質合成，並降低肌肉損傷。運動前補充精胺酸可能可增加一氧化氮 (nitric oxide) 合成，刺激血管擴張及增加血流量，加速乳酸與氨的代謝。本研究探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽之運動表現及運動後肌肉損傷的影響。以 8 名國立臺灣體育運動大學女子手球代表隊為研究對象，採隨機交叉設計，每次測試為期二天，每天包含一次模擬比賽做為運動測試。於運動測試前一小時補充 0.17g/kg BCAA 與 0.04g/kg Arg (AA 測試) 或安慰劑 (安慰劑測試)，並於運動測試前後各進行反應測試。運動測試以間歇性運動型態模擬手球比賽，上、下半場各 30 分鐘，中間休息 10 分鐘，每 2 分鐘進行 1 次 20 公尺衝刺並計時，做為運動表現指標，計算每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間，並計算改變率；中場休息及運動後皆詢問自覺量表 (ratings of perceived exertion, RPE)。於第一天運動前、後及運動後 2 小時與第二天運動前、後採取靜脈血液樣本，分析血漿肌酸激酶、乳酸脫氫酶、乳酸、氨、尿素、葡萄糖、甘油、游離脂肪酸、睪固酮與可體松濃度。AA 測試在第二天第 26-30 趟的衝刺時間顯著低於安慰劑測試；與第一天相比，第二天每 5 趟 20 公尺衝刺時間改變率，AA 測試於第 21-25 趟與第 26-30 趟顯著低於安慰劑測試；血液各肌肉損傷與能量代謝指標，

以及 RPE 結果，在兩測試間則無顯著差異。本研究顯示，於手球運動前一小時補充 BCAA 與 Arg，可能可以提升第二天運動後期的衝刺運動表現，但對運動期間能量代謝與肌肉損傷無顯著影響，對自覺疲勞程度及運動後認知與反應功能亦無顯著影響，BCAA 及 Arg 提升運動表現的機轉需要進一步研究。

關鍵詞：支鏈胺基酸、精胺酸、高強度間歇運動、手球

英文摘要

Abstract

Branched-chain amino acids (BCAA) and arginine (Arg) have multiple physiological functions. BCAA could reduce cerebral uptake of tryptophan, resulting in decreased serotonin synthesis in the brain and during exercise. Therefore, BCAA supplementation could alleviate exercise-induced central fatigue. BCAA could also increase muscle protein synthesis and prevent exercise-induced muscle damage. The supplement of Arg before exercise could increase the synthesis of nitric oxide and vasodilation. The purpose of this study is to investigate the effect of the combination of BCAA and Arg on exercise performance and muscle damage in 2 consecutive days of simulated match in elite collegiate female handball players. This study used a randomized cross-over design. Eight subjects consumed 0.17g /kg BCAA and 0.04g /kg Arg (AA trial) or placebo (placebo trial) before exercise. The simulated handball match is composed of 2 30-min halves with 10 min rest in between. The subjects made a 20 m sprint every 2 min. The average time of the intermittent sprints in simulated matches was used as the indicator of exercise performance. Ratings of Perceived Exertion (RPE) were recorded prior and after the simulated match. Blood samples were collected before and immediately after the simulated match on both days, and 2 hr

post-exercise on day 1. The serum concentrations of creatinine kinase, lactate dehydrogenase, lactate, ammonia, glucose, glycerol, free fatty acid, testosterone and cortisol were measured. The average time in sprint 26-30 on day 2 was significantly lower in the AA trial. The percent change of time in sprint 21-25 and 26-30 between day 1 and day 2 were also significantly lower in the AA trial. However, serum markers of muscle damage and metabolism were not different between the 2 trials. RPE scores were similar between the trials. This study suggested that pre-exercise supplementation of BCAA and Arg could improve the performance in intermittent sprint on the second half of day 2 in 2 consecutive days of exercise. Nevertheless, the supplementation has no effect on muscle damage, energy metabolism, and perceived fatigue. The mechanism in which BCAA and Arg improve intermittent sprint performance requires further investigation.

**Key words: Branched-chain amino acids 、 Arginine 、
High-intensity intermittent exercise 、 handball**

致謝

每一年的六月鳳凰黃花開將是離別的季节，心裡有著很深的感受！Nobody can go back and start a new beginning, but anyone can start now and make a new ending. 臺體大八年，大學、教程、碩班，每一階段有著不同的驚奇和挑戰，過程中跌倒、挫折、希望，有著這些促使我成長的養分，讓我發現這些平凡卻又真實的小幸福！感謝我的家人無條件的支持與鼓勵，讓我無後顧之憂地完成每一階段。再者，由衷感謝我的指導教授張振崗老師，總是細心、包容、不厭其煩的調教，讓我發現原來我還可以走不一樣領域、看見我曾未想過的夢想，更教會我更加獨立的一面，踏入運科那一刻，特別感受到除了家庭和球隊以外的另一個家的溫暖，讓我體會出運科真的很強！非常感謝巫錦霖老師、邱彥成老師及方世華老師，每一週強悍的Meeting 給予我更多不同的專業學術角度知識！以及程一雄老師，特別撥空，在論文口試細心給予我許多寶貴的建議。因有各位老師的指導讓我如期完成這本精華版碩士論文。

張家的好夥伴名穗、玫嫵、淳方、玉芳學姐，謝謝妳們願意花時間重新帶領、教會我，學習每一項實驗所有的細節，讓我可以完成這項艱難的責任！還有默默關心我的志暉學長、家成學長、君瑋學姐、玫蕙學姐，無時無刻在旁關懷給予鼓勵讓我感受我不是一個人，並在論文上給予指導。一路與我奮戰的伊寧、雅智、忠志、芳喬、沂欣，你們總是在我需要的時候陪在我身邊，給予我安慰，若沒

有你們我肯定會無聊，對於你們，有著太多的感謝，謝謝如此包容我，陪著我一起成長，讓我在人生中多添加許多色彩，多一道值得的歷程。

最後不忘感謝臺體大手球隊，張簡坤明教練、張榮顯教練，以及參與實驗的所有學妹，全力的無私地配合我完成實驗。路程、人心，環環相扣，若沒有你們，這是這一項永遠也無法完成的夢想，感謝有著你們才有現在的我！

梁雅瑀 謹致

中華民國一〇三年七月

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
致謝	V
目錄	VII
表目錄	IX
圖目錄	X
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究假設	3
第四節 研究範圍與限制	3
第貳章 文獻探討	4
第一節 支鏈胺基酸對於運動的影響	4
第二節 精胺酸對於運動表現和代謝的影響	9
第參章 研究方法與步驟	13
第一節 實驗對象	13
第二節 實驗設計	13
第三節 飲食及身體活動控制	13
第四節 實驗步驟	14
第五節 反應測驗與運動測試	14
第六節 最大攝氧量測量	15
第七節 血液採集與分析	16

第八節 血漿體積校正方法	20
第九節 資料分析	20
第四章 結果	22
第一節 受試者基本資料	22
第二節 運動表現	22
第三節 血液生化值	22
第四節 自覺量表	25
第五節 反應測試	25
第五章 討論	26
第一節 運動表現	26
第二節 血液代謝指標	29
第三節 肌肉損傷	31
第六章 結論	33
引用文獻	57
一、中文部分:	57
二、英文部分:	58
附錄	66
附錄一 受測者之飲食控制	66
附錄二 反應測試操作以及各螢幕象限之對應按鍵指定位置..	67
附錄三 受測者需知及同意書	68

表目錄

表一 受試者基本資料	34
表二 受試者運動測試期間之飲用水量	35

圖目錄

圖一	運動期間 BCAA 代謝途徑	36
圖三	模擬比賽流程圖	38
圖四	AA 測試與安慰劑測試連續兩天之運動表現	39
圖五	AA 測試與安慰劑測試運動表現改變率....	40
圖六	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 creatine kinase 活性 ...	41
圖七	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 lactate dehydrogenase 活性	42
圖八	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿乳酸濃度	43
圖九	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿氨濃度	44
圖十	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿尿素濃度	45
圖十一	AA 測試與安慰劑測試兩天之血漿尿素濃度曲線下增加面積.	46
圖十二	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿葡萄糖濃度 ..	47
圖十三	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿甘油濃度	48
圖十四	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 NEFA 濃度 ..	49
圖十五	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 testosterone 濃度.	50
圖十六	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 cortisol 濃度	51
圖十七	AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 testosterone/cortisol 比率.....	52
圖十八	AA 測試與安慰劑測試於運動中場休息及運動結束之自覺量表.	53
圖十九	AA 測試與安慰劑測試每天平均運動測試自覺量表....	54
圖二十	AA 測試與安慰劑測試運動前後反應時間	55
圖二十一	AA 測試與安慰劑測試運動前後反應測試正確率....	56

第壹章 緒論

第一節 研究背景

手球運動需要具備多種的體能，必須有良好的移位速度、反應能力、耐力、爆發力、敏捷性等。為了應付激烈的訓練及大量的體能消耗，利用攝取營養增補劑來延緩疲勞得產生，可使運動員在比賽中維持較佳的體能狀態。進行高強度間歇運動時會迫使肌肉拉長收縮，導致肌纖維受到輕微損傷，造成肌肉痠痛的現象；然而手球比賽過程中，大多數時間選手處於高強度間歇運動，因此即使經過長時間訓練的手球選手，經數場比賽後，也易發生肌肉痠痛的現象。

在相同的相對運動強度之下，女性較男性用較高比例的脂肪，與較低的醣類和蛋白質做為能量的來源，造成女性在非常長時間的運動項目的表現可能優於男性(張振崗，2004)。高強度運動造成生理疲勞，週邊疲勞發生於骨骼肌，原因之一是肌肉中醣酵解作用增加，其作用之副產物大量堆積，導致代謝酸性增加，抑制醣酵解路徑中的活性酵素。中樞疲勞是指中樞神經系統所產生的疲勞，其中的機轉為血液中的游離色胺酸(free tryptophan, fTrp)增加，進入腦部的fTrp增加，而增加血清素(serotonin)合成，因而產生疲勞的感覺。另一方面，骨骼肌嘌呤核苷酸循環(purine nucleotide cycle)活性增加，造成運動誘發的高血氨症，氨越過血腦屏障(blood-brain barrier)，進入中樞神經系統，會減低運動神經的輸出，導致運動表現下降(Newsholme & Blomstrand, 2006)。過去研究指出，運動前補充支鏈胺基酸(branched-chain amino acids, BCAA)可能可以減少中樞疲勞

產生，同時在運動後提高肌肉蛋白質合成作用，減少肌肉損傷。但也有研究顯示，補充 BCAA 可能會提高運動期間體內 BCAA 氧化作用，增加血氨濃度 (Rennie,Bohe, Smith, Wackerhage, & Greenhaff, 2006)。

精胺酸 (arginine, Arg) 為尿素循環 (urea cycle) 的中間產物，藉由精氨酸酶 (arginase) 分解為鳥氨酸 (ornithine) 再轉換成尿素，而補充精胺酸也可能可以增加一氧化氮 (nitric oxide, NO) 合成，而 NO 具有增加血管擴張反應，及局部血流量的作用 (Endemann & Schiffrin, 2004)，因此，補充 Arg 可能可提高尿素循環的速率，促使血氨代謝成尿素，降低血氨濃度。

第二節 研究目的

本研究探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽，運動表現、反應測試及運動後肌肉損傷的影響。

- 一、探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽運動表現之影響。
- 二、探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽運動後肌肉損傷指標肌酸激酶 (creatine kinase, CK)、乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 之影響。
- 三、探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手間歇性手球模擬比賽後於血漿中、乳酸、氨、葡萄糖、甘油、非脂化脂肪酸 (non-esterified fatty acid, NEFA)、testosterone、cortisol 等能量代謝指標。

- 四、探討補充 BCAA 與 Arg，對於優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽，對眼手反應的影響。

第三節 研究假設

- 一、補充 BCAA 與 Arg，對於優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽運動表現無顯著影響。
- 二、探討補充 BCAA 與 Arg，對優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽後肌肉損傷指標 CK 與 LDH 無顯著影響。
- 三、探討補充 BCAA 與 Arg，對於優秀大學女性手球選手間歇性手球模擬比賽後血漿乳酸、氨、葡萄糖、甘油、NEFA、testosterone、cortisol 等能量代謝指標無顯著影響。
- 四、補充 BCAA 與 Arg，對於優秀大學女性手球選手連續兩天手球模擬比賽後，眼手反應無顯著影響。

第四節 研究範圍與限制

- 一、本研究實驗為模擬手球比賽高強度間歇性運動型態，測驗內容接近手球運動比賽之節奏，但與實際比賽仍不相同。
- 二、本研究之受測者作息為常態生活，並由研究人員提供餐點，僅盡量控制實驗期間的飲食，受試者本身的飲食控管、避免熬夜、宵夜及高蛋白營養品等事項僅能口頭提點。
- 三、本研究未考慮女性選手生理週期的可能變化。

第貳章 文獻探討

第一節 支鏈胺基酸對於運動的影響

BCAA 包含白胺酸 (leucine) 、異白胺酸 (isoleucine) 和纈胺酸 (valine) ，大約佔飲食中必需胺基酸的三分之一，在人體肌肉所需要總蛋白質的 14-18% (Riazi, Wykes, Ball, & Pencharz, 2003) 。BCAA 可做為骨骼肌的第三能量來源，僅次於醣類與脂肪 (Goldberg & Chang, 1978) 。

目前研究發現，補充 BCAA 有助於延緩運動時產生的中樞疲勞，減少肌肉蛋白質分解，並促進肌肉蛋白質合成 (Matsumoto et al., 2007) ，亦有少數研究發現 BCAA 可能可以減緩運動引發的肌肉損傷 (Shimomura et al., 2006) 。因此，補充 BCAA 可能有助於運動員提升運動表現。

BCAA 在運動時會利用轉胺作用 (transamination) ，將胺基轉移至麩胺酸 (glutamate) 上，再轉移至丙酮酸 (pyruvate) ，形成丙胺酸 (alanine) ，丙胺酸由肌肉經血液循環至肝臟代謝，丙胺酸進入肝臟後會轉變成 pyruvate ，同時將胺基轉移至麩胺酸上，進入尿素循環形成尿素排出體外，肝臟中的丙酮酸則會經由醣質新生作用 (gluconeogenesis) 生成葡萄糖，再經由血液輸送至肌肉中做為能量來源 (Houston, 2006, 如圖一) 。

一、支鏈胺基酸與中樞疲勞

運動疲勞可分為週邊疲勞及中樞疲勞，週邊疲勞主要為能量代謝產物增加，使肌肉內 pH 值下降，影響能量代謝過程。然而，在劇烈運動時，大量 ATP 轉變為 ADP 與 AMP，為避免 AMP 堆積，進而影響 ATP 水解，經由嘌呤核苷酸循環 (purine nucleotide cycle)，將 AMP 轉變為次黃嘌呤核苷酸 (Inosine Monophosphate, IMP)，並產生氨，導致大量氨堆積於肌肉，並擴散至血液中 (Graham, Turcotte, Kiens, & Richter, 1997)，且氨可通過血腦屏障 (blood-brain barrier)，進入大腦，產生疲勞，並限制運動表現 (Banister & Cameron, 1990)。因此，運動誘發的氨堆積可能導致週邊疲勞與中樞疲勞的產生。

在運動過程中，腦部累積過多的血清素，會造成中樞神經疲勞的現象，並可能會因此降低運動表現。血液中的 fTrp 是合成血清素的前驅物。一般情況下，Trp 大多是和血液中的白蛋白結合在一起；在長時間耐力型運動過程中，隨著有氧代謝比例增加，能量代謝主要來源由 NEFA 提供，會分解脂肪做為能量來源，並使得血液中的 NEFA 增加。NEFA 會與 Trp 互相競爭和白蛋白的結合位置，使得色氨酸從白蛋白脫離到血液中，造成血液循環中 fTrp 增加 (Davis 等, 1992)。當血漿 fTrp 濃度上升，會通過血腦屏障進入腦中，並在大腦合成血清素，血液中 fTrp 的濃度和腦中血清素合成量成正比。進而造成中樞神經疲勞的現象，使得運動表現下滑 (Davis, Alderson, & Welsh, 2000; Blomstrand 等 2005)。

BCAA 會與 fTrp 競爭同一種轉運體 L-system transporter，當肌肉肝醣耗盡，身體會利用蛋白質作為能量

來源，造成血漿中 BCAA 濃度下降，促使 fTrp/BCAA 比值上升（Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 1988），可能是造成中樞疲勞的另一原因。因此，藉由補充 BCAA，提升運動期間血漿 BCAA 濃度，降低血漿 fTrp/BCAA 比值，降低 fTrp 進入大腦中，進而減少大腦合成血清素（Davis, 1995），可能可以減緩中樞疲勞。

二、支鏈胺基酸與運動表現

在人體研究中，僅有少數顯示補充 BCAA 可以提升運動表現。

Mittleman, Ricci, & Bailey (1998) 將 6 名女性及 7 名男性受試者於熱環境（ $34.4 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ ）下進行 40% $\dot{V}\text{O}_{2\text{peak}}$ 固定腳踏車運動直到衰竭，在運動期間每 30 分鐘分別攝取 BCAA 或安慰劑，男性 BCAA 總攝取量為 $15.8 \pm 1.1\text{ g}$ ，女性 $9.4 \pm 0.8\text{ g}$ 。結果顯示男、女性補充 BCAA 皆顯著增加 BCAA 濃度，降低 fTrp/BCAA 比值，並且顯著增加衰竭時間。

Blomstrand, Hassmen, Ek, Ekblom, and Newsholme (1997) 以 7 名自由車運動員為研究對象，進行 70% $\text{VO}_{2\text{max}}$ 持續 60 分鐘腳踏車運動，隨後進行 20 分鐘最大強度運動，BCAA 測試於運動期間每 15 分鐘補充一次，BCAA 總攝取量為 90 mg/kg（約 6.5 g）。結果顯示 BCAA 測試顯著降低運動後 fTrp/BCAA 比值，自覺疲勞程度顯著低於安慰劑組，亦改善運動後的認知表現（color word test）得分。

