

國立臺灣體育學院競技運動學系  
碩士學位論文

補充支鏈胺基酸與精胺酸對連續二天手球  
運動表現及肌肉損傷之影響

**EFFECTS OF BRANCHED-CHAIN AMINO ACIDS AND  
ARGININE SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE  
AND MUSCLE DAMAGE IN TWO CONSECUTIVE DAYS  
OF HANDBALL GAMES**



研究生：黃玟璇 撰

指導教授：張振崗 教授

中華民國 100 年 6 月

論文名稱：補充支鏈胺基酸與精胺酸對連續二天手球  
運動表現及肌肉損傷之影響

總頁數：79 頁

院校所組別：國立臺灣體育學院競技運動學系碩士班

畢業及提要別：99 學年度第 2 學期碩士學位論文提要

研究生：黃玟璇

指導教授：張振崗教授

### 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，補充 BCAA 可能降低色胺酸進入腦部合成血清素，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；補充精胺酸可能增加一氧化氮 (nitric oxide, NO) 合成，刺激血管擴張及增加血流量，加速乳酸與氨的代謝。本研究目的為探討補充 BCAA 與 Arg，對連續二天手球模擬比賽運動表現及肌肉損傷血液指標之影響。以 15 名國立臺灣體育學院男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，每天進行一次運動測試。於運動測試前一小時補充 0.17g/kg BCAA 與 0.04g/kg Arg (AA trial) 或安慰劑 (placebo trial)，且運動前、後皆進行反應測試。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，中場休息及運動後皆詢問自覺量表 (Rating 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，分析血漿中肌酸激酶、乳酸脫氫酶、乳酸、氨、尿素、葡萄糖、甘油與非酯化脂肪酸濃度。兩次測試之

每五趟衝刺平均時間，與第二天相較於第一天的改變率、反應時間及 RPE，以相依樣本 T 檢定進行分析，血液樣本以重複量數二因子變異數分析。結果顯示，AA trial 於第 21-25 趟衝刺平均時間改變率顯著小於 placebo trial ( $-1.085 \pm 0.8\%$  vs  $0.535 \pm 0.5\%$ ， $p < 0.05$ )，AA trial 第二天 RPE 顯著低於 placebo trial ( $14.9 \pm 0.4$  vs  $16.1 \pm 0.5$ ， $p < 0.05$ )。AA trial 第二天運動後反應時間顯著快於 placebo trial ( $p < 0.05$ )。AA trial 血漿中氨濃度於第一天運動後與第二天運動後顯著高於 placebo trial ( $p < 0.001$ )，肌酸激酶、乳酸脫氫酶、乳酸、尿素、葡萄糖、甘油與非酯化脂肪酸濃度在 trial 之間則無顯著差異。本研究顯示攝取 BCAA 與 Arg 可能可以促進連續手球比賽第二天的運動表現，降低 RPE 得分，以及有較快的反應時間，顯示可能可以延緩中樞疲勞，但對降低運動後乳酸、氨及肌肉損傷程度則無顯著影響。

關鍵詞：支鏈胺基酸、精胺酸、肌肉損傷、運動表現

Huang, Mei-Hsuan (2011). Effects of Branched-Chain Amino Acids and Arginine Supplementation on Performance and Muscle Damage in Two Consecutive Days of Handball Games. Unpublished master thesis, National Taiwan College of Physical Education

#### Abstract

Branched-chain amino acids (BCAA) and arginine (Arg) have multiple physiological functions that may improve exercise performance. BCAA supplementation could suppress central fatigue by reducing the entry of tryptophan, the precursor for serotonin, to the brain. BCAA can also stimulate muscle protein synthesis and reduce skeletal muscle damage. Arg supplementation may stimulate endothelium-dependent vasodilation (EDVD) and blood flow by increasing nitric oxide (NO) synthesis. Arg may also reduce the exercise-induced blood lactate and ammonia accumulation. The purpose of this study was to investigate the effect of BCAA and ARG supplementation on performance and muscle damage markers in two consecutive days of handball games. Fifteen male handball athletes of National Taiwan College of Physical Education were recruited as the subjects. The study used a randomized cross-over design. Each trial contained two days. The subjects consumed either 0.17 g/kg BCAA and 0.04 g/kg Arg (AA trial) or placebo (PLA trial) 1 hour before the exercise test. The exercise test was a simulated handball game with 30 min in each half and a 10-min rest in between. A 20-m sprint was performed every 2 min. The Rating of Perceived Exertion (RPE) was recorded during the half-time and after the game. Blood samples were collected from the antecubital vein before, after, and 2 hours after the first exercise test, and before and after the second test. The plasma concentrations of creatine kinase (CK), lactate dehydrogenase (LDH), lactate, ammonia, urea, glucose, glycerol, non-esterified fatty acid (NEFA) were measured. The average time of 5 sprints, percent change compared to Day 1, reaction time, and RPE scores were analyzed by paired-T test. The plasma concentrations of the variables were analyzed by two-way repeated measurement ANOVA. The percent change in sprint 21-25 in Day 2 in AA trial was significantly lower than PLA trial ( $-1.085 \pm 0.8\%$  vs  $0.535 \pm 0.5\%$ ,  $p < 0.05$ ). RPE on Day 2 in AA trial was significantly lower than that in PLA trial ( $14.9 \pm 0.4$  vs  $16.1 \pm 0.5$ ,  $p < 0.05$ ). Reaction time after exercise in Day 2 in AA trial was significantly faster than that in PLA trial ( $p < 0.05$ ). Plasma  $\text{NH}_3$  concentrations after exercise in Day 1 and 2 in

AA trial were significantly higher than those in PLA trial ( $p < 0.001$ ). There were no difference in the concentrations of CK, LDH, lactate, urea, glucose, glycerol, and NEFA between the 2 trials. In conclusion, this study suggested that BCAA and Arg supplementation may improve the performance on the second day by decreasing RPE scores and improving reaction time, indicating the suppressed central fatigue, Nevertheless, the supplementation had no effect on plasma concentrations of lactate, ammonia, and muscle damage markers after exercise.

Key words: branched-chain amino acids, arginine, muscle damage, performance

## 誌謝

本論文承蒙指導教授張振崗老師指點斧正，方能順利完成，在此獻上由衷的感謝，謝謝口試委員巫錦霖教授與程一雄教授給予指導及建議，以及謝謝電算中心郭瑞庭主任協助撰寫反應測試之電腦程式，讓實驗能順利完成，促此論文可以更完整。

在這兩年水深火熱的日子，讓我了解到做事並不能一股腦地埋頭苦幹，而是要找到做事的方法與效率，才能在有限的時間內完成任務。雖然在過程中遇到很多瓶頸，但只要看到張振崗老師，猶如見到一道光明，感覺到任何艱難的問題都不是問題了。真的！張老闆的一個笑容是富有神聖般的力量，總是點醒人們該積極奮鬥，老師身上的光芒，不知道我們要修練多久呢！以及謝謝親愛的方世華老師，總是抽出寶貴的時間和我們同聚歡樂，增添了我們班上不少的色彩唷！還有謝謝笑容滿面張立羣老師，總是適時地給予我鼓勵，來增加我的動力。亦謝謝陳裕鏞老師加強指導生理學，解決了我不少頭痛的問題。感謝我的好朋友羿蓁、嘉雯、文雅、鈞芳、雅琄及楷峻的鼓勵及扶持，生活中有你們就多了歡笑。以及特別感謝運科中心的團隊，謝謝易辰、秉勳、宗翰、漢斯、志輝、洋聰、家銘學長們以及一凡、維修、玉芳、佩玉及冠邑學姊們在實驗上的協助與指導，謝謝玫瑰小天使，總是熱心地幫我解決困難，讓我可以順順利利的完成每一件事情，以及謝謝鴻鈞、宗益、陳儀、韋靜、羽涵等大家的互相幫忙。