Gonzalez 等 (2011) 以阻力運動為模式，8 名訓練有素的大學男性，運動前補充含有 BCAA 的飲料，成分包括 BCAA、Arg、caffeine、taurine、glucuronolactone、creatine、

beta- alanine、and L- glutamine ，以 80% 1RM 進行深蹲與臥推重複 4 組，結果顯示補充組完成之總次數顯著高於對照組，而且最大功率也顯著較高，但因補充品含有多種成份，無法斷定是否為 BCAA 之效果。

另一方面也有研究發現補充 BCAA 對運動表現沒有影響，Watson, Shirreffs, and Maughan (2004) 指出 8 名健康男性受測者在熱環境下 (30°C) 進行 50% VO₂ peak 腳踏車運動至衰竭，於運動前及在運動中攝取 BCAA，結果顯示 BCAA 測試在運動前顯著增加 BCAA 濃度及降低 fTrp/BCAA 比值，但在運動期間顯著增加氨濃度，而運動表現、皮膚體溫、乳酸及血糖則無顯著差異。

Hell 等 (1995) 指出 10 名受過訓練的男性受試者進行 70%-75% 最大輸出功率的腳踏車運動，直到衰竭，並分別補充 3 g 色胺酸、6 g BCAA 或 18 g BCAA，發現補充 BCAA 對運動表現沒有有影響，而且補充色胺酸也對運動表現無任何影響，顯示中樞疲勞的理論仍有待進一步探討。

三、支鏈胺基酸酸與肌肉損傷

劇烈運動時因肌肉過度拉長產生高張力，使結締組織或肌纖維受到輕微損傷，導致運動後 24 至 48 小時會產生明顯的腫脹、肌肉痠痛、肌力減退、關節活動範圍變小等症狀，稱為延遲性肌肉酸痛 (delayed-onset muscle soreness, DOMS) (Armstrong, 1984)。劇烈運動後所造成的 DOMS，會影響運動員訓練強度或後續的運動表現。一般評估肌肉損傷常用之生化指標包括肌紅蛋白 (myoglobin, Mb)、LDH 及 CK 等。

Yoshida 等 (2011) 以 12 名健康女性為對象，以交叉設

計進行，每天運動前攝 BCAA (isoleucine:leucine:valine = 1:2.3:1.2) 或麥芽糊精、安慰劑，進行半蹲運動，每組做 20 下，共 7 組，組間休息 3 分鐘，在 BCAA 測試酸痛程度比安慰劑測試顯著降低，然而 DOMS 巔峰值出現在第 2 天和第 3 天，安慰劑測試血清肌紅蛋白的濃度增加，BCAA 測試卻沒有改變，研究結果顯示補充 BCAA 可能可抑制肌肉損傷。

Koba 等 (2007) 以 8 名長跑選手為對象，第一至四天攝取 2g BCAA 和 0.5g Arg 及 20 g CHO 或安慰劑，在第四天下午進行 25 公里跑，運動前 30 分鐘攝取 1 g BCAA、0.25 g Arg 及 10 g CHO，之後在每 5 公里處可自由攝取，研究結果顯示補充 BCAA 可降低運動後之血漿 LDH 活性，但對血漿 CK 活性則無顯著影響。

黃奕仁等 (2006) 以 7 位男性選手於超級馬拉松練習賽中，以平均 6.48 小時，完成平均 58.52 公里距離，採平衡設計分組，選手在比賽前 30 分鐘、運動後每 2 小時均以單盲方式補充胺基酸營養飲料，另以運動飲料做為安慰劑。結果發現胺基酸組跑步速率顯著高於安慰劑組，但測試運動後血漿 CK 活性二組沒有明顯差異，胺基酸測試在跑後自覺疲勞程度及對飲品效用之認同部分顯著優於安慰劑組。結果認為補充含胺基酸飲料對超長距離跑步選手跑步速率可能有幫助，也可能是來自於能量循環系統中間產物之原料得到充分供應，有助於能量系統產能機轉之正向回饋作用；運動後兩組血漿 CK 活性均顯著提升，表示含胺基酸運動營養飲料對肌肉損傷並無顯著影響。

Blomstrand 等 (1995) 以 5 名男性受試者為對象，採隨機設計，BCAA 測試補充，7 g BCAA 與 6% CHO 的飲料，

安慰劑測試補充 6y CHO，進行 75% VO₂max 至衰竭的運動測試，結果表示 CHO + BCAA 或單獨供應 CHO 在血漿 LDH、CK 濃度無顯著影響。

林香吟、林正常 (2010) 以 8 名健康男性大學生，採雙盲交叉實驗，BCAA 測試補充 92 mg/kg 或安慰劑測試補充膠囊，進行 60% VO₂max 固定式腳踏車運動 30 分鐘，BCAA 測試運動後 CK 活性顯著低於安慰劑測試，顯示運動前 60 分鐘補充 BCAA，可能可以降低肌肉損傷。

因此，運動前或運動中補充 BCAA，對肌肉損傷效果仍不明確，而且多數研究以男性為對象，目前對於女性研究相當有限，仍需進一步探討。

第二節 精胺酸對於運動表現和代謝的影響

在運動期間肌肉內氨及乳酸的堆積，是造成運動疲勞的因素之一，氨主要於肝臟中經由尿素循環形成尿素，再由腎臟或汗腺排出體外。

氨與重碳酸鹽 (HCO_3^-) 結合之後，形成氨甲酰磷酸 (carbamoyl phosphate)，進入尿素循環，隨後形成 Arg，經由精胺酸酶 (arginase) 分解，產生鳥胺酸 (ornithine) 及尿素，因此，Arg 是尿素循環中間產物。過去研究發現 Arg 可能可以藉由提高尿素循環作用，增加血氨代謝成尿素排出體外 (Tsuei 等, 2005)。

另一方面，Arg 是體內合成 NO 的前驅物，Arg 經一氧化氮合成酶 (nitric oxide synthase, NOS) 催化，產生 NO 及中間產物-瓜胺酸 (L-citrulline)，而內皮細胞所產生的 NO 具有調節局部血流量與血管擴張的作用 (Endemann &

Schiffrin, 2004)。因此，補充精胺酸可能可以提高 NO 合成作用增加局部血液流量，加速血乳酸及氨的移除，延緩運動疲勞產生，甚至提升運動表現 (Bednarz 等, 2000)。

在以心血管疾病患者為對象的研究中，大多顯示補充 Arg 可能提升運動表現。

Doutreleau 等 (2006) 以心臟衰竭疾病患者為研究對象，口服 6 週 Arg，進行漸增性最大運動強度與 30 分鐘耐力運動測試，顯示補充 Arg 可顯著提高患者的耐力運動表現。另一研究以冠狀動脈疾病患者為對象，每日補充 Arg 6 g，為期 3 天，亦具有顯著提升運動持續時間的效果。

Schaefer 等 (2002) 以 8 名受試者為對象，給予靜脈注射 Arg 3 g 後，進行腳踏車漸增式最大運動，發現運動後 Arg 測試乳酸濃度顯著低於安慰劑測試，且血液瓜胺酸的增加幅度與乳酸移除幅度呈顯著正相關，Arg 測試之血氨濃度也較低，顯示 Arg 在可能可以增加運動中 NO 合成，並加速氨與乳酸的移除。

以運動員為對象的研究大多顯示，補充 Arg 對運動後 NO、乳酸、氨無顯著差異影響，可能是因為運動員原本就具有較高的 NO 合成能力。

Liu 等 (2009) 以 10 名男性柔道選手為研究對象，採隨機交叉設計。受試者補充 Arg 每日 6 g，持續 3 天，進行間歇性腳踏車運動測試(負荷 0.05 kp/kg BW，20 秒全力衝刺，15 秒休息，共 13 組)。血液採集補充前後、運動中及運動後在 0、3、6、10、30 和 60 分鐘。在二測試間運動表現均無差異，Arg 測試在血漿 Arg 濃度運動前及運動後比安慰

劑測試顯著增加，但各時間點 NO、瓜胺酸、乳酸及氨濃度在二測試無顯著差異，補充 Arg 對 EDVD 亦無顯著差異。結果顯示短期補充 Arg 對 NO 產生乳酸和氨的代謝，以及間歇性無氧運動表現皆無顯著影響。

Bescós 等 (2009) 以 10 名男性柔道運動員，採隨機交叉設計，食用每日 6 g，分別為 Arg 或安慰劑測試 3 天，然後進行間歇性無氧運動測試，在運動後和 0，3，6，10，30 和 60 分鐘各時間點採取血液樣本，結果顯示，短期補充 Arg 對 NO、乳酸、氨濃度代謝及無氧運動表現無顯著影響。

Bescós 等 (2009) 以 9 名網球運動員，給予 3 種不同的飲食，每次連續 3 天，控制飲食測試含 Arg 每日 5.5 ± 0.3 g；飲食 1 富含 Arg 的食物（每日 9.0 ± 1.1 g），飲食 2 另外包括口服補充 Arg 每日 15 g，之後進行最大攝氧量跑步機測試，各測試血乳酸濃度無顯著差異。結果顯示訓練有素的運動員短期內攝取豐富的 Arg 或補充高劑量的 Arg，對血漿 NO 集乳酸濃度與運動表現無顯著影響。

Walsh 等 (2010) 以 9 名男性及 6 名女性為對象，採隨機雙盲設計，運動前 10 分鐘補充氨基酸飲料或安慰劑，進行跑步機 $VO_2\max 70\%$ ，在第 10 分鐘及運動後詢問視覺模擬評分表（visual analog scale, VAS），研究結果顯示補充胺基酸飲料可延長中等強度耐力運動的耗竭時間。

Bailey 等 (2010) 以 9 名男性健康男性為對象，採雙盲交叉設計，500ml 的飲料含有 6 g 精氨酸或安慰劑飲料，進行 $70\% VO_2\max$ 腳踏車測驗，研究結果顯示在補充精胺酸飲料可延長中等強度運動衰竭時間 (Bailey et al., 2010)。

Jang 等 (2011) 以 9 名男子角力選手，採隨機設計，

進行 3 場模擬角力比賽，在第 2 場結束後立即補充 3 種不同的補充劑：1.2 g/kg 的葡萄糖（CHO 測試）、0.1 g/kg 葡萄糖 + Arg 與 0.1 g/kg、BCAA（CHO + AA 測試），或水（安慰劑測試）結果表示三個測試運動表現無顯著差異，第 2 場運動第 30 分鐘 CHO 測試和 CHO + AA 測試血漿中葡萄糖濃度顯示高於安慰劑測試，甘油和 NEFA 濃度為補充飲料後第 90、120 分鐘及第三階段運動後 CHO + AA 測試顯著低於安慰劑測試。乳酸、氨、LDH 與 CK 在各測試之間無顯著差異，且不論有沒有合併補充 BCAA 和 Arg，對於後續運動表現並無顯著影響。

以上研究顯示，補充 Arg 可能藉由提高 NO 合成作用，促進血管內皮擴張，加速肌肉中乳酸、氨的排除，以及提高尿素循環作用，將氨轉換成尿素，對心血管疾病患者為可能可以延緩疲勞與提升運動表現，但目前針對訓練有素運動員之研究非常有限且效果不明顯，仍需進一步探討。

第參章 研究方法與步驟

第一節 實驗對象

本研究以國立臺灣體育運動大學女子手球代表隊成員 8 名為研究對象，所有選手皆參與正規訓練 9 年以上，其中有 4 名選手入選 2010 年廣州亞運國手，另 4 名曾參加 99 學年度全國大專院校手球錦標賽，並奪得冠軍。所有的受測者皆在接受測試前簽署研究同意書，並充分瞭解測試之目的、流程與風險。本研究程序經國立臺灣體育運動大學人體試驗委員會審查通過。

第二節 實驗設計

本研究採隨機交叉設計，每位受測者皆進行 2 次測試，每次測試為期 2 天，每天包含一場模擬比賽，於運動前 1 小時分別補充 0.17 g/kg BCAA (leucine : isoleucine : valine = 2 : 1 : 1, Optimum Nutrition, Inc, Sunrise, FL, USA) 及 0.04 g/kg Arg (General Nutrition Company, Pittsburgh, PA, USA) (AA 測試)，或安慰劑 (2 顆膠囊含低筋麵粉，安慰劑測試)，並於運動前後各進行反應一次測試 (實驗流程如圖二所示)。二次測試至少間隔 8 天 wash out 期。

第三節 飲食及身體活動控制

受測者於實驗前一天中午開始進行飲食控制，測試期間所使用之餐點皆為本實驗室提供相同的量及菜色，中餐及晚餐皆為 4 菜 1 肉便當。實驗當天早餐為土司 1.2 g/kg，奶油 0.1 g/kg，草莓果醬 0.1 g/kg 及豆漿 5 ml/kg，

含有總熱量 850.1 kcal，蛋白質、脂肪、碳水化合物；50.3 g/kg：34.4g/kg：84.5 g/kg（如圖四）。每次實驗測試前一天晚上 10 點過後，受測者須禁食，測試當天空腹直接至實驗室採血，再食用早餐。實驗前兩天皆禁止任何激烈運動訓練或從事激烈身體活動，以避免影響研究結果。

第四節 實驗步驟

受測者於實驗當日早晨空腹至實驗室，由合格醫護人員自前臂靜脈處採集血液約 10 ml 之後，食用早餐。於 15 分鐘內食用完畢，隨後進行反應測試。進行實驗測試前 1 小時，受測者飲用實驗飲料，需在 5 分鐘內飲用完畢。AA 測試將 BCAA 溶於 250 ml 葡萄調味水（200 ml 水加上 50 ml 濃縮葡萄原汁），加上膜衣錠的 Arg；安慰劑測試則以低筋麵粉裝入等數量之膠囊，並飲用等量葡萄調味水。於實驗測試結束後立即採集血液，接著馬上進行反應測試，待運動後 2 小時再採血一次，第二天早上進行相同實驗步驟，唯有運動後 2 小時不再採集血液樣本。

第五節 反應測驗與運動測試

（一）反應測試

本研究反應測試目的為測驗受測者是否因中樞疲勞而造成反應減緩，或無法快速做出正確的判斷。測試於比記型電腦進行判斷亮點所在之現象位置，分別為螢幕 4 個象限亮點，隨機出現於不同象限（亮點約每 3 秒出現一次），受試者盡快判斷亮點出現的象限，腦馬上做出判斷，手按下於鍵盤上的 Q、W、A、S 鍵，程式紀錄各點反應時

間與正確率，測試共 5 分鐘 (Harris et al., 2006; Mahoney, Castellani, Kramer, Young, & Lieberman, 2007)。

(二) 模擬比賽

模擬比賽分為上、下半場各 30 分鐘，中間休息 10 分鐘，皆模擬手球比賽高強度間歇性運動型態。以 2 分鐘為一組，流程如下(如圖三):(1) 3 公尺側移來回 3 趟(10 秒); (2) 20 公尺快跑 (5 秒); (3) 定點傳球五顆加 1 次跳躍射門(10 秒); (4) 進行 20 公尺慢跑(10 秒); (5) 十字跳×3 次 (此動作是手球運動基本過人動作的腳步練習，10 秒); (6) 20 公尺快跑 (5 秒); (7) 定點傳球 8 顆(10 秒); (8) 20 公尺慢跑 (15 秒); (9) 20 公尺全力衝刺，並利用攜帶式體能測試儀 (Powertimer 300 Series, Newetest, Tyrnava, Finland) 測量每趟 20 公尺衝刺時間，做為運動表現的指標，衝刺完休息約 40 秒。上、下半場各完成 15 趟衝刺。中場休息時可自由飲水，記錄第一次運動測試的飲水量，於第二次測試時，必須與第一次測試飲水的量相同；並且在中場休息及運動後詢問自覺量表。

第六節 最大攝氧量測量

在正式實驗之前，每位受測者必須進行 20 公尺節奏跑，(Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988) 以估計最大攝氧量。使用攜帶式隨身喇叭，發出一系列的“嗶”聲。每二次“嗶”聲之間，受測者必需通過 20 公尺的距離(雙腳要越過 20 公尺線)，同時折返跑回。跑步速度要與“嗶”聲一致，速度每 500 公尺逐漸增加。當受測者跟不上“嗶”聲的速度

時，第一次時給予口頭警告，若下一趟有跟上速度則繼續測驗；如果受測者連續兩趟無法跟上節奏，則停止測驗，並且記錄上一趟的階段成績，再將受測者所跑的趟數換算成最大攝氧量。最大攝氧量換算公式為 $y = 5.857x - 19.458$ ， $y =$ 最大攝氧量 (ml/kg/min)， $x =$ 速度 (km/h)。

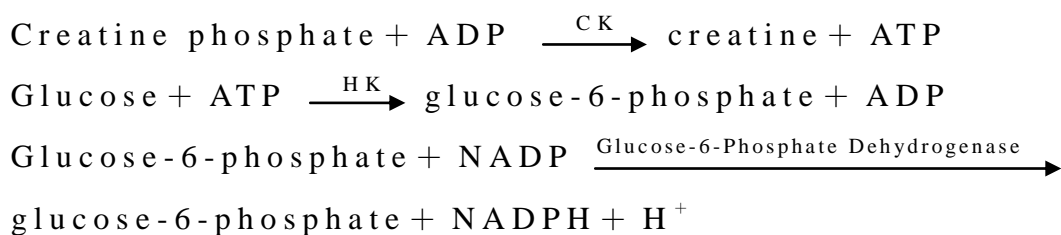
第七節 血液採集與分析

取前臂靜脈血液 10 ml 至 EDTA 採血管中，利用自動血球分析儀 (Sysmex KX-21N, Kobe, Japan) 分析血紅素 (Hemoglobin, Hb) 及血容比 (Hematocrit, Hct)，做為血漿改變量之校正用途。其餘血液於 4°C 以 2000 轉離心 20 分鐘，將血漿與血球分離，取出血漿分裝後，存放至 -80°C 之冰箱中。血液分析項目包含 CK、LDH、Mb、乳酸、氨、葡萄糖、甘油與 NEFA，以探討受測者運動與恢復期間之能量代謝狀況。