還有最重要的是謝謝實驗中之受測者辛苦的配

合，謝謝這些優秀的手球代表隊選手及學妹們的幫忙，更謝謝張簡坤明老師與張榮顯老師，讓我有機會進入到這個大家庭，讓我不斷地成長。以及感謝在國小時有劉俊直老師的提拔，讓我接觸到手球運動，謝謝陳文博老師在國中時的栽培，謝謝梁國興老師在高中時繼續地帶領著我們，才有現在的我，如願地考上研究所得以完成此論文。

玫璇 謹誌

中華民國一百年六月於

國立臺灣體育學院競技運動學系暨碩士班

# 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	III
誌謝 .....	V
目 錄 .....	VII
第一章 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 .....	2
第四節 研究範圍與限制 .....	2
第二章 文獻探討 .....	4
第一節 支鏈胺基酸對於運動的影響 .....	4
第二節 精胺酸對於運動代謝的影響 .....	11
第三章 研究方法與步驟 .....	15
第一節 實驗對象 .....	15
第二節 實驗設計 .....	15
第三節 飲食及身體活動控制 .....	15
第四節 實驗步驟 .....	16
第五節 反應測驗與運動測試 .....	16
第六節 最大攝氧量測量 .....	18
第七節 血液採集與分析 .....	18
第八節 血漿體積校正方法 .....	21
第九節 資料分析 .....	22
第四章 結果 .....	23
第一節 受試者基本資料 .....	23
第二節 運動表現 .....	23

第三節 血液生化值 .....	23
第四節 反應測試 .....	25
第五節 心跳率與自覺量表 .....	26
第五章 討論 .....	28
第六章 結論與建議 .....	34
第一節 結論 .....	34
第二節 建議 .....	34
參考文獻 .....	36

### 表目錄

表一 受測者基本資料 .....	43
表二 受測者運動測試中之飲用水量 .....	44

### 圖目錄

圖一 Exercise Simulates BCAA Metabolism .....	45
圖二 實驗流程圖 .....	46
圖三 運動測試流程圖 .....	47
圖四 AA trial 與 placebo trial 兩天之運動表現 .....	48
圖五 AA trial 與 placebo trial 運動表現改變百分比 .....	49
圖六 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 creatine kinase 活性 .....	50
圖七 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 lactate dehydrogenase 活性 .....	51
圖八 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NH <sub>3</sub> 濃度 ....	52
圖九 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 lactate 濃度	53

圖十	各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 urea 濃度 ...	54
圖十一	各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 glucose 濃度 .....	55
圖十二	各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 glycerol 濃度 .....	56
圖十三	各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NEFA 濃度 .....	57
圖十四	AA trial 與 placebo trial 聽力反應時間 .....	58
圖十五	AA trial 與 placebo trial 無指定位置之反應時間 ..	59
圖十六	AA trial 與 placebo trial 四象限反應測試之反應時間 .....	60
圖十七	AA trial 與 placebo trial 指定位置反應測試之準確率 .....	61
圖十八	AA trial 與 placebo trial 運動測試之心跳率 .....	62
圖十九	AA trial 與 placebo trial 於運動中場休息及運動結束 之自覺量表 .....	63
圖二十	AA trial 與 placebo trial 運動測試自覺量表 .....	64

## 附錄

附錄一	受測者之飲食控制 .....	65
附錄二	聽力反應測試 .....	66
附錄三	眼力反應測試 .....	67
附錄四	節奏跑攝氧量換算表 .....	68
附錄五	受測者須知及同意書 .....	78

# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景

手球是快速且激烈對抗的運動，須透過高難度技術動作及攻守之間碰撞來達成得分目的，且需要速度和耐力，以維持運動表現。然而，當肌肉在激烈運動時，會迫使肌肉拉長收縮，導致肌纖維受到輕微損傷，可能影響後續運動的表現。此外，當在高強度運動肌肉會持續代謝產生乳酸及氨 ( $\text{NH}_3$ ) 等物質，當這些代謝產物累積過多，則會造成疲勞進而影響運動表現。

在長時間運動會使血糖濃度降低及肌肉肝醣耗竭，體內也會開始利用蛋白質作為能量來源，使血漿中支鏈胺基酸 (branched-chain amino acids, BCAA) 下降，提升游離色胺酸 (free tryptophan, fTrp) /BCAA 比值，增加腦部血清素合成，導致中樞疲勞。過去研究顯示，藉由補充 BCAA 可能可降低色胺酸進入腦部合成血清素，進而延緩中樞疲勞產生，而提升運動表現；亦指出 BCAA 可刺激胰島素分泌、促進肌肉蛋白質合成及減少肌肉損傷。但也有研究顯示，補充 BCAA 可能會提高體內 BCAA 氧化作用，增加血液中  $\text{NH}_3$  的濃度。

過去研究顯示補充精胺酸 (arginine, Arg) 可藉由一氧化氮 (nitric oxide, NO) 合成，刺激血管擴張及血流量增加，進而加速乳酸的代謝，或增加有氧代謝，進而減少乳酸產生；Arg 亦為尿素循環的中間產物，經由精胺酸酶 (arginase) 分解，產生鳥氨酸 (ornithine) 及尿素。因此，補充 Arg 可能可以提高尿素循環的速率，促進血氮代謝成尿素排出體外。

## 第二節 研究目的

BCAA 與 Arg 具有多重生理功能，目前探討合併補充 BCAA 與 Arg，對訓練有素之選手運動表現及肌肉損傷的相關研究相當有限。因此，本研究目的為合併補充 BCAA 與 Arg，藉由透過各系統之加成性與協助性的效果，探討對連續二天高強度間歇性之手球運動表現及肌肉損傷的影響。

- 一、探討於運動前補充 BCAA 與 Arg 對於連續二天模擬手球比賽運動表現之影響。
- 二、探討於運動前補充 BCAA 與 Arg 對於連續二天模擬手球比賽運動後肌肉損傷之影響。
- 三、探討於運動前補充 BCAA 與 Arg 對血漿中肌肉損傷指標肌酸激酶、乳酸脫氫酶，代謝指標氨、血乳酸、尿素，醣類代謝指標葡萄糖，以及脂肪代謝指標甘油、非酯化脂肪酸之影響。

## 第三節 研究假設

- 一、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，對於連續二天模擬手球比賽，運動表現無顯著影響。
- 二、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，對於連續二天模擬手球比賽，於運動後肌肉損傷指標（肌酸激酶、乳酸脫氫酶）無顯著影響。
- 三、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，對於連續二天模擬手球比賽，於運動後血液中乳酸、氨、尿素、葡萄糖、甘油與非酯化脂肪酸無顯著影響。

## 第四節 研究範圍與限制

- 一、本研究測驗內容為模擬手球比賽間歇性運動型態，將實驗接近比賽之節奏，只能與手球運動型態雷同。
- 二、本研究於運動測試過程，盡量以口頭告知受測者必須以最大努力完成每個動作且於規定時間內完成。
- 三、受測者採自由生活作息，僅能口頭提醒受測者控制飲食盡量不熬夜及吃消夜，並避免高蛋白營養品。

## 第二章 文獻探討

### 第一節 支鏈胺基酸對於運動的影響

支鏈胺基酸 (branched-chain amino acid, BCAA) 包含了白胺酸 (leucine)、異白胺酸 (isoleucine) 以及纈胺酸 (valine)，是人體的必需胺基酸，須從飲食中攝取，無法於體內自行合成。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)。

BCAA 在運動時利用轉胺作用 (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)，alanine 由肌肉經血液循環至肝臟代謝，alanine 進入肝臟後會轉變成 pyruvate，同時將胺基轉移至 glutamate 上，進入尿素循環形成尿素排出體外，肝臟中的 pyruvate 則會進行醣質新生作用 (gluconeogenesis) 生成葡萄糖，再經由血液輸送至肌肉中做為能量來源 (Layman, 2002，如圖一)。

在過去研究發現，運動時補充 BCAA 可能有助於延緩中樞疲勞，促進肌肉蛋白質合成，同時減少肌肉蛋白質分解 (Matsumoto et al., 2007)，亦有少數研究發現可能可以降低運動引起的肌肉損傷 (Shimomura et al., 2006)。因此，補充 BCAA 可能有助於運動員保持良好的生理狀況，甚至提升運動表現。