一、各項血液生化值檢驗

(一) CK 活性

血漿中 CK 活性採用，以商業試劑進行體外診斷藥品 (77528 7529, 關東化學株式會社, Tokyo, Japan)，以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan)，吸光值波長 340 nm，化學反應原理如下：



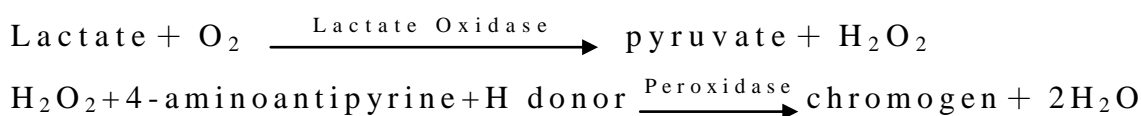
(二) LDH 活性

血漿中 LDH 活性採用 LDH 測定試劑 (20300AMZ00410, Shino, Tokyo, Japan), 以全自動生化分析儀檢測, 吸光值波長 340 nm, 化學反應原理如下:



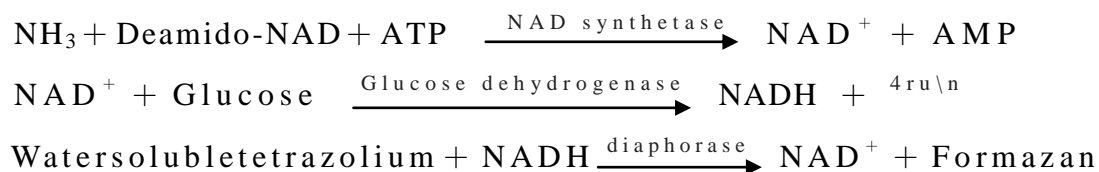
(三) 乳酸濃度

血漿中乳酸濃度以商業試劑進行操作 (Randox Co., Antrim, United Kingdom) 以全自動生化分析儀檢測, 吸光值波長 550 nm, 化學反應原理如下:



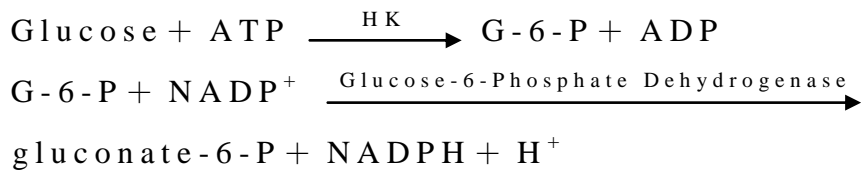
(四) 氨濃度

血漿中氨濃度採用商業試劑 (Kanto Chemical CO., Kanagawa, Japan), 以全自動生化分析儀檢測, 吸光值波長 450 nm, 化學反應原理如下:



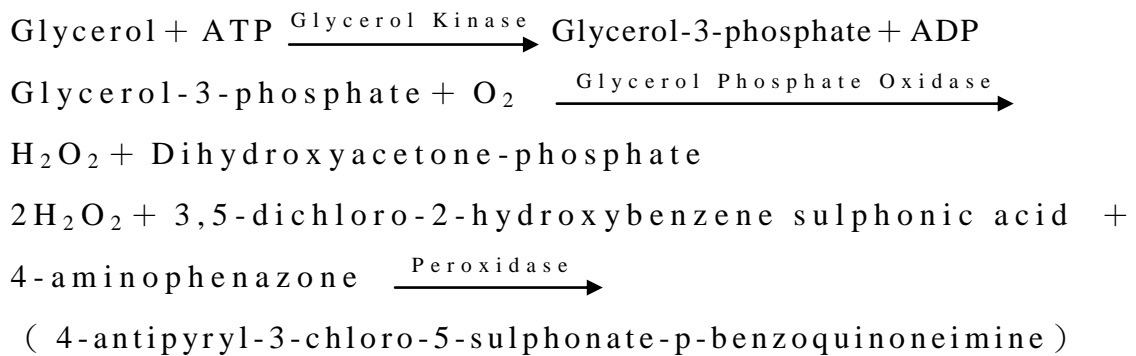
(五) 葡萄糖濃度

血漿中葡萄糖濃度採用商業試劑 (Quick Auto Neo Glu-HK, Shino, Tokyo, Japan), 以全自動生化分析儀檢測, 吸光值波長 340 nm, 副波長 450 nm, 化學反應原理如下:



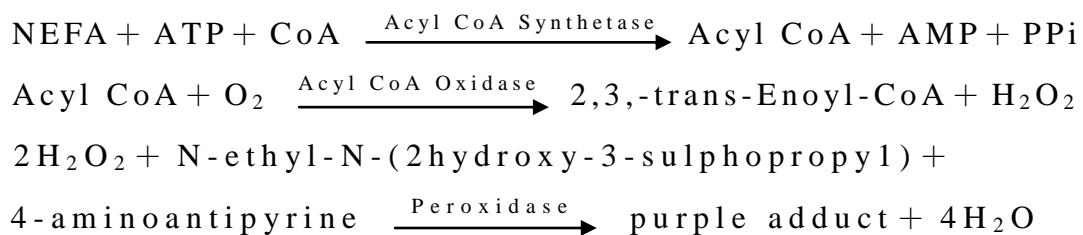
(六) 甘油濃度

血漿中甘油濃度，採用商業試劑進行操作（Randox, Co.），以全自動生化分析儀檢測，吸光值波長 520 nm，化學反應原理如下：



(七) NEFA 濃度

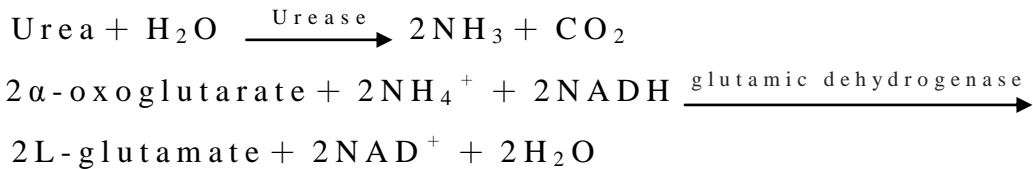
血漿中 NEFA 的濃度採用商業試劑進行操作及反應（Wako, Osaka, Japan），以全自動生化分析儀檢，吸光值波長 550 nm，化學反應原理如下：



(八) 尿素濃度生化值

血漿中尿素濃度以商業試劑進行操作（Randox, Co.）

以全自動生化分析儀檢測，吸光值波長 340 nm，化學反應原理如下：



(九) testosterone 生化值

使用自動分析儀測量 (Roche Elecsys 2010, Roche Diagnostics, Mannheim, Germany)，以電化學發光免疫分析法 (Electrochemiluminescence immunoassay, ECLIA) 進行定量檢測。分析使用三明治酵素蓮節免疫吸附法，第一次反應 (first incubation) 為將 50 μ 血液樣本和 biotinylated 具 testosterone 特異性的單株抗體一起反應。第二次反應 (second incubation) 為加入以 streptavidin 標記的微粒子和鈦化物 (ruthenium, Ru) 標記 testosterone 特異性單株抗體，如此形成三明治複合物，藉著生物素以及 streptavidin 相互作用結合。反應化合物吸取至測量室中，微粒子會被磁力吸引到電極表面，沒有被吸引的物質隨後會經由 ProCell 緩衝液移除。然後利用電極的電壓引發化學光 (chemiluminescent)，以光電倍增管 (photomultiplier) 進行偵測。經由儀器專一性二點校正以及試劑條碼所提供的曲線而形成的校正曲線得到確定的結果

(十) cortisol 濃度生化值

利用電化學發光免疫分 (Electrochemiluminescen-

ceimmunoassay, ECLIA) ，於 Roche Elecsys 2010 免疫分析儀器檢測。

Elecsys cortisol 的試驗原理為競爭原理，利用cortisol 特異性的多株抗體進行。檢體內的 cortisol 因 Danazol 的作用而從結合蛋白上釋出，和試驗中外加的 cortisol 衍生物一起競爭生物素化抗體上的結合位置，外而加的 cortisol 衍生物已經先以鈦化物標記。

R1: Anti-cortisol-Ab~biotin (灰蓋) 1瓶 9 ml：生物素化

Anti-cortisol多株抗體 (羊) 90ng/ml；MES緩衝液 100 mmol/l，PH6.0；保存劑。

R2:cortisol-peptide~Ru(bpy)₃²⁺；(黑蓋) 1瓶 9 ml：鈦以化

物標劑 cortisol衍生物(合成)，25ng/ml；

danazol 20μg/ml；MES 緩衝液 100 mmol/l，PH6.0；保存劑。

第八節 血漿體積校正方法

血漿變化量校正公式如下(Dill & Costill, 1974)：

$$\Delta PV \text{ change (\%)} = 100 \times \left[100 \times (\text{Hbpre}/\text{Hbpost}) \times (1 - \text{Htpost}/100) - 100 + \text{Htpre} \right] / (100 - \text{Htpre})$$

(ΔPV = 血漿變化量，Hb = 血紅素，Hct = 血容比)

校正後數據 = 原始數據 \times [(100 + ΔPV)/100]。

第九節 資料分析

所有資料以平均值 \pm 標準誤呈現。計算每 5 趟衝刺平

均時間，並以下以下列公式計算二天測試之改變率：

$$\text{改變率}(\%) = (\text{第二天} - \text{第一天}) / \text{第一天} \times 100\%。$$

以相依樣本 T 檢定分析二測試之同一階段衝刺平均時間，以及衝刺時間改變率。血漿生化值以重複量數 two-way ANOVA 分析各組間各時間點之差異，並使用 Bonferroni 進事後檢定，以 SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 統計軟體進行分析，顯著性定為 $\alpha < 0.05$ 。

第肆章 結果

第一節 受試者基本資料

本研究共 8 位受測者，平均年齡 20.1 ± 0.2 歲，球齡為 10.0 ± 0.2 年，身高 161.13 ± 1.48 公分，體重 54.50 ± 1.75 公斤，最大攝氧量 49.19 ± 1.11 ml/kg/min，受試者基本資料如表一。

第二節 運動表現

AA 測試與 placebo 測試連續兩天運動測試，每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間如圖四，AA 測試於第二天第 26-30 趟的衝刺時間顯著快於安慰劑測試 (AA 測試： 3.25 ± 0.06 秒，安慰劑測試： 3.42 ± 0.10 秒， $p=0.014$)，第一天衝刺時間在 AA 與安慰劑測試間則無顯著差異。

與第一天相比，第二天每 5 趟 20 公尺衝刺的時間改變率如圖五，AA 測試於第 21-25 趟與第 26-30 趟衝刺時間改變率顯著低於安慰劑測試 (第 21-25 趟 AA 測試： $-3.22 \pm 1.00\%$ ，安慰劑測試： $1.48 \pm 1.36\%$ $p=0.033$ ；第 26-30 趟；AA 測試： $-4.54 \pm 1.28\%$ ，安慰劑測試： $0.65 \pm 0.77\%$ ， $p=0.024$)，即與第一天同衝刺趟數相比，AA 測試於第二天第 21-25 趟與第 26-30 趟衝刺時間顯著較快，顯示補充 BCAA 與 Arg 可能提高連續比賽第二天之運動表現。

第三節 血液生化值

一、CK、LDH 活性

AA 測試與安慰劑 測試各時間點血漿 CK 活性如圖六，呈現顯著時間效應 ($p=0.006$)。在 AA 測試中，Day1

post-ex, Day1 post-ex 2h 以及 Day2 post-ex 顯著高於基準值 (Day1 pre-ex); 在安慰劑測試中, Day2 pre-ex 顯著高於基準值。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 LDH 活性如圖七, 呈現顯著時間效應 ($p=0.011$), 但事後檢定各時間點並無顯著差異。

二、 乳酸、氨、尿素濃度

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿乳酸濃度如圖八, 呈現顯著時間效應 ($p<0.001$)。在 AA 測試與安慰劑測試中, Day1 post-ex 2h、Day2 pre-ex 均顯著低於基準值, 但 Day1 post-ex 與基準值則無顯著差異, Day2 pre-ex 與 Day2 post-ex 之間也無顯著差異, 顯示二測試運動後乳酸並無顯著上升。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿氨濃度如圖九, 呈現顯著時間效應 ($p<0.001$)。在 AA 測試中, Day 2 pre-ex, Day2 post-ex 顯著低於基準值。在安慰劑測試中, Day1 post-ex, Day1 post-ex 以及 Day2 post-ex 顯著低於基準值, 顯示二測試運動後氨並無顯著上升, 與乳酸情況類似。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿尿素濃度如圖十, 呈現顯著時間效應 ($p = 0.006$)。在 AA 測試中, Day1 post-ex, Day1 post-ex 2h 以及 Day2 post-ex 均顯著高於基準值, 安慰劑測試各時間點則與基準值無顯著差異。

三、 葡萄糖、甘油、NEFA 濃度

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿葡萄糖濃度如圖十

二，呈現顯著時間效應 ($p < 0.001$)。在 AA 測試與安慰劑測試，Day1 post-ex、Day1 post-ex 2h 以及 Day2 post-ex 顯著高於基準值。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿甘油濃度如圖十三，呈現顯著時間效應 ($p < 0.001$)。在 AA 測試中，Day1 post-ex 以及 Day2 post-ex 顯著高於基準值；在安慰劑測試中，Day2 pre-ex 顯著高於基準值。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 NEFA 濃度如圖十四，呈現顯著時間效應 ($P < 0.001$)。在 AA 測試中，Day1 post-ex 2h 顯著低於基準值，但第一天與第二天運動後並無顯著增加；在安慰劑測試中，Day1 post-ex 2hr 顯著低於基準值，而 Day2 post-ex 顯著高於基準值，但第一天運動後則無顯著增加。

四、 testosterone、cortisol 濃度、T/C 比率

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 testosterone 濃度如圖十五，呈現顯著時間效應 ($P = 0.003$)，但事後檢定各時間點並無顯著差異。

各時間點 AA 測試與安慰劑測試血漿 cortisol 濃度如圖十六，呈現顯著時間效應 ($P < 0.001$)。在 AA 測試中，Day1 post-ex 2hr，Day2 post-ex 顯著低於基準值；在安慰劑測試中，Day1 post-ex 2hr 顯著低於基準值，顯示本研究之模擬比賽並未對受試者造成顯著之生理壓力。

AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 T/C 比率如圖十七，時間效應 ($p = 0.073$) 與時間 \times 處置效應 ($p = 0.069$) 呈現顯著的趨勢，但事後檢定各時間點並無顯著差異。

上述各血液生化值，處置與時間×處置效應均不顯誤，顯示補充 BCAA 與 Arg 對運動期間之能量代謝並無顯著影響。

第四節 自覺量表

AA 測試與安慰劑測試於中場休息及模擬比賽結束後之自覺量表如圖十八，AA 測試與安慰劑測試各時間點之 RPE 無顯著差異。AA 測試與安慰劑測試於運動測試之每天平均 RPE 如圖十九，AA 測試與安慰劑測試間亦無顯著差異。

第五節 反應測試

AA 測試與安慰劑測試運動前及運動後之反應時間如圖二十，反應測試之準確率如圖二十一，AA 測試與安慰劑測試間均無顯著差異，且二測試之各時間點均呈現相當高之準確率。

第五章 討論

本研究的獨特性在於以優秀女子手球運動員為研究對象且採用連續兩天的運動測試，以往之相關研究太多以男性為受試者，且以單一次運動為測試模式。本研究的主要發現為女子手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，在連續兩天的手球模擬比賽，可能可以提升第二天模擬比賽後期的衝刺運動表現；然而，對於運動中及運動後的肌肉損傷與血液生化指標、代謝自覺疲勞程度、及眼手反應能力，皆無顯著影響。

第一節 運動表現

本研究顯示補充 BCAA 與 Arg，顯著提升第二天模擬比賽後期的運動表現，這樣的結果和本實驗室先前針對男性優秀運動員之研究結果一致。黃孜璇 (2010) 以 15 位優秀男子手球運動員做為受試者，採用本研究相同之實驗方法，結果在 AA 測試第二天運動後期 20 公尺衝刺時間呈現較快的趨勢，相較於第一天，AA 測試在第二天運動表現改變率在第 21-25 趟顯著快於安慰劑測試。

在過去的文獻中，大多指出運動前補充 BCAA 對於受過訓練的運動員運動表現並無顯著影響。Watson, Shirreffs, and Maughan (2004) 以 8 名健康男性受測者在熱環境下 (30°C) 進行 50% VO_2 peak 腳踏車運動至衰竭，於運動前 2 小時每 30 分鐘攝取 250 ml BCAA (12 g/L)，以及在運動中每 15 分鐘攝取 150 mL。結果顯示 BCAA 測試在運動前顯著增加 BCAA 濃度及降低 fTrp/BCAA 比值，但在運動期間顯著增加

氮濃度。另外，在運動表現、皮膚溫度、乳酸及血糖則無顯著差異。Hell 等 (1995) 以 10 名受過訓練的男性為受試者，進行 70%-75% 最大輸出功率的腳踏車運動直到衰竭，並分別補充 3 g 色胺酸、6 g BCAA、或 18 g BCAA，發現補充 BCAA 對運動表現沒有影響，而且補充色胺酸也對運動表現無任何影響，結果補充 BCAA 或色胺酸可能對中樞疲勞都沒有影響。