#### 一、支鏈胺基酸與肌肉損傷

當激烈運動時會迫使肌肉拉長產生高張力，使肌纖維或結締組織受到輕微的損傷，導致肌肉痠痛、腫脹、關節活動範圍變小、肌力減退等症狀，這些症狀大約在運動後的 24~48 小時最為明顯，稱為延遲性肌肉酸痛 (delayed-onset muscle soreness, DOMS) (Armstrong, 1984)。一般評估肌肉損傷常用之生化指標包括肌酸激酶 (creatine kinase, CK)、乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 及肌紅蛋白 (myoglobin, Mb) 等。運動後所造成的肌肉損傷，可能會使運動員無法繼續在競賽當中呈現顛峰狀態，或影響後續的運動表現。

Greer、Woodard、White、Arguello 與 Haymes (2007) 以 9 名未經訓練的男性進行 90 分鐘腳踏車運動 (55%  $VO_2$  peak)，分別在運動前 60 分鐘攝取碳水化合物 (200 kcal)、2.5 g BCAA (480 mg isoleucine、1.22 g leucine、730 mg valine) 或安慰劑 (無熱量飲料)，並且於運動前和運動後立即、4 小時、24 小時及 48 小時進行膝關節屈伸 (maximal-voluntary-contraction, MVC) 及自覺疼痛等級，與測量血液 CK 和 LDH 活性，結果發現 BCAA 組在運動後 4 小時、24 小時及 48 小時 CK 活性顯著低於安慰劑組，以及運動後 24 小時也顯著低於 CHO 組，BCAA 組 LDH 活性在運動後 4 小時亦低於安慰劑組，另外，BCAA 組在運動後 24 小時也有較低的自覺疼痛等級。

Coombes 與 McNaughton (2000) 以 16 名健康男性進行 70%  $VO_2$  max 腳踏車運動持續 120 分鐘，BCAA 組為正常飲食加上早、晚餐各服用 6 g BCAA (33.3% Leu、33.3% Ile、33.3% Val)，共持續 14 天，安慰劑組則為正常飲食，運動測試則是在第 7 天進行，並且在運動測試前及運動後額外補充

20 g BCAA，研究結果發現 BCAA 組運動後 CK（運動後 4 小時到第五天）、LDH（運動後 2 小時到第五天）活性均顯著較低。

Koba et al. (2007) 利用 8 名長跑選手以交叉實驗設計進行兩次測試，每次訓練為期 5 天，分別間隔一週，BCAA 組在第一至四天早上、下午及晚餐後攝取 2 g BCAA（1 g Leu、0.5 g Ile、0.5 g Val）和 0.5 g Arg 及 20 g CHO，安慰劑組為 2.5 g 麥芽糊精。運動測試在第四天下午進行 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 公里處沒有任何限制攝取量，研究結果顯示 BCAA 組之 LDH 活性顯著低於安慰劑組，CK 活性則無顯著差異。

綜合以上文獻，補充 BCAA 可能可以減輕長時間耐力運動之肌肉損傷，可能機轉為 BCAA 會刺激蛋白質同化荷爾蒙 (anabolic hormones) 釋放，或抑制蛋白質水解 (proteolysis) (Carli et al., 1992)，而 leucine 可刺激肌肉蛋白質的合成 (Norton & Layman, 2006；Mero, 1999；Lynch et al., 2003；Matthews, 2005)。

## 二、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，週邊疲勞主要發生於骨骼肌，原因包括肌肉內磷酸肌酸與肝醣減少、肌肉內 pH 下降，影響能量代謝過程。在劇烈運動時，大量 ATP 轉變為 ADP、AMP，為避免 AMP 累積，影響 ATP 水解，嘌呤核苷酸循環 (purine nucleotide cycle) 活性增加，AMP 會利用脫去胺基生成次黃嘌呤核苷酸 (Inosine Monophosphate, IMP)，導致大量氮堆積與擴散至血液中 (Graham, Turcotte,

Kiens, & Richter, 1997), 氨能夠通過血腦屏障 (blood-brain barrier, BBB), 進入腦組織影響中樞神經系統, 產生疲勞的感覺限制運動表現 (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。目前已證實大腦中神經傳遞物質血清素 (serotonin 或 5-hydroxytryptamine, 簡稱 5-HT) 可導致疲勞 (Blomstrand, Hassmén, Ekblom, & Newsholme, 1991)。

於長時間運動中, 隨著有氧代謝比例增加, 促使體內分解三酸甘油脂, 形成脂肪酸以供應能量, 當游離脂肪酸 (free fatty acid, FFA) 增加, 會與色胺酸互相競爭白蛋白結合, 造成血液中游離色胺酸 (free tryptophan, fTrp) 增加 (Davis et al., 1992), fTrp 會與 BCAA 競爭同一個轉運體 (L-system), 通過 BBB 進入腦中, 若 fTrp 進入腦中, 與神經突觸之接收器結合, 則腦部合成增加 5-HT, 5-HT 則會影響中樞神經興奮 (Arousal), 引起睡意 (sleepiness) 和情緒 (mood) 等 (Davis, Alderson, & Welsh, 2000; Silber & Schmitt, 2010), 導致中樞神經疲勞 (Blomstrand, Moller, Secher, & Nybo, 2005)。此外, 當肌肉肝醣被耗盡, 體內也會利用蛋白質作為能量來源, 造成血漿中 BCAA 下降的情形, 促使 fTrp/BCAA 比值上升 (Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 1988)。因此, 若藉由補充 BCAA 提升血漿 BCAA 濃度, 降低血液中 fTrp/BCAA 比值, 減少色胺酸進入腦中合成 5-HT, 可能可以減緩中樞疲勞 (Davis, 1995)。但有一研究將 10 位受過訓練的男性受試者分別補充 3 g 色胺酸、6 g BCAA 以及 18 g BCAA, 進行 70%~75% 最大輸出功率腳踏車運動直到衰竭, 結果顯示 BCAA 組減少色胺酸濃度, 而補充色胺酸組色胺酸

濃度則增加 7~20 倍，但補充 BCAA 或色胺酸對運動表現皆無影響 (VanHall, Raaymakers, Saris, & Wagenmakers, 1995); 也有其他研究顯示攝取色胺酸對耐力運動表現無負面影響 (Segura & Ventura, 1988)，目前針對此部分仍需進一步探討。

過去部分研究指出，補充 BCAA 可能提高體內 BCAA 氧化作用，造成血氨濃度增加 (MacLean & Graham, 1993)，進而導致週邊疲勞與中樞疲勞。Blomstrand (2006) 指出高劑量 BCAA (20~30 g) 會導致血氨濃度增加，而較低劑量 BCAA (7~10 g, 100 mg/kg) 在運動期間及恢復時，肌肉中則沒有釋放大量的氨。MacLean、Graham 與 Saltin (1996) 補充高劑量 BCAA (308 mg/kg)，持續 90 分鐘 64% 最大膝伸肌運動，探討對肌肉中氨代謝的影響，結果發現補充 BCAA 可增加血漿中 BCAA 濃度，及運動時肌肉對 BCAA 的吸收，但顯著提高肌肉中氨濃度，亦有較高的丙胺酸 (alanine) 與麩醯胺 (glutamine)，及較低的乳酸，並顯示在非最大運動的血氨，主要來自 BCAA 在肌肉中的降解。；MacLean、Graham 與 Salin (1994) 利用 5 名男性進行 70% 最大膝伸肌運動兩回合，於每回合中間休息 45 分鐘，並補充 77 mg/kg BCAA，結果顯示補充 BCAA 在運動中會增加肌肉中氨的濃度，此外，發現 BCAA 濃度的增加，有助於在運動時抑制內源性肌肉蛋白質分解。Madsen、MacLean、Kiens 與 Christensen (1996) 利用 9 名男性自由車選手進行最大努力完成 100 公里自行車運動，分別進行為葡萄糖組 (5% 碳水化合物) 與 BCAA 組 (5% 碳水化合物加上 18 g BCAA) 及安慰劑組，結果發現 BCAA 組顯著增加血漿中氨的濃度，對運動表現則無顯著影

響。因此，補充高劑量 BCAA (20~30 g) 可能會造成氨濃度增加 (Blomstrand, 2006)，可能會抵銷 BCAA 透過降低 fTrp/BCAA，延緩中樞疲勞的功用，而無法顯現增補 BCAA 的效果。

### 三、支鏈胺基酸與運動表現

Mittleman、Ricci 與 Bailey (1998) 利用 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  $15.8 \pm 1.1$  g，女性  $9.4 \pm 0.8$  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。Mourier et al. (1997) 將 25 位受過訓練角力選手進行飲食控制，限制每日熱量攝取 (28 kcal/kg/day) 持續 19 天，分成低熱量控制組 (hC, n=6)、低熱量高蛋白質 (hHP, n=7)、低熱量高 BCAA (hBCAA, n=6)、低熱量低蛋白質 (hLP, n=6) 以及控制組 (n=6) 後，在飲食限制前與 19 天後測量體脂肪、脂肪組織及磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)，研究發現補充 BCAA 組可顯著降低脂肪組織及體重，並可維持高水準的運動表現。

Blomstrand、Hassmen、Ek、Ekblom 與 Newsholme (1997) 將 7 名自行車運動員進行 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 於運動期間每 15 分鐘補充一次 150~200 ml (7 g/L)，BCAA 總攝取量為 90 mg/kg (~6.5 g)。結果顯示 BCAA 組顯著降低運動誘發的

fTrp/BCAA 比值，運動自覺量表 (ratings of perceived exertion, RPE) 與心理自覺量表 (ratings of mental fatigue) 皆顯著低於安慰劑組，亦改善運動後的認知表現 (color word test, CWT) 得分。Blomstrand et al. (1991) 以 25 位男性為對象進行 30 公里越野賽，及 193 位男性進行馬拉松，越野賽受測者在運動前補充 7.5 g BCAA，馬拉松受測者補充 16 g BCAA，結果發現在馬拉松比賽跑得比較慢 (3.05 h- 3.30 h) 的受測者，補充 BCAA 可顯著提升運動表現，而參與越野賽者在認知表現 (CWT) 上也有顯著改善。由以上文獻顯示，對於長時間運動補充 BCAA 可減少運動誘發的 fTrp/BCAA 比值，降低腦部 5-HT 合成，進而有效維持認知表現與提升運動衰竭時間。

另一方面也有研究發現補充 BCAA 對於運動表現無法提升運動表現的效果，Watson、Shirreffs 與 Maughan (2004) 利用 8 名健康男性受測者在熱環境下 (30°C) 進行 50% VO<sub>2</sub> 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 組在運動前顯著增加 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、血乳酸及血糖則無顯著差異。Cheuvront et al. (2004) 利用 7 名健康男性在第一天早上進行 50-90% 最大輸出功率持續 90 分鐘，下午於熱環境 (40°C) 下進行 2-3 小時跑步運動，降低體內肌肝醣含量，並讓身體脫水 (4% 體重)，第二天進行 50% VO<sub>2</sub> peak 腳踏車運動持續 60 分鐘，隨後進行 30 分鐘 time trial，分別在運動前及運動中每隔 15 分鐘攝取 BCAA (60 g 葡萄糖與 10 g BCAA) 或安慰劑 (60 g 葡萄

糖與 10 g 麥芽糊精)，結果顯示 BCAA 組顯著降低 fTrp/BCAA 比值，但在認知表現及運動表現則無顯著影響。因此，對於補充 BCAA 對於運動表現無顯著影響的原因之一，可能是 BCAA 的氧化使血漿氨濃度增加，導致週邊疲勞與中樞疲勞的產生，以致無法提升運動表現。

亦有研究探討補充 BCAA 對高強度間歇性運動的影響，Davis、Welsh、Volve 與 Alderson (1999) 利用 3 名男性和 5 名女性進行間歇性折返跑（包含走路、55% VO<sub>2</sub>max 慢跑、95% VO<sub>2</sub>max 跑及衝刺）直到衰竭，實驗交叉設計分為碳水化合物組 (CHO)、BCAA 組及安慰劑組，CHO 組於運動前 1 小時和運動前立即攝取 5 ml/kg (20% CHO)，並於運動期間攝取 2 ml/kg (6% CHO)，BCAA 組於運動前 1 小時攝取 5 ml/kg (20% CHO 與 7 g BCAA：40% Val、35% Leu、25% Ile) 及運動前立即攝取 5 ml/kg (6% CHO 與 7 g BCAA)，結果顯示 CHO 組與 BCAA 組血漿中葡萄糖與胰島素顯著高於安慰劑組，FFA 顯著低於安慰劑組，且 CHO 組或 CHO+BCAA 組皆顯著提升運動表現。因此，對於間歇性運動補充 BCAA 或許可以有效提升運動表現，但目前對於這方面研究相當有限，仍須進一步探討。

## 第二節 精胺酸對於運動代謝的影響

在運動期間大量產生乳酸及氨的堆積，造成運動誘發高血氨症，可能是導致運動疲勞的原因之一，氨的排除主要為形成尿素排出體外，尿素會在肝臟中經由尿素循環 (urea cycle) 形成，會釋放至血液，由腎臟或汗腺排除。

過去研究發現補充精胺酸可能可以減少運動誘發的氮及乳酸堆積 (Schaefer et al., 2002 ; Doutreleau et al., 2005) , 精胺酸為尿素循環的中間產物 , 經由精胺酸酶 (arginase) 分解產生鳥氨酸 (ornithine) 及尿素 , 因此 , 可能可以藉由精胺酸提高尿素循環作用 , 增加血氮代謝成尿素排出體外 (Tsuei et al., 2005) 。

在另一方面 , 精胺酸是一氧化氮 (nitric oxide, NO) 的前驅物 , 體內 NO 的產生是由精胺酸經一氧化氮合成酶 (nitric oxide synthase, NOS) 催化 , 產生 NO 及中間產物 - 瓜氨酸 (L-citrulline) , 而內皮細胞所產生的 NO 具有調節血管擴張與局部血流量的作用 (Endemann & Schiffrin, 2004) 。因此 , 補充精胺酸可能可以提高 NO 合成作用 , 促進血管內皮擴張 , 加速血乳酸及氮的移除 , 延緩運動疲勞產生 , 甚至提升運動表現 (Bednarz et al., 2000) 。

Schaefer et al. (2002) 利用 8 名健康男性 , 進行腳踏測功計漸增性至最大輸出功率之測試 , 於運動前 90 分鐘以靜脈注射 3 g 精胺酸。結果顯示補充精胺酸顯著降低運動誘發的血乳酸及氮濃度 , 並且在運動後顯著增加瓜氨酸濃度 , 且乳酸與瓜氨酸呈現負相關 , 認為此現象支持精胺酸在運動中可能提高一氧化氮 (nitric oxide, NO) 途徑 , 並加速氮與乳酸的移除。

Eto、Peres 與 Le Moel (1994) 以 3 名健康男性進行 75%~80%  $VO_2$ max 腳踏車測功計持續 30 分鐘 , 於運動前 30 分鐘口服 20 g 麩胺酸-精胺酸 (glutamate-arginine) 或安慰劑 , 結果顯示麩胺酸-精胺酸組在運動後血氮增加量顯著低於安慰劑組 , 認為麩胺酸-精胺酸可能可以降低生理疲勞。另一

個研究將 16 名男性分為精胺酸 - 天門冬胺酸 (L-arginine-L-aspartate) 組和安慰劑組，先進行非最大腳踏車測功計測試，運動一開始設為 50 W，每 3 分鐘增加 50W 直到 150W，之後攝取 3 g/d 精胺酸 - 天門冬胺酸，持續三週，再進行相同測試，結果顯示攝取精胺酸 - 天門冬胺酸在 100W 和 150W 顯著降低血乳酸濃度，且可提高氧攝取量，作者認為精胺酸可能抑制醣解作用，減少乳酸濃度，天門冬胺酸則可能有利於脂肪酸氧化 (Burtscher, Brunner, Faulhaber, Hotter, & Likar, 2005)。另一方面，Bescos et al. (2009) 利用 9 名男性網球選手以交叉實驗設計分為 3 組，分別為飲食控制組 (精胺酸  $5.5 \pm 0.3$  g/d) 和飲食第一組 (富含精胺酸食物， $9.0 \pm 1.1$  g/d) 及飲食第二組 (與飲食控制組相同飲食，加上補充 15 g/d 精胺酸)，連續 3 天的飲食控制後，進行漸增性跑步 (開始速度 10-11 km/hr，每 4 分鐘增加 1 km/hr 直到 85%~90%  $VO_2$ max，每階級休息 2 分鐘)，結果顯示飲食富含精氨酸食物或補充高劑量精胺酸，皆對運動表現無顯著影響。