相反的，過去仍有少數研究指出，補充 BCAA 可能可以增加人體的運動表現。Mittleman, Ricci, & Bailey (1998) 以 6 名女性及 7 名男性受試者，於熱環境 ($34.4 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$) 下進行 40% $\text{VO}_{2\text{peak}}$ 固定腳踏車運動直到衰竭，在運動期間每 30 分鐘分別攝取 5 mL/kg，5.88 g/L BCAA (54% Leu、19% Ile、27% Val) 或安慰劑，男性 BCAA 總攝取量為 15.8 ± 1.1 g，女性則為 9.4 ± 0.8 g。結果顯示男、女性補充 BCAA 皆顯著增加 BCAA 濃度，降低 fTrp/BCAA 比值，並且顯著增加衰竭時間。Walsh 等 (2010) 以 9 名男性及 6 名女性未受訓練者為對象，採隨機雙盲設計，運動前 10 分鐘補充氨基酸飲料 (包含 7.9 g BCAA、Arg and L-glutamine) 或安慰劑，使用跑步機進行 70% $\text{VO}_{2\text{max}}$ 的運動，在第 10 分鐘及運動後詢問視覺模擬評分表 (visual analog scale, VAS)。研究結果顯示補充氨基酸飲料可延長中等強度耐力運動的耗竭時間，視覺模擬評分結果表示有補充氨基酸飲料可延緩疲勞。但二測試之平均衰竭時間為僅約 10 分鐘，顯示這些受試者的體能並不優秀，此結果是否可應用於運動員，仍有待商榷。

值得注意的是，先前文獻大多採用單一天單一次的運動表現測試，而許多的運動比賽，例如各種球類競賽，都是連續數天進行比賽，運動後的恢復程度可能影響第二天的運動

表現能是重要。因此本研究透過連續兩天模擬比賽的研究設計，以更符合實際的比賽型態。本研究的結果指出，在運動前補充 BCAA 與 Arg，可能可以提升第二天模擬比賽的運動表現，但對第一天運動表現則無顯著影響，可能是之前研究大多顯示 BCAA 對運動表現無顯著影響的主要原因之一。

值得注意的是，本研究發現運動表現在第二天的比賽後期顯著提升，然而運動員自己感覺的疲勞感卻沒有顯著差異。過去部分研究顯示補充 BCAA 能夠顯著降低以運動自覺量表表測量之疲勞感覺，並增加運動後的認知表現 (Blomstrand, Hassmen, Ek, Ekblom, and Newsholme 1997; Hassmen, Blomstrand, Ekblom, & Newsholme, 1994)，顯示補充 BCAA 可能可以降低中樞疲勞。另一方面，Hassmen 等人 (1994) 的研究中，也發現補充 BCAA 後，只對於較複雜的認知功能有提升的效果，如快速辨別顏色相對應的字，對於簡單的認知功能及心理狀態則無顯著影響。在本研究中，運動員的自覺量表 (RPE) 是相當簡單的心理狀態問卷，也許因而得到沒有顯著差異的結果。事實上，過去同樣有研究，採用認知行為以及心理狀態的問卷，結果同樣顯示補充 BCAA 對運動後認知行為以及心理狀態並無顯著影響 (Cheuvront, et al., 2004)。因此，補充 BCAA 對於運動員自覺疲勞的影響可能有著很大的變異。

在本研究中，補充 BCAA 與 Arg 對運動後的手眼反應以及準確率並無顯著影響。這樣的結果和過去研究相似 (Cheuvront, et al., 2004)。本研究使用眼手反應測試需要受試者判斷信號出現的位置，不僅只是單純的看到訊號即做出反應，算是較複雜的認知功能，但與 Cheuvront et al (2004)

的認知功能測量方式相同。和過去研究 (Cheuvront, et al., 2004) 一致的地方在於，補充 BCAA 之後並沒有辦法提升眼手反應測試的能力。此外，本研究中同時也發現補充 BCAA 與 Arg 並沒有影響運動自覺量表的分數，這或許也是造成手眼反應以及準確率並沒有影響的原因之一。

本研究顯示，補充 BCAA 與 Arg，可能可使受試者在相同自覺疲勞程度之下，提升運動表現（衝刺速度更快），顯示補充 BCAA 與 Arg 仍然可能降低中樞疲勞，對於中樞疲勞的影響，需要更進一步的研究。

第二節 血液代謝指標

過去部分研究指出，補充 BCAA 可能提高運動期間體內 BCAA 氧化作用，造成氨濃度增加 (MacLean et al., 1994; MacLean, & Graham, 1993)。血液中較高濃度的氨可能會降低運動表現 (Mutch & Banister, 1983)，這或許也是造成有些研究發現補充 BCAA 不會影響運動表現的原因之一。本研究透過補充 Arg 的方式，希望能透過增加血管擴張以及尿素循環的方式，加速氨的移除，藉以減少氨對於運動表現的影響。過去的研究中同樣也發現，在補充 Arg 之後，能夠顯著降低運動後氨濃度 (Colombani, et al., 1999; Eto, et al., 1994)。在本研究發現補充 BCAA 與 Arg 在連續兩天運動後，氨的濃度並沒有顯著上升，或許是因為本研究採用的手球模擬比賽屬於間歇型運動，在高強度運動期間所增加的氨，在低強度運動期間就已經被代謝掉。而氨在二測試間無顯著差異且 AA 測試運動後尿素濃度增加，這可能表示補充 BCAA 的同時，加入 Arg 的補充，可以增加氨的清除速率，使得運

動表現不會受到氨濃度的影響。因此，從本研究的結果發現，補充 Arg 或許可以提升血液中氨的清除速率，因而抵消運動期間因 BCAA 代謝而增加的氨，進而提升第二天運動後期的運動表現。

大多數研究顯示，補充 BCAA 與 Arg 對運動後乳酸濃度無顯著影響。Watson, Shirreffs, and Maughan (2004) 以 8 名健康男性受測者在熱環境下 (30°C) 進行 50%VO₂ peak 腳踏車運動至衰竭，於運動前 2 小時每 30 分鐘攝取 250 ml BCAA (12 g/L)，以及在運動中每 15 分鐘攝取 150 mL，結果顯示 BCAA 測試在運動前顯著增加 BCAA 濃度及降低 fTrp/BCAA 比值，但在運動期間顯著增加氨濃度，運動表現、皮膚體溫、乳酸及血糖則無顯著差異。本研究在第一天運動前乳酸濃度基準值就達到很高的水準，氨的數據也呈現相似的情況，不過仍不清楚是什麼原因造成乳酸與氨的基準值偏高。

間歇型的運動方式也可能是造成運動後血乳酸未顯著上升的原因。Bescós 等 (2009) 以 10 名男性柔道運動員，採隨機交叉設計，食用 6 g/天，分別為精氨酸或安慰劑測試 3 天，然後進行間歇性無氧運動腳踏車測試，在運動後和 0, 3, 6, 10, 30 和 60 分鐘各時間點採取血液樣本，結果顯示，短期補充 Arg 對 NO、乳酸、氨濃度及無氧運動表現無顯著影響。本研究所採用的間歇運動模式，在高強度運動期間所產生的乳酸在低強度運動與休息期間可能就已經被代謝掉，這可能是造成運動後乳酸濃度未顯著上升的原因。

補充 BCAA 與 Arg 對血液中葡萄糖、甘油、NEFA 濃度並沒有顯著影響這些生化指標的濃度。Ivy 等 (2003) 的研究中，讓受試者在運動前補充碳水化合物以及蛋白質，並進

行各 3 分鐘 75% VO₂max 與 45% VO₂max 的間歇運動，共進行 180 分鐘，隨後將強度調高到 85% VO₂max，觀察各組間的運動表現。結果中發現補充碳水化合物以及蛋白質能夠顯著提升運動表現，然而卻沒有連帶影響血液中的胰島素、血糖以及 NEFA，這樣的結果和本研究的結果相似。因此，在運動前補充 BCAA 與 Arg 之後，對於第二天後期運動表現的提升的原因，或許無法僅從血液的生化代謝指標來解釋。

第三節 肌肉損傷

過去研究指出補充 BCAA 可能可以降低運動後的肌肉損傷，然而在本研究中，血漿 CK、LDH 活性，在 AA 測試與安慰劑測試之間並無顯著差異。Yoshida 等 (2011) 以 12 名健康女性為對象以交叉實驗設計進行，每天運動前攝取 BCAA 或、安慰劑 (isoleucine:leucine:valine = 1:2.3:1.2)，進行半蹲運動每組 20 下共 7 組，組間休息 3 分鐘，BCAA 測試酸痛程度比安慰劑測試顯著降低，安慰劑測試血清肌紅蛋白的濃度增加，BCAA 測試卻沒有改變，研究結果顯示補充 BCAA 可能可抑制肌肉損傷。Koba 等 (2007) 以長跑選手為對象，補充 BCAA、Arg 及 CHO 連續 4 天，並在 25 公里路跑前 30 分鐘再度補充，結果發現運動後 LDH 活性顯著低於控制組，CK 活性則無顯著差異。Greer, Woodard, White, Arguello and Haymes (2007) 於運動前 60 分鐘攝取 2.5 g BCAA，進行 90 分鐘 55% VO₂ peak 腳踏車運動，並且於運動前和運動後立即、4 小時、24 小時及 48 小時進行最大自主收縮 (maximal voluntary contraction, MVC) 及自覺疼痛測試，結果在實驗組運動後 4 小時、24 小時及 48 小時 CK 活

性顯著低於控制組，LDH 活性在運動後 4 小時較低，且在運動後 24 小時也有較低的自覺疼痛等級。和這些研究不同的是，本研究之 CK、LDH 活性無顯著差異，且增加幅度有限，這可能因為本研究受測者為訓練有素之選手，已習慣於此運動模式此運動強度無法達到肌肉損傷的程度，以致無法呈現補充 BCAA 是否能夠降低肌肉損傷。

本研究中的 cortisol、testosterone 以及 testosterone/cortisol 比值皆沒有顯著的差異。過去的研究中發現，血液中睪固酮的濃度是影響肌肉合成的重要指標 (Griggs et al., 1989)，且在老年人身上給予睪固酮的補充，能夠顯著提升肌肉的力量以及肌肉蛋白質的合成 (Urban et al., 1995)。

testosterone/cortisol 的比值為是肌肉和成與分解平衡的指標。當比值增加時，肌肉會傾向合成而增加肌肉生長；當比值減少時，肌肉會傾向於分解，使得肌肉量減少，此外，這個比值的降低也被認為是過度訓練的指標 (Hug, Mullis, Vogt, Ventura, & Hoppeler, 2003)。

在本研究中，發現補充 BCAA 與 Arg 之後，並不會影響 testosterone、cortisol、以及 testosterone/cortisol 比值，這也許也是造成 CK 以及 LDH 沒有顯著差異的原因之一。長期補充 BCAA 雖可促進肌肉合成，但本研究僅於運動前補充，所以對 testosterone 濃度與肌肉合成並無顯著影響。本研究之受試者已習慣於模擬比賽的型態與強度，導致運動後 cortisol 濃度亦無顯著改變。

第陸章 結論

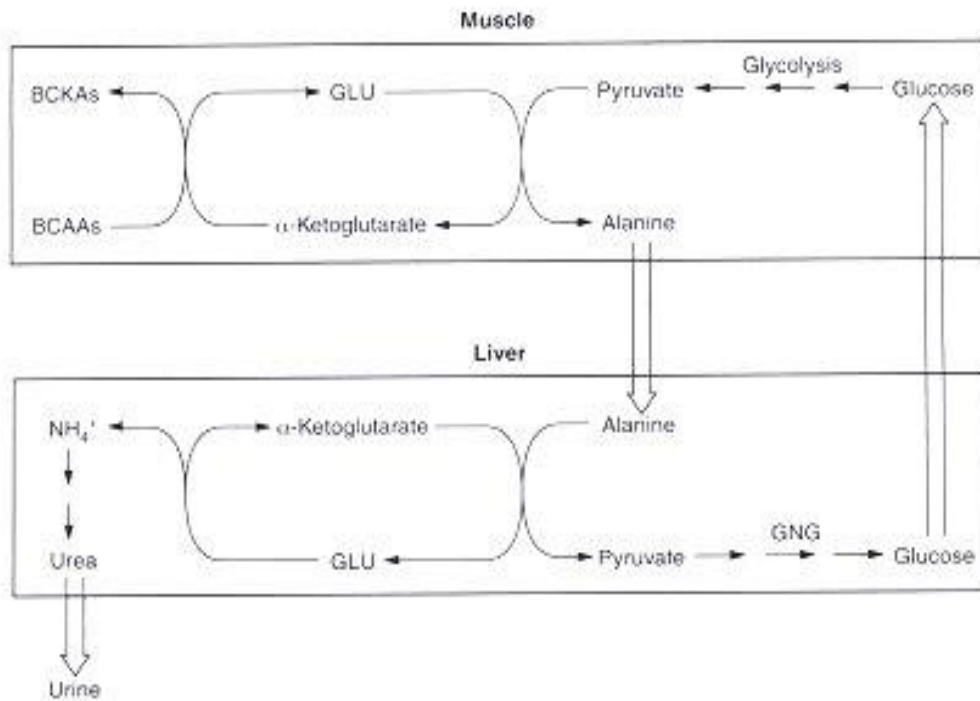
本研究以優秀女子手球選手為研究對象，進行連續二天模擬比賽，以模擬真實競賽狀況，於運動前 1 小時補充 0.17 g/kg BCAA 與 0.04 g/kg Arg，結果發現補充 BCAA 與 Arg 可能可以提升第二天的運動表現，但對於運動後肌肉損傷指標 CK、LDH 活性；能量代謝指標乳酸、氨、葡萄糖、甘油、NEFA 等，皆無顯著影響；對自覺疲勞程度及運動後認知與反應功能亦無顯著影響。但補充 BCAA 與 Arg 可能可使受試者於相同自覺疲勞程度下達到更佳的運動表現，顯示補充 BCAA 與 Arg 可能可以減低中樞疲勞的效果。未來可進一步分析血漿 BCAA 與 fTrp 濃度，並計算 fTrp/BCAA 比值，以更加了解補充 BCAA 與 Arg 對運動誘發之中樞疲勞的影響。

表一 受試者基本資料

編號	身高 (cm)	體重 (kg)	年齡 (year)	球齡 (year)	VO _{2max} (ml/kg/min)
1	153	47	20	10	50.17
2	167	63	20	10	45.85
3	160	53	21	10	49.33
4	160	51	20	10	45.66
5	163	59	20	10	53.30
6	163	55	21	9	52.66
7	164	56	20	11	50.83
8	159	52	20	10	45.68
平均數	161.13	54.50	20.1	10.0	49.19
標準誤	1.48	1.75	0.2	0.2	1.11

表二 受試者運動測試期間之飲用水量 (ml)

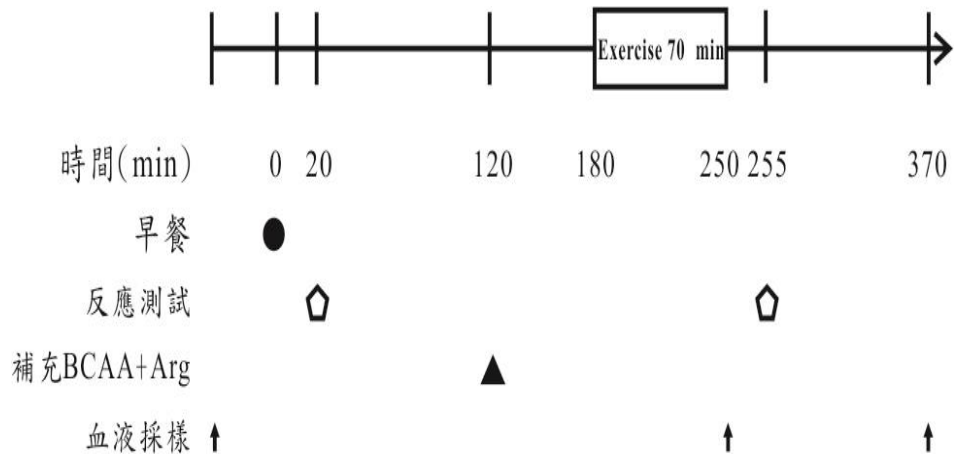
編號	AA 測試 Day1	AA 測試 Day2	安慰劑測試 Day1	安慰劑測試 Day2
1	150	250	150	250
2	200	350	200	350
3	200	200	200	200
4	300	250	300	250
5	300	100	300	100
6	300	300	300	300
7	300	300	300	300
8	300	300	300	300
平均數	256.3	256.3	256.3	256.3
標準誤	22.03	27.5	22.0	27.5



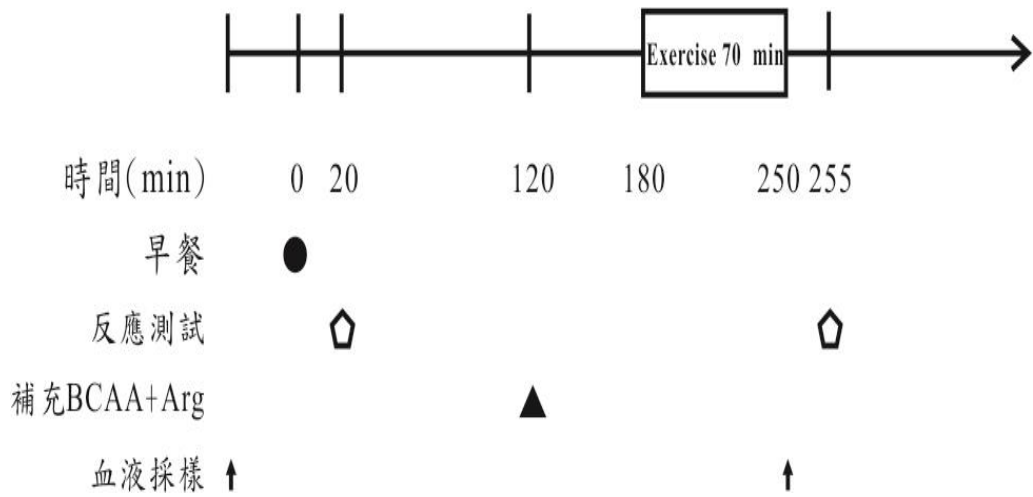
圖一 運動期間 BCAA 代謝途徑 (Houston, 2006)