Liu et al. (2008) 利用 12 名男性柔道選手進行間歇運動模式，模擬柔道實際比賽，實驗交叉設計進行兩次測試，分別為測試前口服 6 g 精胺酸或安慰劑，為期 3 天，第 3 天補充精胺酸或安慰劑後，於 60 分鐘後進行運動測試，利用腳踏車運動以 20 秒全力衝刺，15 秒休息相互交替，先進行 9 組後休息 1 分鐘，再進行 4 組，結果顯示短期補充精胺酸對於 NO 合成作用、乳酸與氨的代謝以及反覆高強度無氧運動之最大功率、平均功率皆無顯著影響。

大部分補充精胺酸之研究多以心血管疾病患者為對象，Doutreleau et al. (2006) 以心臟衰竭疾病患者口服 6 週精胺酸，進行漸增性最大運動強度與 30 分鐘耐力運動測試，顯示補充精胺酸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每日補充精胺酸 6 g，為期 3 天，亦具有顯著提升運動持續時間的效果 (Bednarz et al., 2000)。因此，補充精胺酸可能可以藉由提高 NO 合成作用，促進血管內皮擴張加速血液中疲勞物質代謝，以及提高尿素循環作用將氨排出體外，對心血管疾病患者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，仍需進一步探討。

## 第三章 研究方法與步驟

### 第一節 實驗對象

本研究對象為國立臺灣體育學院男子手球代表隊(甲組)共 15 名，曾獲得 97 學年全國大專院校手球錦標賽冠軍，所有受測者皆參與正規手球訓練至少 7 年。本研究通過國立臺灣體育學院人體試驗委員會的審核，於實驗前告知受測者實驗之目的、流程及風險，並簽署研究同意書。

### 第二節 實驗設計

本研究採隨機交叉設計，每位受測者皆進行兩次 trial，分別為 AA trial (0.17 g/kg BCAA；Leu：Ile：Val = 2：1：1，與 0.04 g/kg Arg)，或 placebo trial (2~3 顆膠囊，含低筋麵粉)，每次 trial 為期二天。於運動測試前一小時補充 BCAA 與 Arg 或安慰劑，且運動前、後皆進行反應測試(實驗流程如圖二)。AA trial 及 placebo trial 至少間隔 8 天 wash out 期。

### 第三節 飲食及身體活動控制

運動測驗前一天中餐及晚餐與運動測驗之兩天期間皆食用本實驗室提供的餐點。每位受測者在兩次 trial，皆食用相同的量及菜色，中餐及晚餐為 3 菜 1 肉之自助餐便當(每餐熱量約 780 大卡，醣類 45.7%，蛋白質 22.1%，脂肪 31.2%)，早餐為土司 1.2 g/kg，草莓果醬 0.1 g/kg，奶油 0.1 g/kg，及豆漿 5 ml/kg(熱量為 6.2 kcal/kg，含醣類 1 g/kg，蛋白質 0.24 g/kg，脂肪 0.14 g/kg，品牌分別為楓康白吐司、康寶草莓果醬、乳瑪琳、統一陽光黃金豆漿，附錄一)。受測者

於每次運動測試前一天晚上 10 點過後須禁食，在測試當天空腹至實驗室採血後，再食用早餐。

運動測驗前兩天皆避免運動訓練及從事任何劇烈身體活動，以預防影響肌肉損傷生化指標之結果，在運動測驗之兩天期間，亦避免從事測驗以外之劇烈身體活動。

#### 第四節 實驗步驟

受測者經過隔夜禁食，於測試當日早晨空腹至實驗室，由合格醫護人員自手肘靜脈處採集約 10 毫升血液後，再食用早餐，於 15 分鐘內食用完畢，隨後進行反應測試。受測者在運動測試前一小時飲用實驗飲料，將 BCAA 溶於 250 ml 葡萄調味水（200 ml 水加上 50 ml 葡萄汁，品牌為楓康 100% 葡萄汁），加上膜衣錠的精胺酸；安慰劑則以低筋麵粉裝入膠囊，及飲用葡萄調味水，受試者需於 5 分鐘內飲用完畢。於運動測試結束後立即採集血液，接著立刻進行反應測試，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，但運動後 2 小時未收集血液樣本。

#### 第五節 反應測驗與運動測試

##### 一、反應測試

反應測試目的為測量受測者是否因中樞疲勞而造成反應上的遲緩，或無法做出正確的判斷，共進行三種測試。

##### （一）耳手反應

時間共 1 分鐘，使用 CATSYS 2000 System (Snekkersten, Denmark)，受測者聽到“嗶”聲，立刻以慣用手按鍵，於 1 分鐘內會隨機出現約 15 次之“嗶”聲（附錄二），記錄平均

反應時間。

### (二) 無指定位置反應 (Visual vigilance)

根據文獻之測試內容 (Lieberman et al., 2006; Mahoney, Castellani, Kramer, Young, & Lieberman, 2007)，由本校電算中心郭瑞庭主任協助撰寫程式，在 IBM 相容之筆記型電腦上執行。受試者看到螢幕上出現亮點時，即按下電腦的空白鍵，每個亮點間隔約 15~20 秒，在 5 分鐘內共會出現 20 次亮點，記錄平均反應時間。

### (三) 四象限反應 (4-choice visual reaction time)

根據文獻之測試內容 (Lieberman et al., 2006; Mahoney et al., 2007)，由本校電算中心郭瑞庭主任協助撰寫程式，在 IBM 相容之筆記型電腦上執行。將螢幕分為 4 個象限，受試者看見亮點出現在特定象限，即按下代表相對位置的 Q、W、A、S 鍵，亮點約每 3 秒出現一次，在 5 分鐘內共會出現 100 次 (附錄三)。記錄平均反應時間，以及象限位置之正確率。

## 二、運動測試

運動測試以間歇性運動模擬手球比賽之型態，上、下半場各 30 分鐘，中間休息 10 分鐘。運動測試內容以 2 分鐘為一組，每 2 分鐘進行 1 次 20 公尺衝刺計時，整個流程如下：  
(1) 10 秒內完成 3 公尺側移來回 3 趟；(2) 20 公尺快跑在 5 秒內完成；(3) 定點傳球五顆加 1 次跳躍射門，時間為 10 秒；(4) 再進行 10 秒鐘的 20 公尺慢跑；(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) 進行 10 秒；(6) 20 公尺快跑 5 秒；(7) 定點傳球 8 顆，10 秒內完成；(8) 20 公尺慢跑 15 秒；(9) 20 公尺全力衝刺，利用攜帶式體能測

試儀 (New-test Powertimers 300-series, Oulu, Finland) 測量每 20 公尺衝刺時間，衝刺完約休息 40 秒 (圖三)。上、下半場各完成 15 趟之衝刺。在運動測試時，受測者配戴心率錶 (S725X cycling computer, Polar, Oulu, Finland)，記錄每分鐘心跳率，中場休息時需紀錄第一次運動測試飲水的量，於第二次測試時，必須與第一次測試飲水的量相同 (如表二)；並且在中場休息及運動後詢問自覺量表 (Rating of Perceived Exertion, RPE)。

### 第六節 最大攝氧量測量

在正式實驗之前，每位受測者均進行以漸增式 20 公尺節奏跑 (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988) 預估最大攝氧量的測試。使用 CD 手提音響，發出一系列的“嗶”聲，控制跑步速度。每一次“嗶”聲，受測者必需通過 20 公尺的距離 (雙腳要越過 20 公尺線)，同時轉向折返跑回。跑步速度要與“嗶”聲一致，速度以每 500 公尺漸進增快。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；如果受測者在連續兩趟無法跟上節奏，將停止測驗，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攝氧量，各階段之速度如附錄四。攝氧量換算公式為  $y = 5.857x - 19.458$ ， $y =$  攝氧量 (ml/kg/min)， $x =$  速度 (km/h)。

### 第七節 血液採集與分析

採集 AA trial 或 placebo trial 之第一天運動前、運動後立即及運動後 2 小時及第二天運動前與運動後立即。取前臂

靜脈血液 10ml 至 EDTA 採血管中，全血以自動血球分析儀 (Sysmex KX-21N, Kobe, Japan) 檢測血紅素 (Hemoglobin, Hb) 及血容比 (Hematocrit, Hct)，作為運動中血漿量改變之校正用途。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。血液分析項目包含肌酸激酶、乳酸脫氫酶、乳酸、氨、葡萄糖、甘油、非酯化脂肪酸與尿素，瞭解受測者運動與恢復期間肌肉損傷與能量代謝狀況。

## 一、各項血液生化值檢驗

### (一) 肌酸激酶 (creatine kinase, CK) 活性

血漿中 CK 活性採用 CK 活性檢定用體外診斷藥品 (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) 乳酸脫氫酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 活性

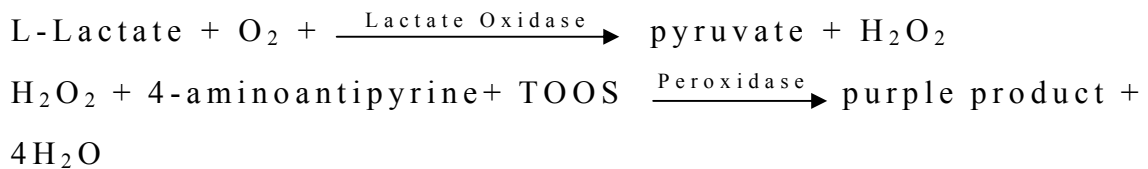
血漿中 LDH 活性採用乳酸脫氫酶測定試劑 (20300AMZ00410, Shino, Tokyo, Japan)，以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020)，吸光值波長 340 nm，化學反應原理如下：



### (三) 乳酸 (lactate) 濃度

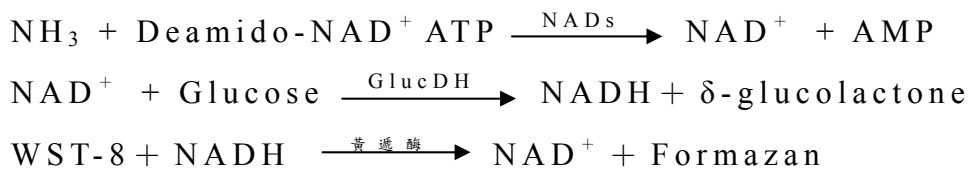
血漿中乳酸濃度以商業試劑進行操作 (Randox Co.,

Antrim, United Kingdom) 以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020)，吸光值波長 550 nm，化學反應原理如下：



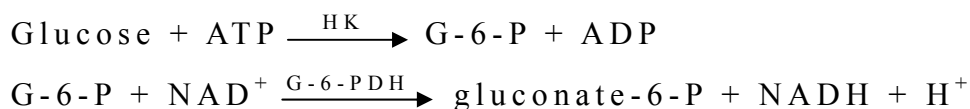
#### (四) 氨 (NH<sub>3</sub>) 濃度

血漿中氨濃度以商業試劑測量進行操作 (Kanto Chemical CO., Kanagawa, Japan)，以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020)，吸光值波長 450 nm，化學反應原理如下：



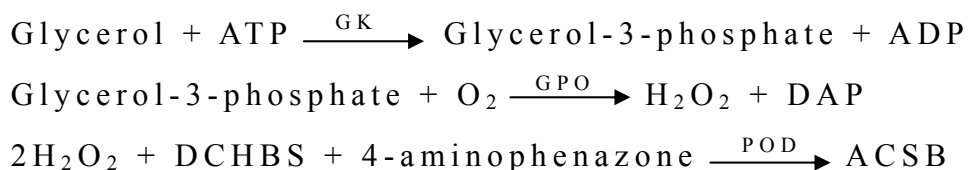
#### (五) 葡萄糖 (glucose) 濃度

血漿中葡萄糖濃度以商業試劑 (Quick Auto Neo Glu-HK) 進行操作及反應 (Shino, Tokyo, Japan)，以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020)，吸光值波長 340 nm，副波長 450 nm，化學反應原理如下：

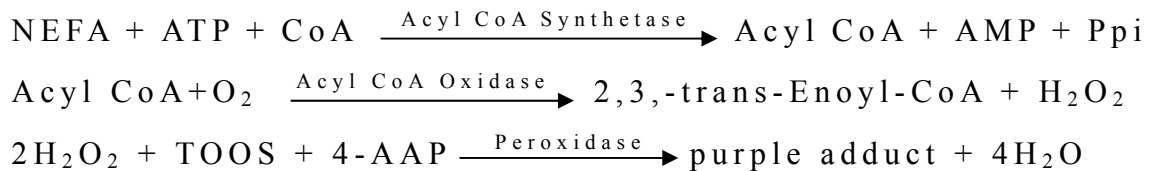


#### (六) 甘油 (glycerol) 濃度

血漿中甘油濃度，以商業試劑進行操作 (Randox Co.)，以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020)，吸光值波長 520 nm，化學反應原理如下：

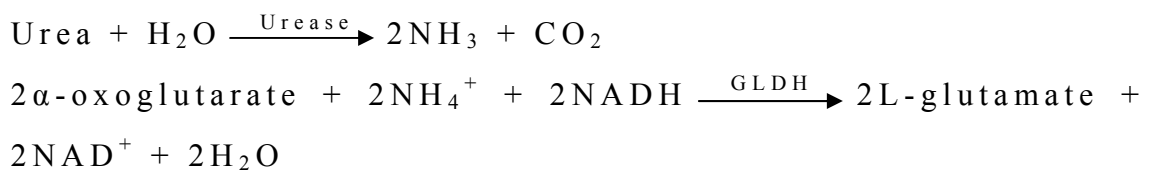


(七) 非酯化脂肪酸 (non-esterified fatty acid, NEFA) 濃度  
 血漿中非酯化脂肪酸的濃度以商業試劑進行操作及反應  
 (Wako, Osaka, Japan), 以全自動生化分析儀檢測 (Hitachi  
 7020), 吸光值波長 550 nm, 化學反應原理如下:



(八) 尿素 (urea) 濃度

血漿中尿酸濃度以商業試劑進行操作 (Randox Co.) 以  
 全自動生化分析儀檢測 (Hitachi 7020), 吸光值波長 340  
 nm, 化學反應原理如下:



## 第八節 血漿體積校正方法

採集 10ml 血液至 EDTA 採血管中, 以自動血球分析儀  
 (Sysmex KX-21N, Kobe, Japan) 檢測 Hb 與 Hct, 計算血漿變化  
 量, 血漿變化量校正公式如下 (Dill & Costill, 1974):

$$\Delta \text{PV}(\%) = 100 \times \left[ \frac{\text{Hbpre} \times (100 - \text{Hctpost})}{\text{Hbpost} \times (100 - \text{Hctpre})} \right]$$

( PV = 血漿變化量, Hb = 血紅素, Hct = 血容比 )

校正後數據 = 原始數據  $\times$  (100 +  $\Delta$  PV) %。

## 第九節 資料分析

使用 SPSS 10.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 統計軟體分析，所有資料以平均值±標準誤呈現。運動測試將上下半場各15次的衝刺，計算每5趟衝刺平均時間，將每5趟20公尺衝刺平均時間計算改變率，計算公式如下：

$\% \text{ change} = [(\text{第二天} - \text{第一天}) / \text{第一天}] \times 100\%$ 。

運動測試、反應時間及自覺量表以相依樣本 T 檢定分析，並以重複量數二因子變異數分析血漿生化值各組間的差異，若主要效應 (main effect) 達顯著，則以 Ryan-Holm-Bonferroni 法進行事後比較 (Atkinson, 2002)，統計顯著水準定為  $\alpha < 0.05$ 。