BCAA：branched-chain amino acids，支鏈胺基酸；αkg：alpha-ketoglutarate，α-酮戊二酸；Glutamate：麩胺酸；pyruvate：丙酮酸；alanine：丙胺酸；Gln：glutamine，麩醯胺酸；glucose：葡萄糖；glycogen：肝糖。

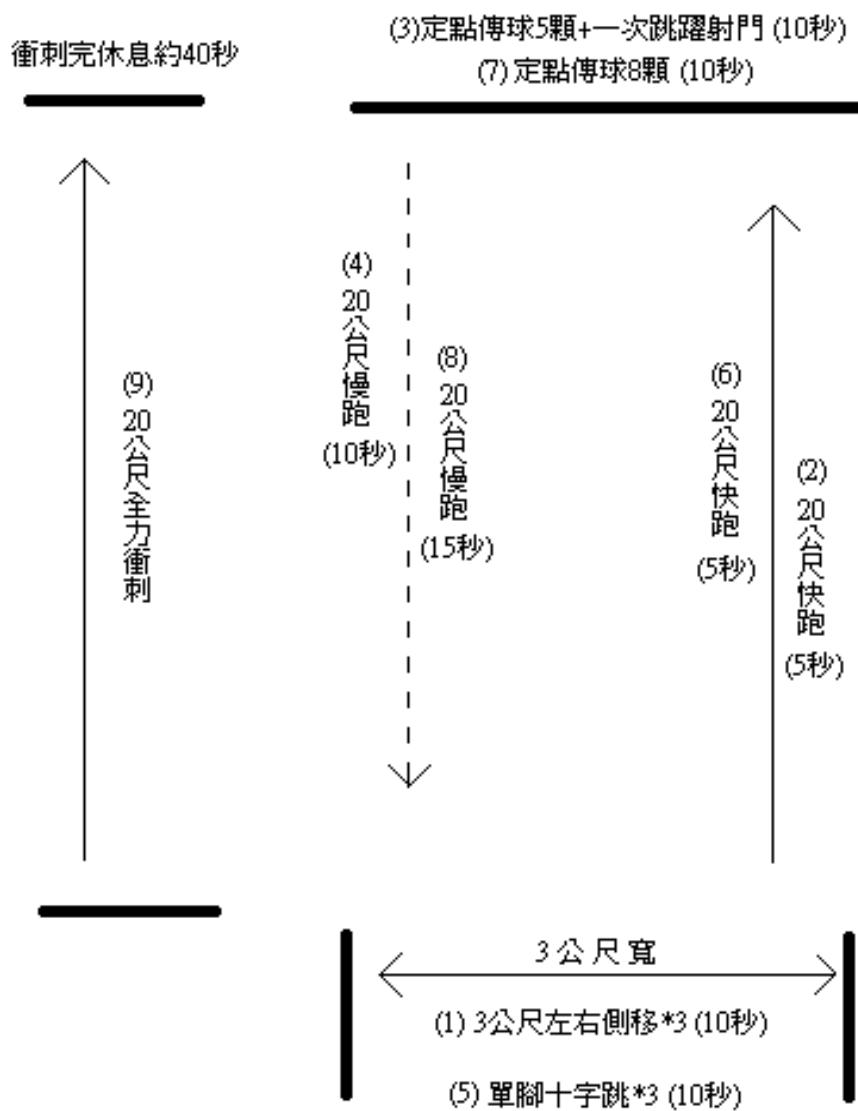
第一天



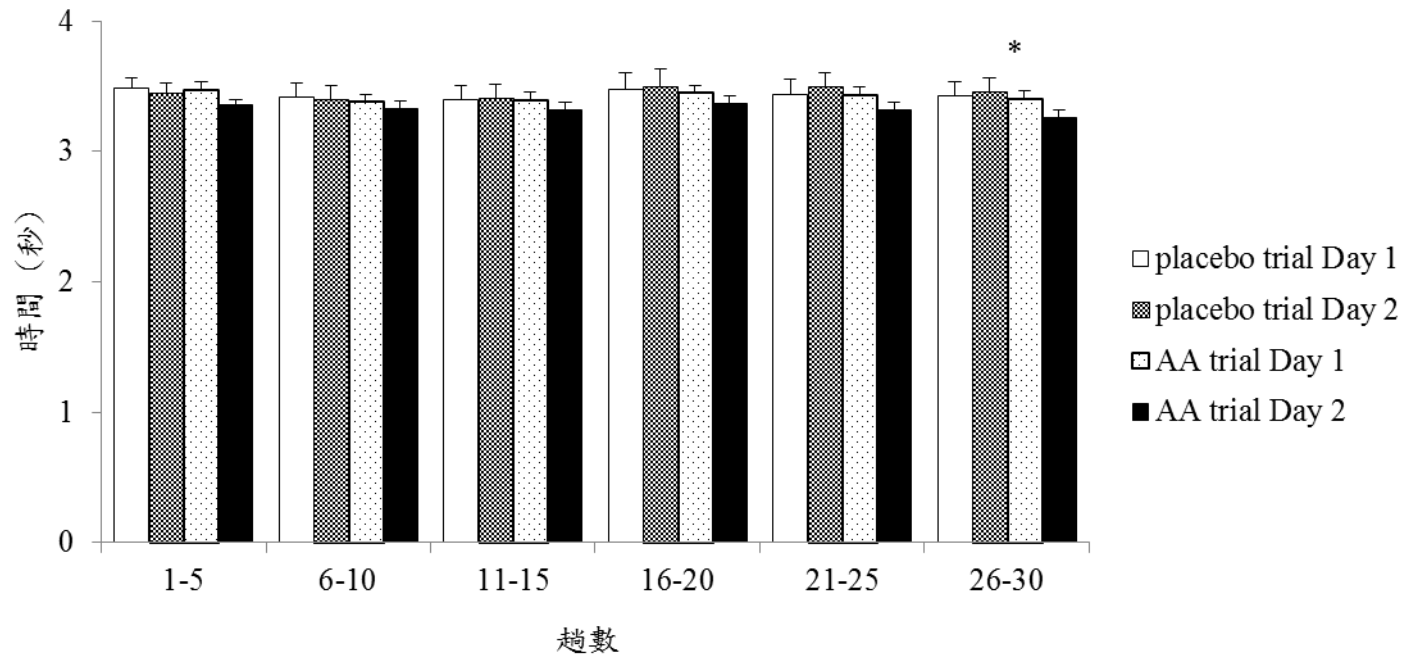
第二天



圖二 實驗流程

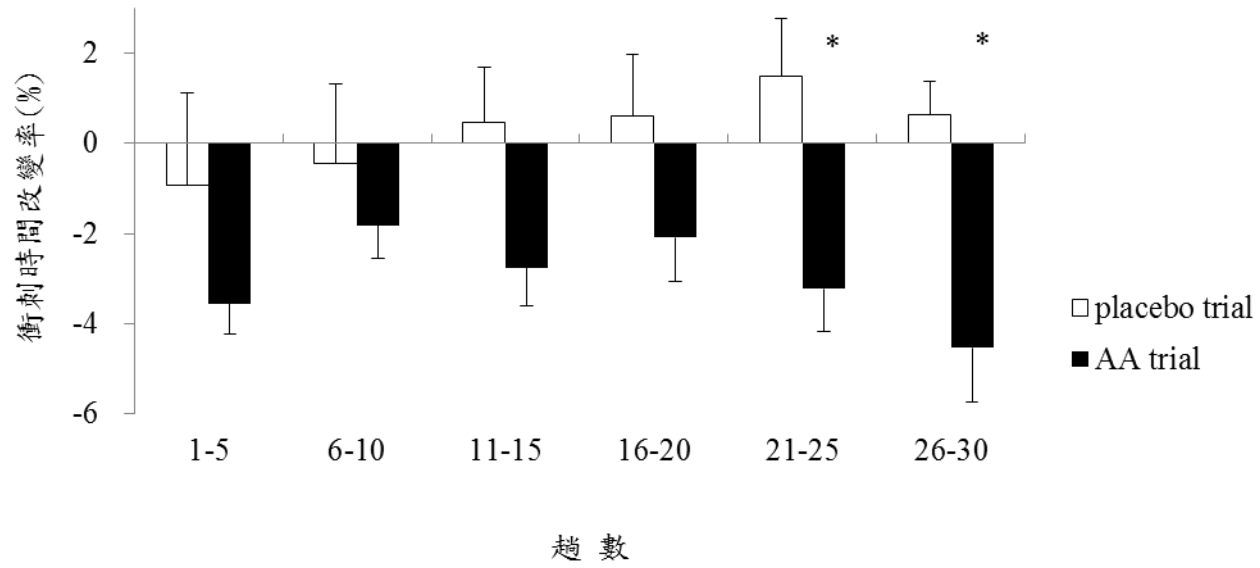


圖三 模擬比賽流程圖



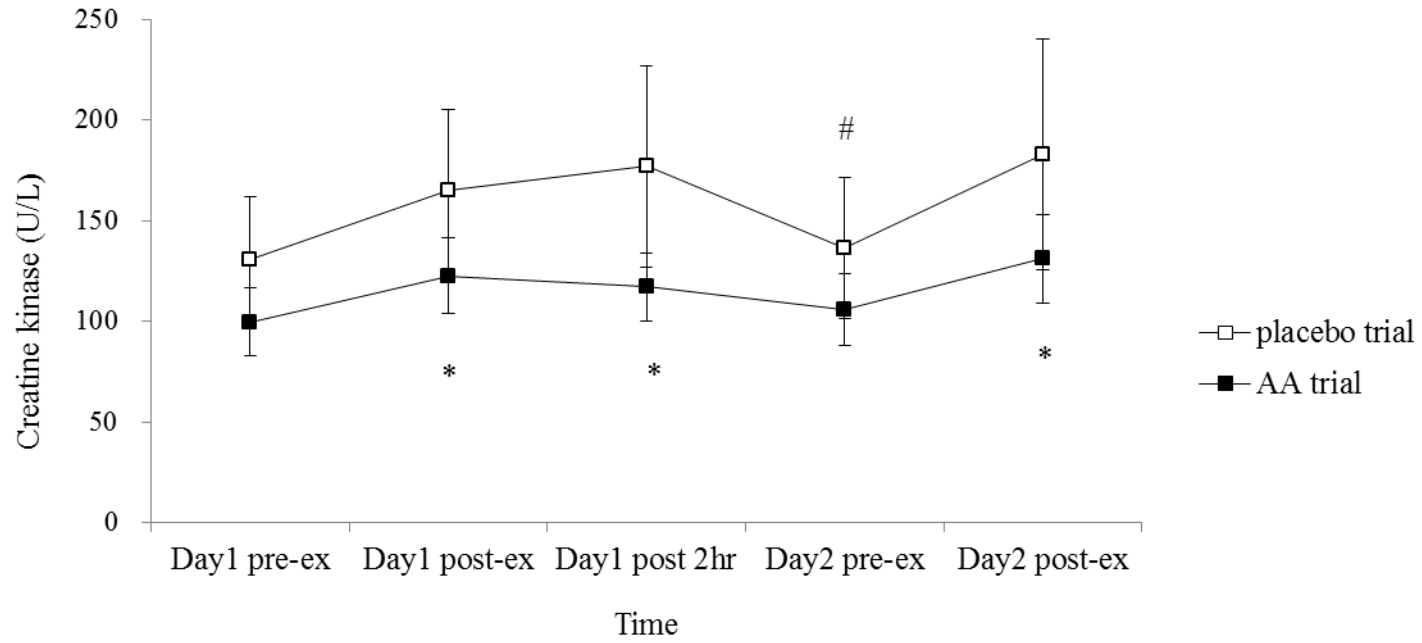
* AA trial Day2 與 AA trial Day 1 有顯著差異 (p = 0.014)

圖四 AA 測試與安慰劑測試連續兩天之運動表現 (每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間)



*AA 測試與安慰劑測試有顯著差異 (第 21-25 趟， $p = 0.033$ ；第 26-30 趟， $p = 0.024$)

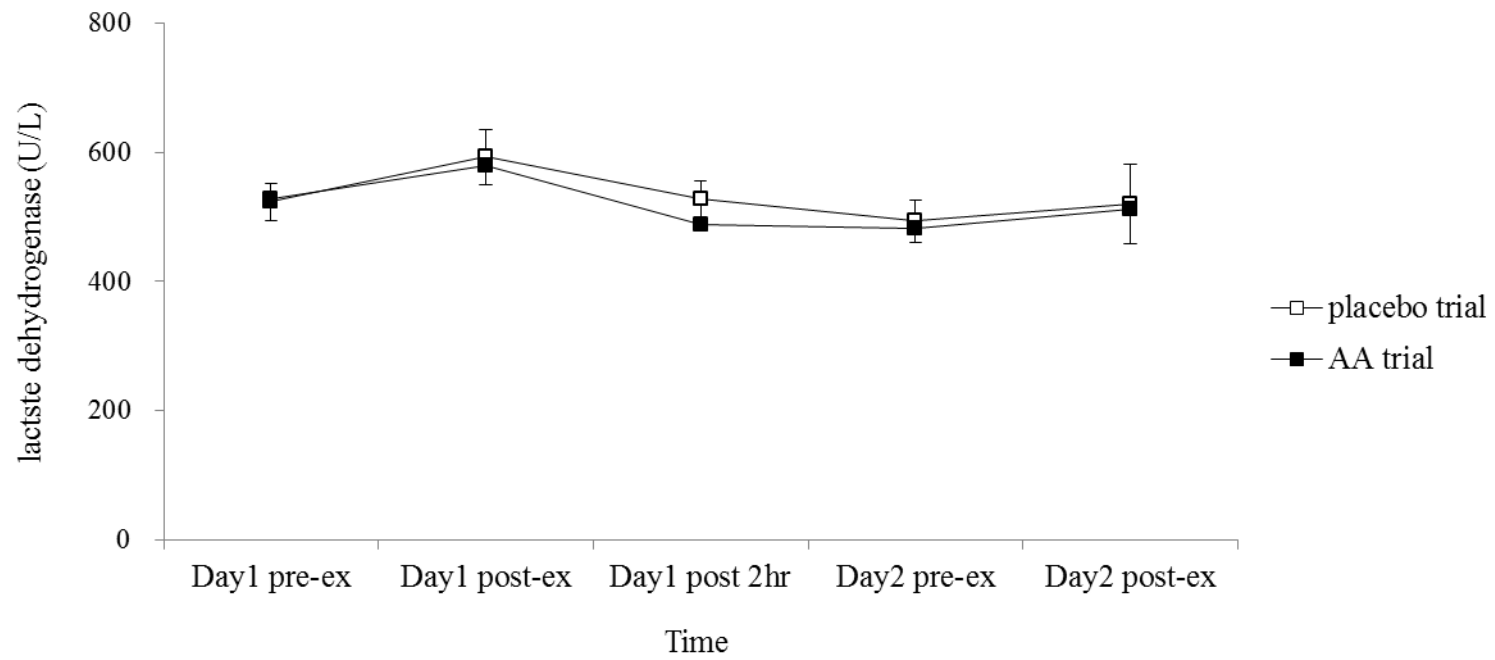
圖五 AA 測試與安慰劑測試運動表現改變率



Time effect $p = 0.006$; Trial effect: $p = 0.250$; Interaction effect: $p = 0.461$.

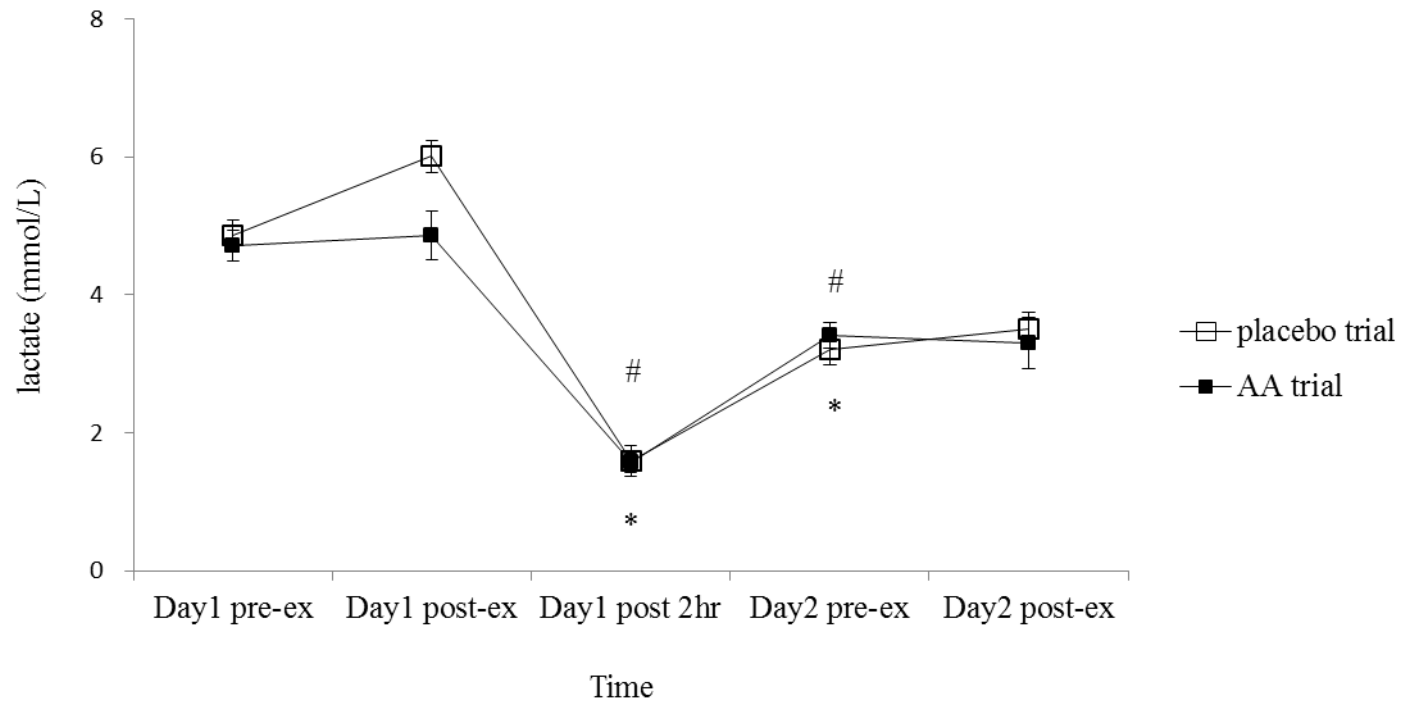
*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

圖六 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 creatine kinase 活性



Time effect: $p = 0.011$; Trial effect: $p = 0.738$; Interaction: $p = 0.905$.