## 第四章 結果

### 第一節 受試者基本資料

受試者基本資料如表一，本研究共 15 位受測者，平均年齡  $21.1 \pm 0.9$  歲，身高  $179.6 \pm 6.4$  公分，體重  $78.3 \pm 11.3$  公斤，球齡為  $11.1 \pm 1.9$  年，體脂肪率  $15.7 \pm 4.7\%$ ，最大攝氧量  $52.3 \pm 4.4$  ml/kg/min。

### 第二節 運動表現

AA trial 與 placebo trial 兩天運動測試每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間如圖四，AA trial 與 placebo trial 之間的 20 公尺衝刺時間無顯著差異。

運動表現每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間改變率 (% change) 如圖五，AA trial 於第 21-25 趟衝刺時間改變率顯著快於 placebo trial ( $-1.085 \pm 0.8\%$  vs  $0.535 \pm 0.5\%$ ， $p=0.023$ )。

### 第三節 血液生化值

#### 一、CK、LDH 活性

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 CK 活性如圖六，僅時間效應達顯著 ( $p < 0.001$ )，AA trial 與 placebo trial 血漿 CK 活性於第一天及第二天運動後皆顯著高於運動前 (AA trial 第一天運動前  $153 \pm 16$  U/L，運動後  $211 \pm 20$  U/L；第二天運動前  $243 \pm 31$  U/L，運動後  $321 \pm 44$  U/L；placebo trial 第一天運動前  $154 \pm 25$  U/L，運動後  $211 \pm 28$  U/L；第二天運動前  $219 \pm 28$  U/L，運動後  $288 \pm 29$  U/L)；AA trial 與 placebo trial 第二天運動前及皆顯著高於第一天運動前 (AA trial 第一天

運動前  $153 \pm 16$  U/L，第二天運動前  $243 \pm 31$  U/L；placebo trial 第一天運動前  $154 \pm 25$  U/L，第二天運動前  $219 \pm 28$  U/L)。處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p=0.634$  and  $0.432$ )。

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 LDH 活性如圖七，僅時間效應達顯著 ( $p<0.001$ )，AA trial 與 placebo trial 於第一天及第二天運動後皆顯著高於運動前 (AA trial 第一天運動前  $662 \pm 20$  U/L，運動後  $759 \pm 29$  U/L，第二天運動前  $606 \pm 32$  U/L，運動後  $843 \pm 36$  U/L；placebo trial 第一天運動前  $616 \pm 21$  U/L，運動後  $796 \pm 47$  U/L，第二天運動前  $579 \pm 31$  U/L，運動後  $819 \pm 44$  U/L)。處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p=0.752$  and  $0.724$ )。

## 二、lactate、NH<sub>3</sub>、urea 濃度

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NH<sub>3</sub> 濃度如圖八，處置效應、時間效應、時間 $\times$ 處置效應均達顯著。AA trial 第一天及第二天運動後皆顯著高於 placebo trial (第一天  $167 \pm 9$  vs  $135 \pm 6$   $\mu$ M， $p<0.001$ ；第二天  $164 \pm 8$  vs  $128 \pm 7$   $\mu$ M， $p<0.001$ )。AA trial 與 placebo trial 於運動後皆顯著高於運動前 (AA trial 第一天運動前  $115 \pm 8$   $\mu$ M，運動後  $167 \pm 9$   $\mu$ M，第二天運動前  $103 \pm 6$   $\mu$ M，運動後  $164 \pm 8$   $\mu$ M；placebo trial 第一天運動前  $105 \pm 8$   $\mu$ M，運動後  $135 \pm 6$   $\mu$ M，第二天運動前  $99 \pm 7$   $\mu$ M，運動後  $128 \pm 7$   $\mu$ M)

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 lactate 濃度如圖九，僅時間效應達顯著 ( $p<0.001$ )，處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p=0.593$  and  $0.935$ )。

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 urea 濃度如圖

十，僅時間效應達顯著 ( $p < 0.001$ )，處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p = 0.864$  and  $0.223$ )。

### 三、Glucose、Glycerol、NEFA 濃度

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 glucose 濃度如圖十一，僅時間效應達顯著 ( $p < 0.001$ )，處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p = 0.987$  and  $0.824$ )。

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 Glycerol 濃度如圖十二，僅時間效應達顯著 ( $p < 0.001$ )，處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p = 0.286$  and  $0.107$ )。

各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NEFA 濃度如圖十三，僅時間效應達顯著 ( $p < 0.001$ )，處置效應與時間 $\times$ 處置效應則無顯著 ( $p = 0.149$  and  $0.058$ )。

## 第四節 反應測試

### 一、耳手反應

AA trial 與 placebo trial 運動前及運動後之聽力反應時間如圖十四，AA trial 與 placebo trial 之間於兩天的運動前及運動後聽力反應時間無顯著差異。

### 二、眼手反應

AA trial 與 placebo trial 運動前及運動後之無指定位置反應時間如圖十五，AA trial 與 placebo trial 之間於兩天的運動前及運動後反應時間無顯著差異。

AA trial 與 placebo trial 運動前及運動後之四象限反應時間如圖十六，AA trial 與 placebo trial 之間於第二天運動後反應時間達顯著 ( $p = 0.036$ )。

AA trial 與 placebo trial 運動前及運動後之四象限反應測試準確率如圖十七，AA trial 與 placebo trial 之間於兩天的運動前及運動後準確率無顯著差異。

## 第五節 心跳率與自覺量表

### 一、心跳率

AA trial 與 placebo trial 運動測試期間之每分鐘平均心跳率如圖十八。AA trial 與 placebo trial 第一天運動測試之平均心跳率分別為  $154 \pm 2$  bpm 與  $151 \pm 2$  bpm，第二天 AA trial 與 placebo trial 運動測試之平均心跳率為  $150 \pm 2$  bpm 與  $146 \pm 2$  bpm。

### 二、自覺量表

AA trial 與 placebo trial 於中場休息及運動結束之自覺量表如圖十九，AA trial 與 placebo trial 第一天及第二天在模擬比賽結束之 RPE 皆顯著高於中場休息（AA trial 第一天  $15.3 \pm 0.5$  vs  $14.2 \pm 0.4$ ， $p=0.006$ ，第二天  $15.6 \pm 0.6$  vs  $14.2 \pm 0.4$ ， $p=0.005$ ；placebo trial 第一天  $16.1 \pm 0.5$  vs  $14.5 \pm 0.3$ ， $p=0.004$ ，第二天  $16.8 \pm 0.5$  vs  $15.4 \pm 0.6$ ， $p=0.012$ ）。AA trial 在第二天運動後 RPE 顯著低於 placebo trial 第二天運動後（ $15.6 \pm 0.6$  vs  $16.8 \pm 0.5$ ， $p=0.011$ ）。placebo trial 在第二天運動後 RPE 顯著高於第一天運動後（ $16.8 \pm 0.5$  vs  $16.1 \pm 0.5$ ， $p=0.004$ ），AA trial 則無顯著差異。

AA trial 與 placebo trial 於運動測試之平均 RPE 如圖二十，placebo trial 第二天 RPE 顯著高於第一天（ $16.1 \pm 0.5$  vs  $15.3 \pm 0.3$ ， $p=0.025$ ），AA trial 則無顯著差異。第二天 RPE

AA trial 顯著低於 placebo trial ( $14.9 \pm 0.4$  vs  $16.1 \pm 0.5$ ,  $p=0.018$ )。

## 第五章 討論

本研究的結果顯示，在運動前補充 BCAA 與 Arg 可能可以增進第二天的運動表現，降低 RPE 得分以及四象限反應時間有較快的表現，此結果可能為達到延緩中樞疲勞之效果，但對於降低運動後肌肉損傷程度，及減少血氨與乳酸濃度則沒有顯著的影響。