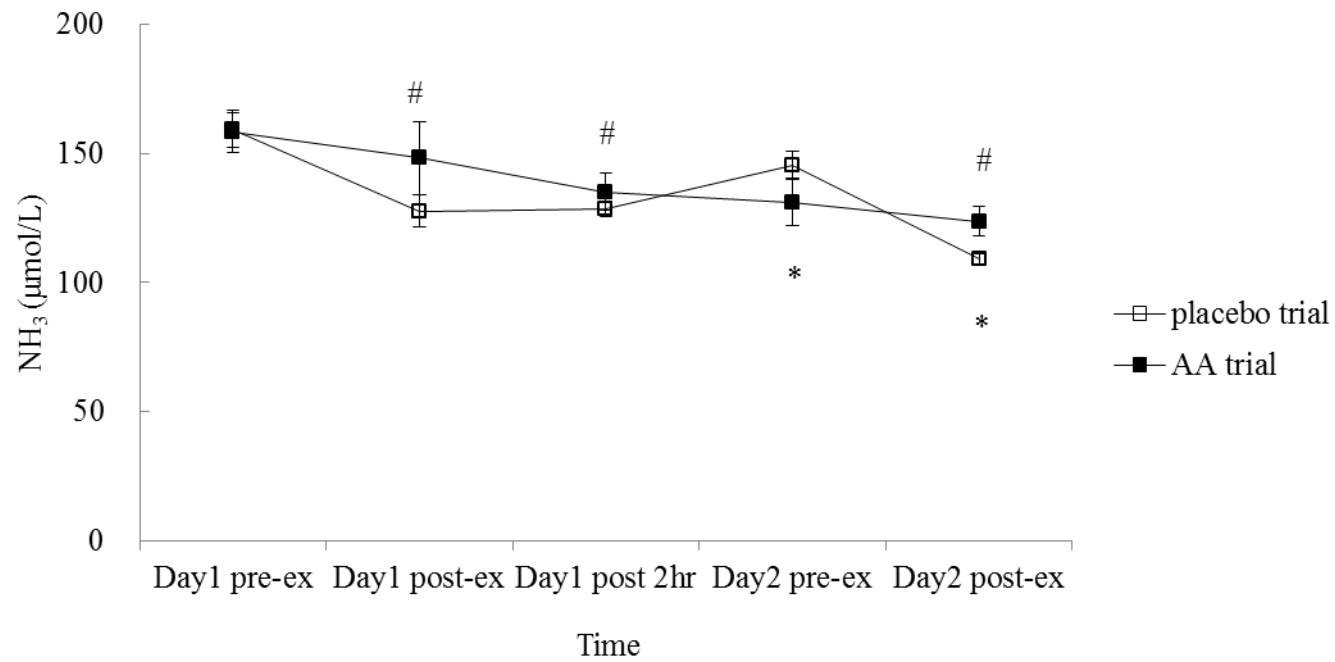
圖七 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 lactate dehydrogenase 活性



Time effect: $p = 0.000$; Trial effect: $p = 0.447$; Interaction: $p = 0.548$.

*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

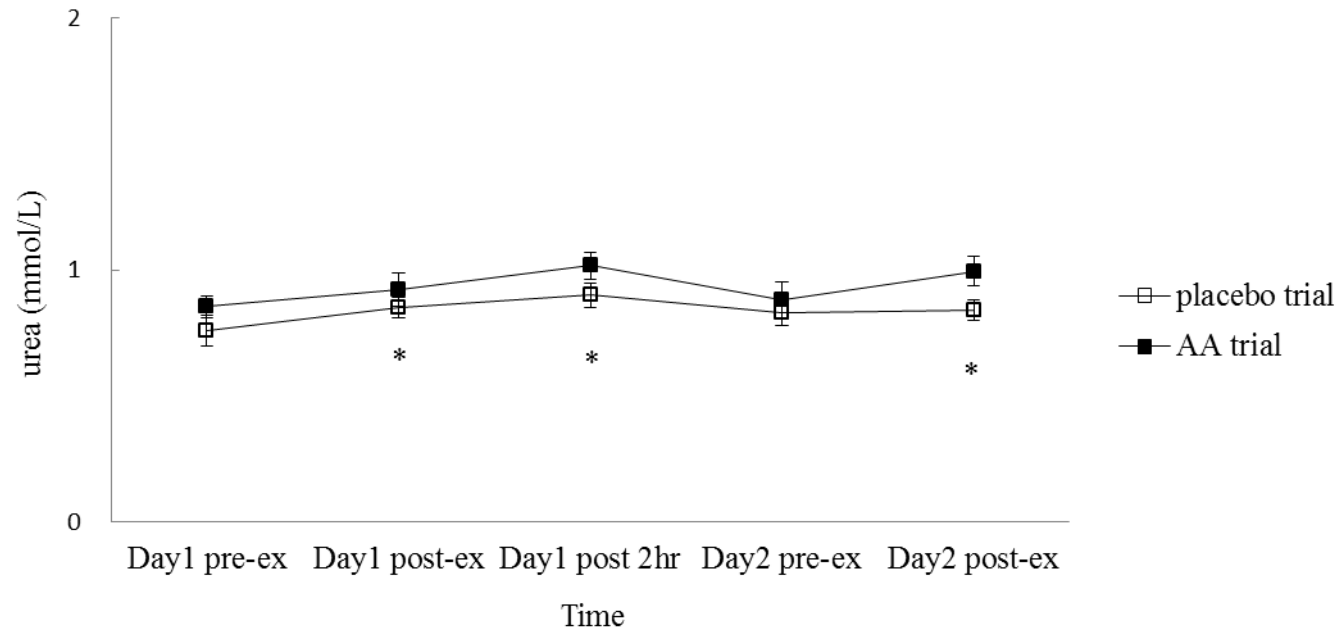
圖八 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿乳酸濃度



Time effect: $p = 0.089$; Trial effect: $p = 0.636$; Interaction: $p = 0.056$.

*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($P < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

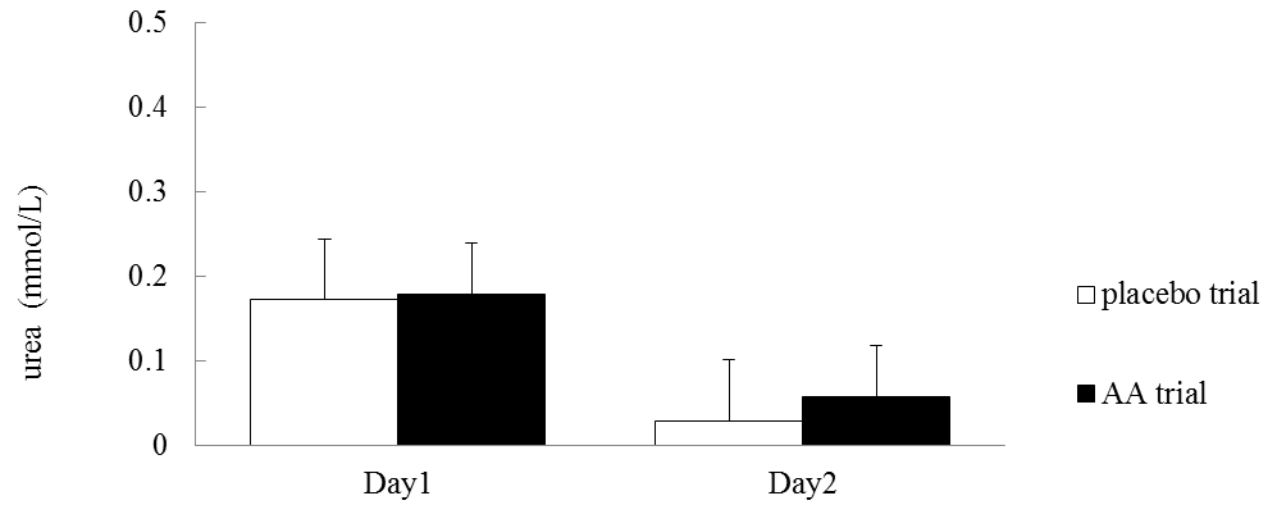
圖九 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿氨濃度



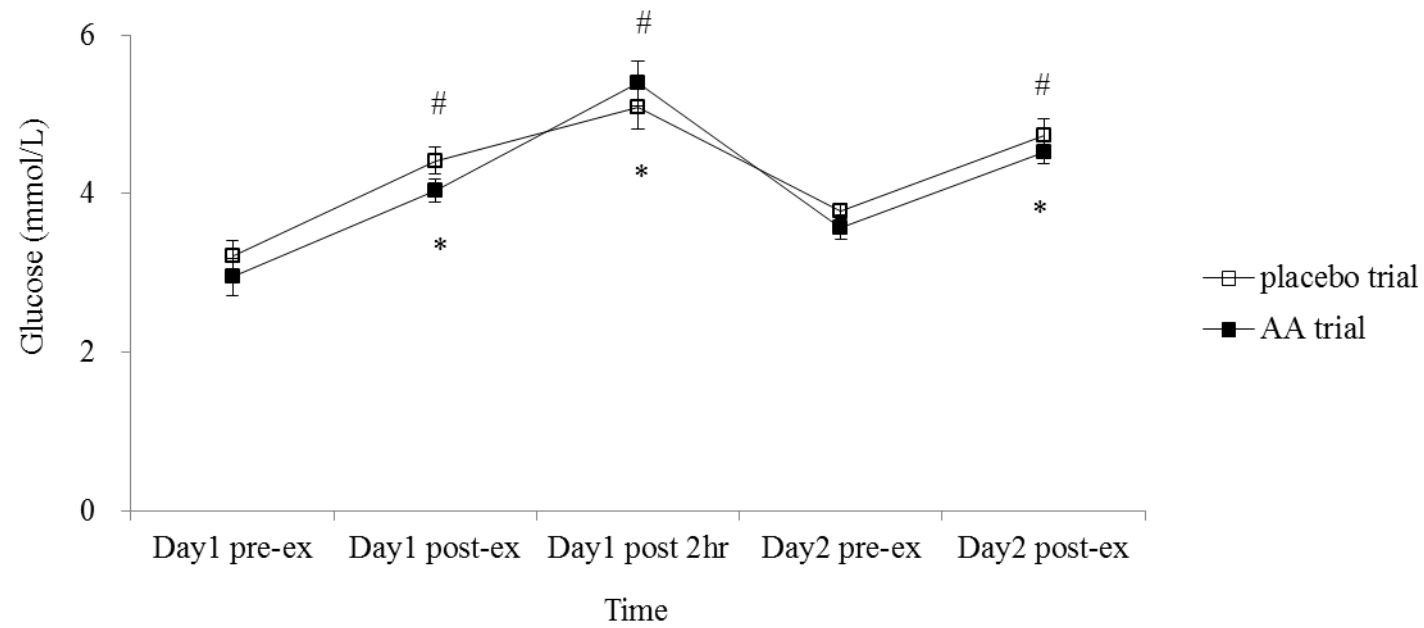
圖十 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿尿素濃度

Time effect: $p = 0.006$; Trial effect: $p = 0.250$; Interaction: $p = 0.461$.

*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$)。



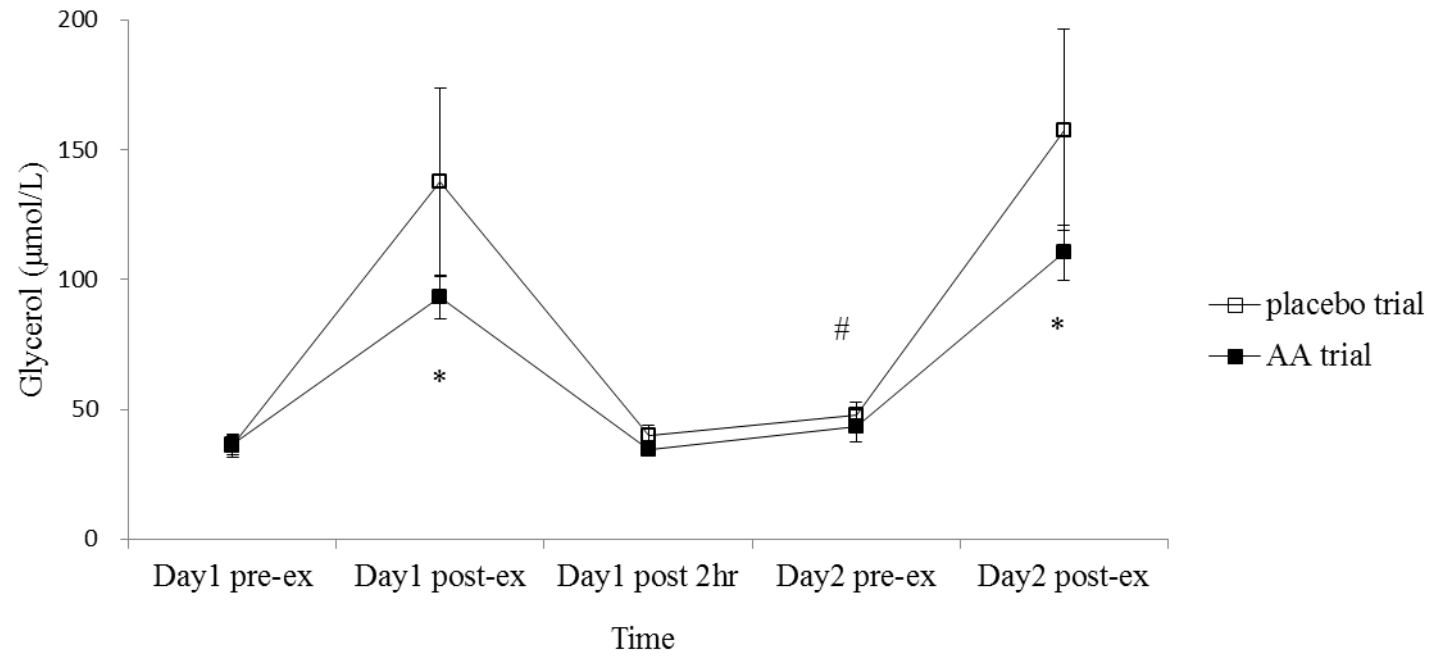
圖十一 AA 測試與安慰劑測試兩天之血漿尿素濃度曲線下增加面積



Time effect: $p = 0.000$; Trial effect: $p = 0.261$; Interaction: $p = 0.530$.

*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($P < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

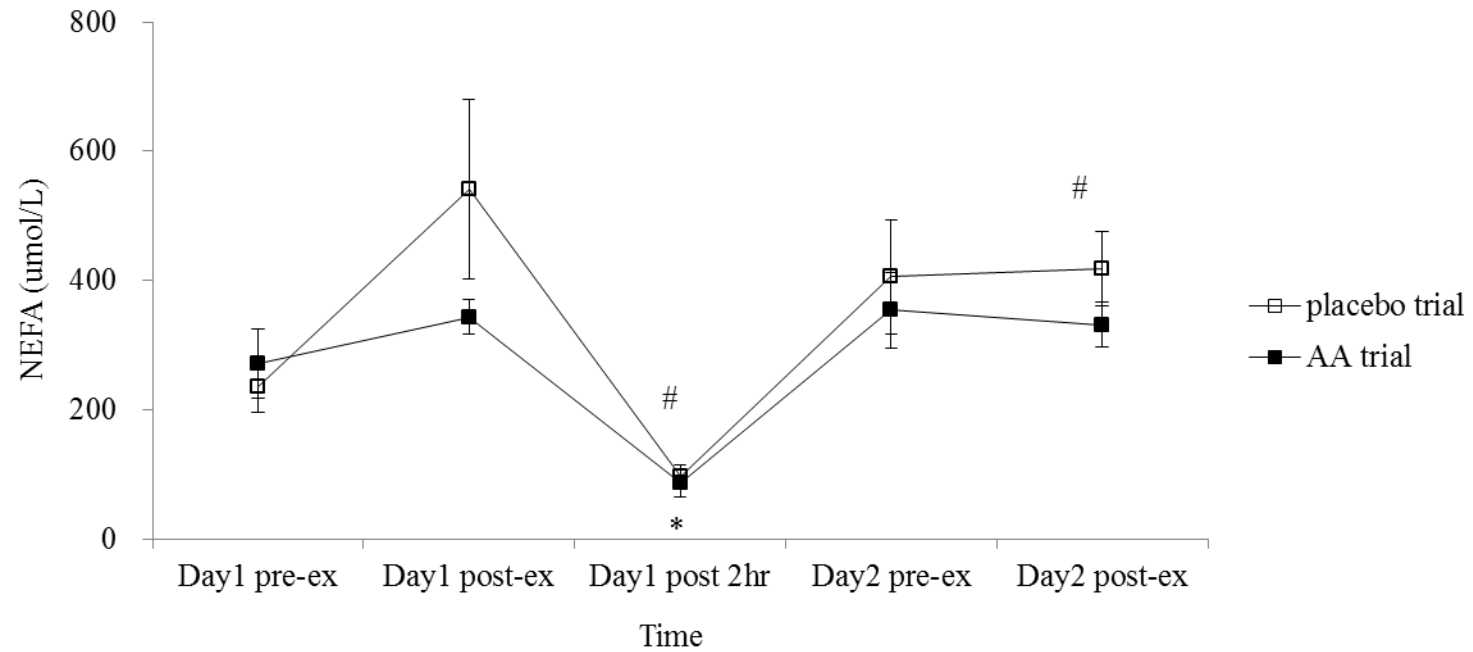
圖十二 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿葡萄糖濃度



Time effect: $p = 0.000$; Trial effect: $p = 0.176$; Interaction: $p = 0.217$.

*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

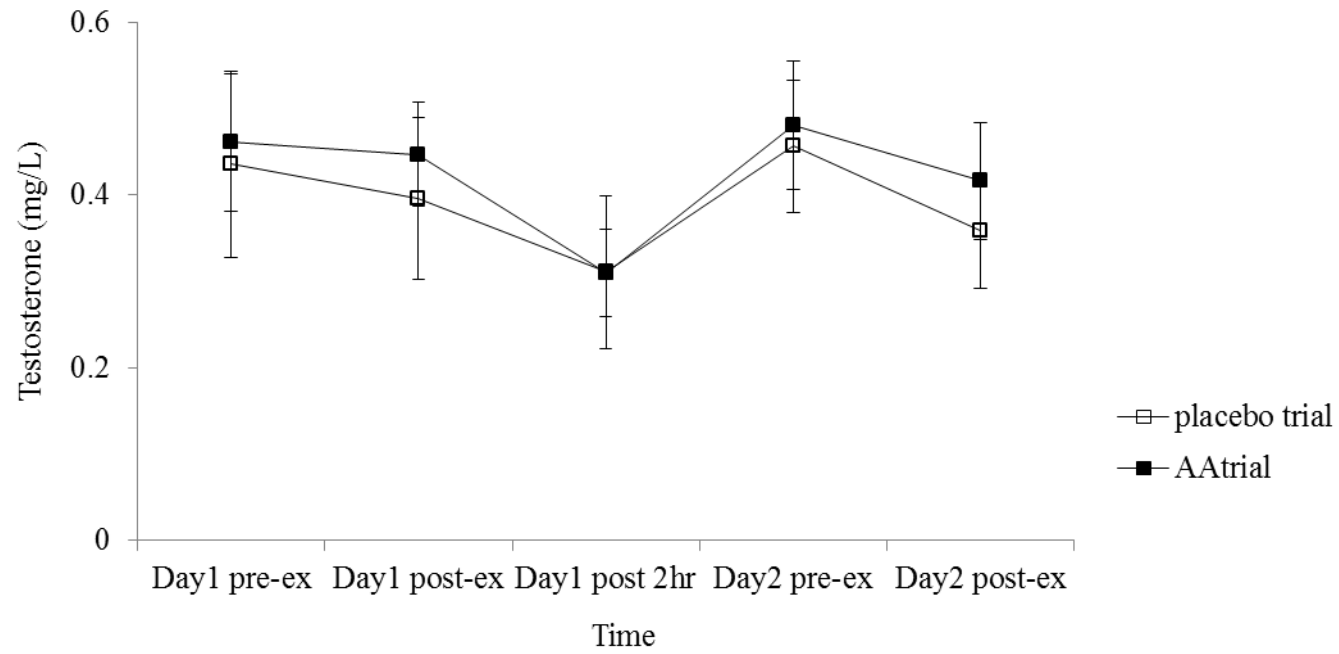
圖十三 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿甘油濃度



Time effect: $p = 0.000$; Trial effect: $p = 0.227$; Interaction: $p = 0.155$.

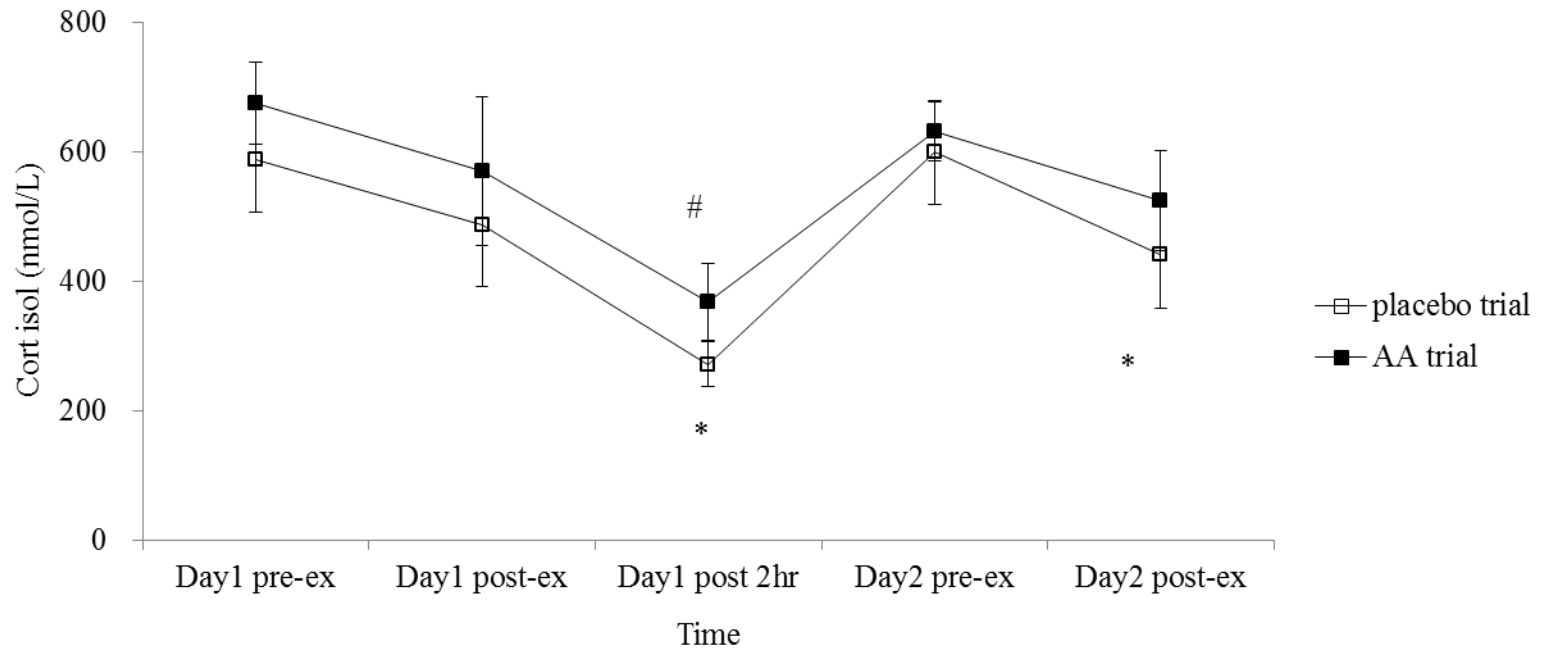
*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) , # : 安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$) 。

圖十四 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 NEFA 濃度



圖十五 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 testosterone 濃度

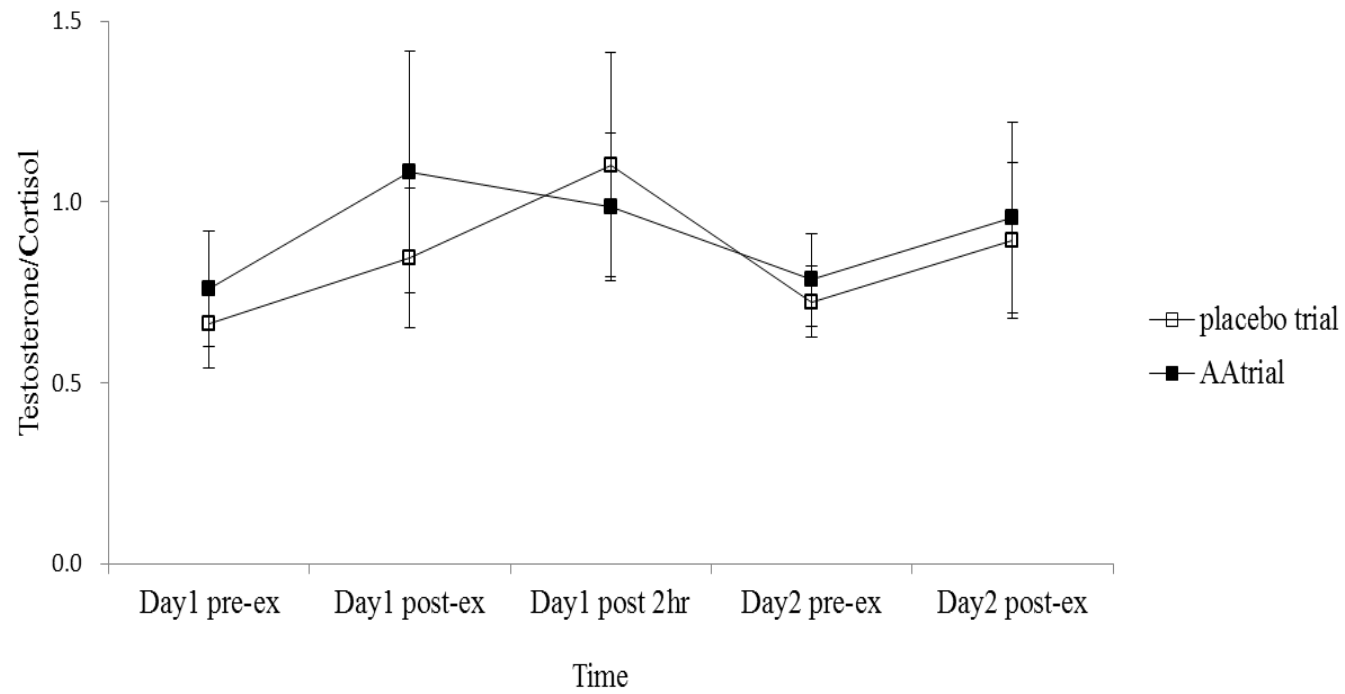
Time effect: $p = 0.003$; Trial effect: $p = 0.623$; Interaction: $p = 0.904$.



Time effect: $p = 0.000$; Trial effect: $p = 0.452$; Interaction: $p = 0.932$.

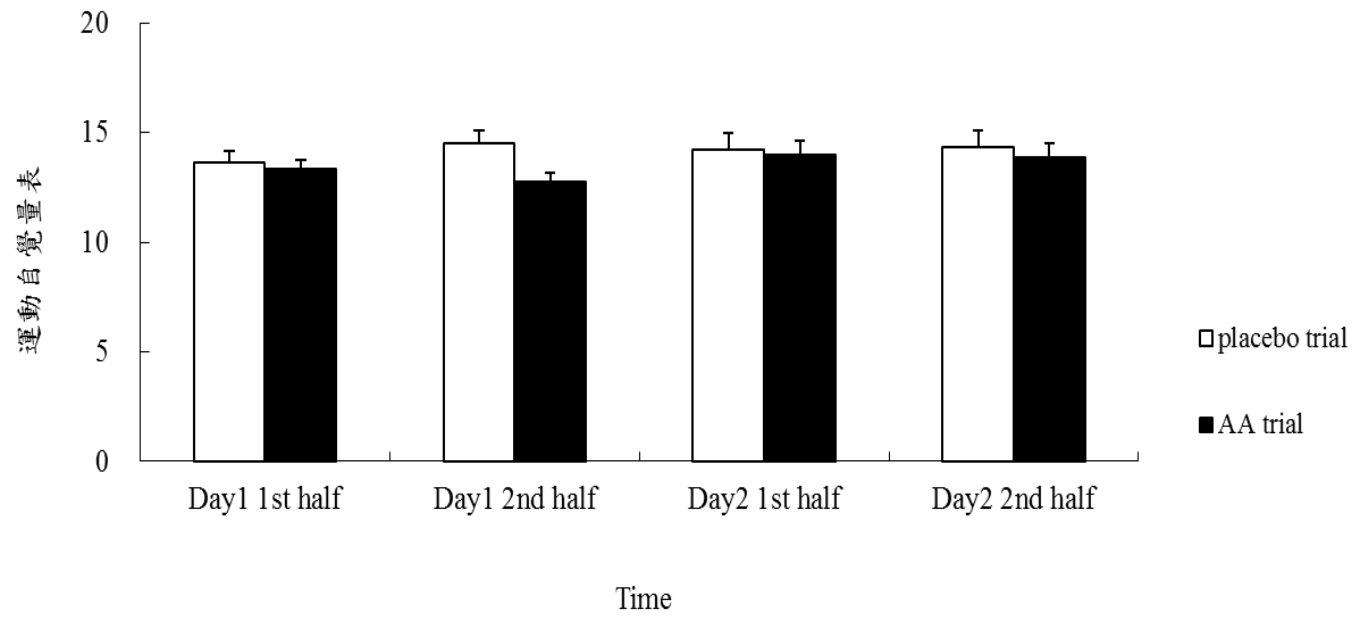
*AA 測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$)，#：安慰劑測試與 Day1 pre-ex 有顯著差異 ($p < 0.05$)。

圖十六 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 cortisol 濃度

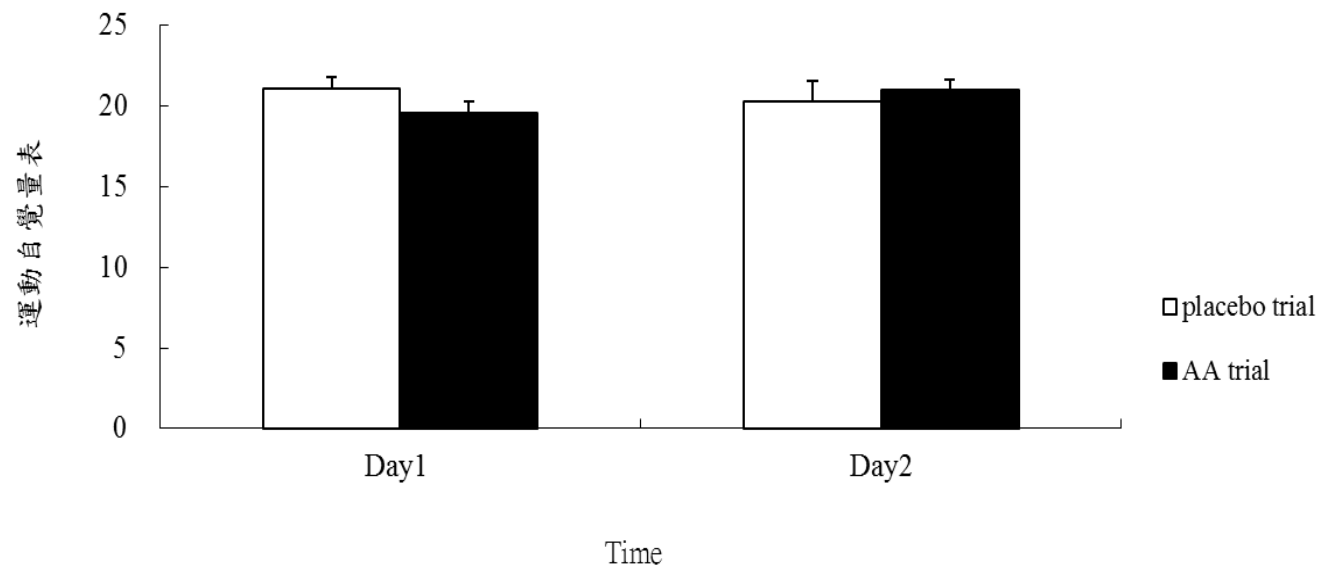


Time effect : $p = 0.073$; Trial effect : $p = 0.590$; Interaction : $p = 0.691$

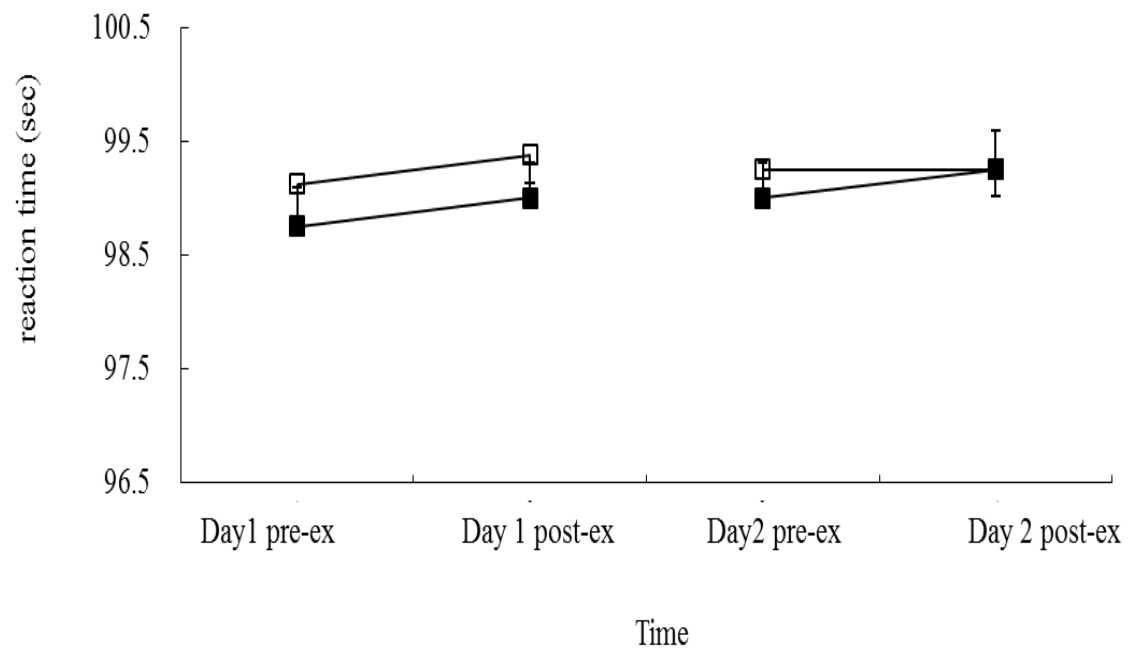
圖 十七 AA 測試與安慰劑測試各時間點血漿 testosterone/cortisol 比率



圖十八 AA 測試與安慰劑測試於運動中場休息及運動結束之自覺量表
(ratings of perceived exertion, RPE)



圖十九 AA 測試與安慰劑測試每天平均運動測試自覺量表
(ratings of perceived exertion, RPE)



圖二十 AA 測試與安慰劑測試運動前後反應時間

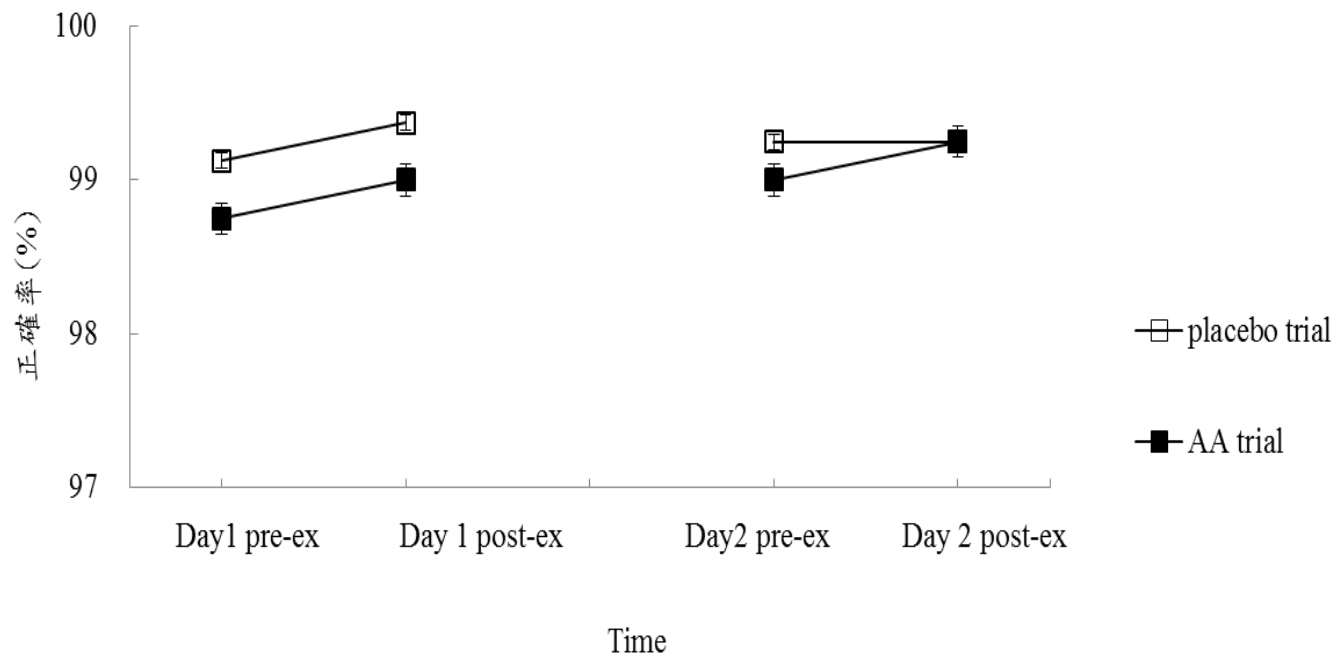


圖 二十一 AA 測試與安慰劑測試運動前後反應測試正確率

引用文獻

一、中文部分：

- 林香吟、林正常 (2010)。中等強度運動前增補支鏈胺基酸對肌肉損傷指標的影響。運動生理暨體能學報，11，57-67。
- 張振崗 (2004)。運動期間能量來源之性別差異。中華體育季刊，4(18)，39-47。
- 黃奕仁、林孟賢、郭豐州 (2006)。補充含胺基酸運動飲料對超級馬拉松運動跑者之生心理影響。輔仁大學體育學刊，5，144-145。
- 黃玫璇 (2010)。補充支鏈胺基酸與精胺酸對連續兩天手球運動表現及肌肉損傷之影響。未出版碩士學位論文，國立臺灣體育學院，台中市。

二、英文部分：

- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 529-538.
- Banister, E. W., & Cameron, B. J. (1990). Exercise-induced hyperammonemia: peripheral and central effects. *International Journal of Sports Medicine*, 11, S129-142.
- Blomstrand, E., Andersson, S., Hassmen, P., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1995). Effect of branched-chain amino acid and carbohydrate supplementation on the exercise-induced change in plasma and muscle concentration of amino acids in human subjects. *Acta Physiol Scand*, 153(2), 87-96.
- Blomstrand, E., Hassmen, P., Ek, S., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1997). Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 159, 41-49.
- Bednarz, B., Wolk, R., Chamiec, T., Herbaczynska-Cedro, K., Winek, D., & Ceremuzynski, L. (2000). Effects of oral L-arginine supplementation on exercise-induced QT dispersion and exercise tolerance in stable angina pectoris. *International Journal of Cardiology*, 75, 205-210.

- Bescos, R., Gonzalez-Haro, C., Pujol, P., Drobic, F., Alonso, E., Santolaria, M. L., et al. (2009). Effects of dietary L-arginine intake on cardiorespiratory and metabolic adaptation in athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(4), 355-365.
- Bailey, S. J., Winyard, P. G., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2010). Acute L-arginine supplementation reduces the O₂ cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 109(5), 1394-1403.
- Colombani, P., Bitzi, R., Frey-Rindova, P., Frey, W., Arnold, M., Langhans, W., & Wenk, C. (1999). Chronic arginine aspartate supplementation in runners reduces total plasma amino acid level at rest and during a marathon run. *European Journal of Nutrition*, 38(6), 263-270.
- Cheuvront, S. N., Carter III, R., Kolka, M. A., Lieberman, H. R., Kellogg, M. D., & Sawka, M. N. (2004). Branched-chain amino acid supplementation and human performance when hypohydrated in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 97(4), 1275-1282.
- Davis, J. M., Bailey, S. P., Woods, J. A., Galiano, F. J., Hamilton, M. T., & Bartoli, W. P. (1992). Effects of carbohydrate feedings on plasma free tryptophan and branched-chain amino acids during prolonged cycling.

- European Journal of Applied Physiology*, 65, 513-519.
- Davis, J. M., (1995). Carbohydrates, branched-chain amino acids, and endurance: the central fatigue hypothesis. *International Journal of Sport Nutrition*, 5, 29-38.
- Davis, J. M., Alderson, N. L., & Welsh, R. S. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 573S-578S.
- Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Schaefer, A., Lonsdorfer, E., Richard, R., et al. (2005). Chronic but not acute oral L-arginine supplementation delays the ventilatory threshold during exercise in heart failure patients. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(4), 419-432.
- Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Rouyer, O., Schaefer, A., Lonsdorfer, J., et al. (2006). Chronic L-arginine supplementation enhances endurance exercise tolerance in heart failure patients. *International Journal of Sports Medicine*, 27(7), 567-572.
- Eto, B., Peres, G., & Moel, G. L. (1994). Effects of an ingest g l utamate arginine salt on ammonemia during and after long lasting cycling . *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique*, 102(3), 161-162.

- Endemann, D. H., & Schiffrin, E. L. (2004). Endothelial dysfunction. *Journal Am Soc Nephrol*, 15(8), 1983-1992.
- Goldberg, A. L., & Chang, T. W. (1978). Regulation and significance of amino acid metabolism in skeletal muscle. *Federation Proceedings*, 37(9), 2301-2307.
- Griggs, R. C., Kingston, W., Jozefowicz, R. F., Herr, B. E., Forbes, G., & Halliday, D. (1989). Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology*, 66(1), 498-503.
- Graham, T. E., Turcotte, L. P., Kiens, B., & Richter, E. A. (1997). Effect of endurance training on ammonia and amino acid metabolism in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5), 646-653.
- Gonzalez, A. M., Walsh, A. L., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2011). Effect of a pre-workout energy supplement on acute multi-joint resistance exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(2), 261-266.
- Hassmen, P., Blomstrand, E., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1994). Branched-chain amino acid supplementation during 30-km competitive run: mood and cognitive performance. *Nutrition*, 10(5), 405-410.
- Hug, M., Mullis, P. E., Vogt, M., Ventura, N., & Hoppeler, H. (2003). Training modalities: over-reaching and

- over-training in athletes, including a study of the role of hormones. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 17(2), 191-209.
- Hsu, M. C., Chien, K. Y., Hsu, C. C., Chung, C. J., Chan, K. H., & Su, B. (2011). Effects of BCAA, arginine and carbohydrate combined drink on post-exercise biochemical response and psychological condition. *The Chinese Journal of Physiology*, 54(2), 71-78.
- Ivy, J. L., Res, P. T., Sprague, R. C., & Widzer, M. O. (2003). Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13, 382-395.
- Koba, T., Hamada, K., Sakurai, M., Matsumoto, K., Hayase, H., Imaizumi, K., Mitsuzono, R. (2007). Branched-chain amino acids supplementation attenuates the accumulation of blood lactate dehydrogenase during distance running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(3), 316-322.
- Liu, T. H., Wu, C. L., Chiang, C. W., Lo, Y. W., Tseng, H. F., & Chang, C. K. (2009). No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 20(6), 462-468.

- Mutch, B., & Banister, E. (1983). Ammonia metabolism in exercise and fatigue: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, 15(1), 41-50.
- Mittleman, K. D., Ricci, M. R., Bailey, S. P. (1998). Branched-chain amino acids prolong exercise during heat stress in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 30(1), 83-91.
- Matsumoto, K., Mizuno, M., Mizuno, T., Dilling-Hansen, B., Lahoz, A., Bertelsen, V., et al. (2007). Branched-chain amino acids and arginine supplementation attenuates skeletal muscle proteolysis induced by moderate exercise in young individuals. *International Journal of Sports Medicine*, 28(6), 531-538.
- Newsholme, E. A., & Blomstrand, E. (2006). Branched-chain amino acids and central fatigue. *Journal of the American Society of Nephrology*, 136, 274S-276S.
- Norton, L. E., & Layman, D. K. (2006). Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *The Journal of Nutrition*, 13(2), 533S-537S.
- Rennie, M. J., Bohe, J., Smith, K., Wackerhage, H., & Greenhaff, P. (2006). Branched-chain amino acids as fuels and anabolic signals in human muscle. *Journal of the American Society of Nephrology* 136(1 Suppl),

264S-268S.

- Riazi, R., Wykes, L. J., Ball, R. O., & Pencharz, P. B. (2003). The total branched-chain amino acid requirement in young healthy adult men determined by indicator amino acid oxidation by use of L-[1-13C]phenylalanine. *Journal of the American Society of Nephrology*, 133(5), 1383-1389.
- Schaefer, A., Piquard, F., Geny, B., Doutreleau, S., Lampert, E., Mettauer, B., et al. (2002). L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 403-407.
- Shimomura, Y., Yamamoto, Y., Bajotto, G., Sato, J., Murakami, T., Shimomura, N., et al. (2006). Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *Journal of Nutrition*, 136(2), 529S-532S.
- Shimomura, Y., Inaguma, A., Watanabe, S., Yamamoto, Y., Muramatsu, Y., Bajotto, G, Sato J, Shimomura N, Kobayashi H, Mawatari, K. (2010). Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(3), 236.
- Tsuei, B. J., Bernard, A. C., Barksdale, A. R., Rockich, A. K., Meier, C. F., & Kearney, P. A. (2005). Supplemental

enteral arginine is metabolized to ornithine in injured patients. *The Journal of Surgical Research*, 123(1), 17-24.

Urban, R. J., Bodenbarg, Y. H., Gilkison, C., Foxworth, J., Coggan, A. R., Wolfe, R. R., & Ferrando, A. (1995). Testosterone administration to elderly men increases skeletal muscle strength and protein synthesis. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 269(5), E820-E826.

Watson, P., Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (2004). The effect of acute branched-chain amino acid supplementation on prolonged exercise capacity in a warm environment. *European Journal of Applied Physiology*, 93(3), 306-314.

Walsh, A. L., Gonzalez, A. M., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2010). Research article Improved time to exhaustion following ingestion of the energy drink Amino Impact™. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7:14

附錄

附錄一 受測者之飲食控制: (A)早餐; (B)中、晚餐

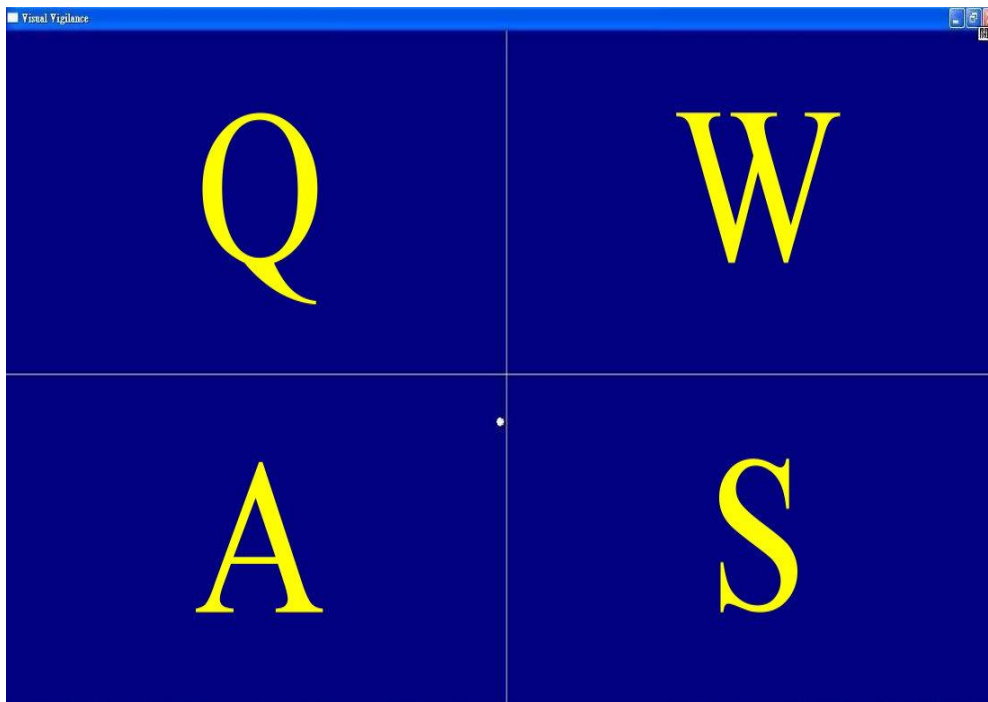


(A)



(B)

附錄二 反應測試操作，以及各螢幕象限之對應按鍵指定位置



附錄三 受測者需知及同意書

研究名稱	補充支鏈胺基酸與精氨酸對優秀女子手球選手之運動表現		
指導教授	張振崗	單位/電話	國立臺灣體育運動大學 運動科學中心 04-22213108#2211
研究生	梁雅瑀	手機	0938-679307
研究目的	探討補充支鏈胺基酸與精氨酸 針對優秀女子手球選手之運動表現		
實驗流程	本研究為運動前一小時攝取 BCAA 0.17g/kg + Arg 0.04g/kg 連續兩天之運動測試，每人共進行兩次實驗檢測。運動測驗前一天及測驗之兩天必須控制飲食；每次運動測試前一天晚上 10 點過後須禁食。在測試當天需空腹至實驗室採血，食用早餐完畢兩小時後再飲用實驗飲料，一小時後進行運動測試。測試結束後立即採血；休息兩小時後須再抽血。本實驗室提供測驗前一天中餐、晚餐及第一天測驗早餐、中餐、晚餐和第二天早餐。早餐為土司 12 g/kg；果醬 0.2 g/kg；豆漿 5 ml/kg。中、晚餐為 4 菜 1 主菜之自助餐便當。		
實驗限制	在參與本研究期間， 不可抽菸、喝酒及補充營養食品（如維他命、高蛋白食品） ，並盡量維持固定的生活作息、飲食。並接受 2 次檢測，每次檢測包括抽血與運動測試。		
實驗需知	在測試開始前，由合格醫護人員自手肘靜脈處採集血液。血液採集分別為第一天運動前、運動後立即及運動後兩小時；第二天運動前及運動後，共採集 5 次血液。每次約採集 10 毫升血液進行分析。針頭插入時可能會感覺稍微的疼痛，可能會感覺稍微不舒服。2 次檢測所服用之飲料分別含有水 250 ml（濃縮果汁 50 ml + 水 200 ml）+BCAA 0.17 g/kg + Arg 0.04 g/kg 或水 250 ml（濃縮果汁 50 ml + 水 200 ml）。		
運動測試	手球運動測試為模擬比賽上下半場 30 分鐘，中間休息 10 分鐘。運動測試內容：3 公尺側移×3.....10 秒 → 20 公尺快跑.....5 秒 → 定點傳球（五顆）+跳躍射門.....10 秒 → 20 公尺慢跑.....10 秒 → 十字跳×3（盡最大努力）.....10 秒 → 20 公尺快跑.....5 秒 → 定點傳球（八顆）.....10 秒 → 20 公尺慢跑.....15 秒 → 衝刺.....休息 40 秒。每趟衝刺利用光柵紀錄時間。這部份的測試將使我感覺疲勞。		
<p>研究人員已經向我充分說明，我瞭解研究執行機構將維護受試者在試驗過程中應得之權益，在試驗過程中無須提出任何理由可隨時撤回同意，退出試驗，且不會引起任何不愉快，不會遭受處罰或損失應得之利益，或影響在本校的任何成績與權益，而且檢查結果將絕對保密。一個研究的號碼會取代姓名，試驗所得資料可能發表於學術性雜誌，但姓名不會公佈，隱私絕對保密，血液檢體也絕對不外流，除了有關機構依法調查外，研究人員將會盡力維護隱私且參加本試驗皆不須繳交任何額外費用。</p> <p>本人已經詳細閱讀以上資料，研究人員已經對我詳細解釋內容，相關研究人員也已經回答我所有的疑問，我已了解且同意參與此項研究計畫，自願擔任受試者，並同意本計畫研究人員使用我的血液檢體進行分析。如果我以後有問題，我可與計畫主持人聯絡，日後如果受試者同意書內容有任何更新，或有新資訊可能影響受試者繼續參與試驗之意願，我將隨時收到更新後的內容。</p>			
受試者姓名		出生年月日	性別
手機		通訊地址	
身高	球齡	職司	
email		簽名日期	