本研究補充 BCAA 與 Arg 在第二天 20 公尺衝刺時間呈現較快的趨勢，相較於第一天，AA trial 在第二天運動表現之第 21-25 趟改變率顯著快於 placebo trial ( $-1.085 \pm 0.8\%$  vs  $0.535 \pm 0.5\%$ ,  $p=0.023$ )，在 RPE 的部分，AA trial 在第二天 RPE 為顯著低於 placebo trial ( $14.9 \pm 1.4$  vs  $16.1 \pm 1.6$ ,  $p=0.018$ )，顯示補充 BCAA+Arg 可能可以達到延緩中樞疲勞，進而促進第二天的運動表現。過去的研究顯示，Mittleman et al. (1998) 利用在熱環境 ( $34.4^\circ\text{C}$ ) 下進行 40%  $\text{VO}_2\text{peak}$  腳踏車運動至衰竭，在運動期間每 30 分鐘分別攝取 5 mL/kg、5.88 g/L BCAA，發現補充 BCAA 可降低 fTrp/BCAA 比值，亦顯著增加運動至衰竭的時間。Blomstrand et al. (1991) 在 30 公里越野賽前給予補充 7.5 g BCAA，馬拉松比賽前給予 16 g BCAA，結果可顯著提升對於跑得比較慢 (3.05 h ~3.30 h) 的人，於馬拉松比賽之運動表現，且參與越野賽者在認知表現上也有所改善，因此於運動前補充 BCAA 可能可以提升運動表現。本研究顯示補充 BCAA 與 Arg 亦有較低的 RPE 得分，與過去研究相似，Blomstrand et al. (1997) 利用 7 名自行車運動員進行 70%  $\text{VO}_2\text{max}$  進行 60 分鐘耐力運動，

隨後增加至最大強度至衰竭，於運動其間每 15 分鐘補充 150~200 ml (7 g/L BCAA)，總攝取量約 90 mg/kg BCAA，可顯著減少 RPE 得分，並降低運動誘發的 fTrp/BCAA 比值。另一研究利用獨木舟選手每日口服 Leucine 45mg/kg，為期 6 週，進行 10 秒上肢無氧動力測試及 70-75% 最大功率划船至衰竭，亦有較低的 RPE 得分與血液之 fTrp/BCAA 比值，亦顯著增加上肢輸出功率與運動至衰竭的時間 (Crowe, Weatherson, & Bowden, 2006)。由於本研究中並未檢測 fTrp/BCAA 比值，只能間接由相關研究結果作推論，大部分研究顯示，在長時間運動補充 BCAA 可減少運動期間 fTrp/BCAA 比值，同時減少腦部 5-HT 合成及 RPE 得分，延緩中樞疲勞的產生，進而提升運動衰竭時間。此外，Mittleman et al. (1998) 指出補充 9~16 g BCAA 可使血液 BCAA 濃度增加兩倍，而補充 14 g BCAA 可讓 BCAA 濃度增加 2.5 倍 (Blomstrand et al., 1991)，以上劑量皆可提升運動表現。因此，在本研究使用的劑量符合以上建議的劑量，以致可能可以降低 fTrp/BCAA 比值，延緩中樞疲勞以提升運動表現。

在另一方面，若以能量代謝的觀點來看，BCAA 其中的 Leucine 可轉化為乙醯輔酶-A (acetyl-CoA)，Isoleucine 和 Valine 可轉化成 Succinyl-CoA，進入檸檬酸循環，產生更多的能量，運動表現的提昇亦可能為來自於能量供應效率增加 (如碳骨架之充足)，及能源之充分補充 (參與醣質新生作用，轉換成醣類)，因此，若能量代謝效率提昇或運動過程中能量來源充足，進而可以減緩疲勞的速率。

本研究在肌肉損傷生化指標的部分，AA trial 與 placebo

trial 血漿 CK 活性與 LDH 活性僅時間效應達顯著差異，在 AA trial 與 placebo trial 之間則無顯著差異。在過去研究顯示，Greer et al. (2007) 利用於運動前 60 分鐘攝取 2.5 g BCAA，進行 90 分鐘 55%  $VO_2$  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 小時進行膝關節屈伸 (maximal voluntary contraction, MVC) 及自覺疼痛等級，結果在運動後 4 小時、24 小時及 48 小時 CK 活性顯著較低，LDH 活性在運動後 4 小時為較低，且在運動後 24 小時也有較低的自覺疼痛等級。Coombes 與 McNaughton (2000) 利用早、晚餐各服用 6 g BCAA，持續 14 天，運動測試則在第 7 天進行 70%  $VO_2$  max 腳踏車運動，持續 120 分鐘，並且在運動測試前及運動後額外補充 20 g BCAA，結果在運動後 CK (運動後 4 小時到第五天)、LDH (運動後 2 小時到第五天) 活性均顯著較低。Koba et al. (2007) 利用長跑選手在第一至四天早上、下午及晚餐後攝取 2 g BCAA 和 0.5 g Arg 及 20 g CHO，並且在進行 25 公里跑前 30 分鐘攝取 1 g BCAA 和 0.25 g Arg 及 10 g CHO，之後在每 5 公里處沒有任何限制攝取量，結果運動後 LDH 活性亦顯著較低，CK 活性則無顯著差異。由於過去的研究其運動型態大多數以持續 90 分鐘以上的長時間耐力運動為主，而在本研究則是利用上、下半場各 30 分鐘，中間休息 10 分鐘。因此，本研究之 CK、LDH 活性無顯著差異可能是因為此運動強度無法達到肌肉損傷的程度，或受測者為訓練有素之選手，已習慣於此種運動型態，以致無法呈現補充 BCAA 是否能夠降低肌肉損傷。此外，本研究顯示 CK 活性於第二天運動前仍顯著高於 baseline，表示未完全消除前次運動增加的 CK 活性，但 LDH 活性於第

二天運動前已恢復至 baseline 水準，顯示已完全消除前次運動 LDH 活性的累積。

過去的研究顯示，MacLean et al. (1994) 以 70% 最大膝伸肌運動，於運動中補充 77 mg/kg BCAA，發現 BCAA 濃度的增加有助於在運動時抑制內源性肌肉蛋白質分解。另一研究指出，於運動中補充 2 g BCAA+0.5 g Arg，可有效減少運動誘發之蛋白質分解 (Matsumoto et al., 2007)。Tang (2006) 利用於 60-70% 最大心跳率進行 1.5 小時游泳訓練，同時補充 12 g BCAA，為期 2 週，並進行高強度耐力游泳比賽，亦發現補充 BCAA 可顯著減少運動誘發的骨骼肌蛋白質分解。Shimomura et al. (2006) 指出 Leucine 可刺激肌肉蛋白質合成，BCAA 可抑制肌肉蛋白質分解，也許可以減少運動誘發的肌肉損傷，並促進肌肉蛋白質合成，這似乎是合理的假設補充 BCAA 會影響肌肉損傷程度及恢復的作用。

本研究在於耳手反應及眼手反應之測試，僅四象限反應時間，在第二天運動後 AA trial 與 placebo trial 之間達顯著。顯示 AA trial 可能有助於延緩中樞疲勞之效果，由於本研究之反應測試在運動後皆呈現比較快的趨勢，此可能為運動會引發生理覺醒，使得提升注意力，促進大腦認知功能表現。另一個可能原因是，運動前反應測試是在早餐後進行，可能造成血液進入到消化道，而降低腦部反應。

本研究顯示血漿氨濃度於 AA trial 與 placebo trial 之間呈顯著差異 ( $p < 0.05$ )，AA trial 第一天及第二天運動後皆顯著高於 placebo trial ( $167 \pm 9$  vs  $135 \pm 6$   $\mu\text{M}$ ,  $p = 0.006$ ;  $164 \pm 8$  vs

128±7 μM, p=0.002), 過去部分研究指出, 補充 BCAA 可能提高體內 BCAA 氧化作用, 造成血氨濃度增加 (MacLean & Graham, 1993; MacLean et al., 1994)。MacLean et al. (1996) 利用 64% 最大膝伸肌運動持續 90 分鐘, 補充高劑量 308 mg/kg BCAA, 結果顯著提高肌肉中氨的濃度, 並顯示在非最大運動的血氨, 主要來自於 BCAA 在肌肉中的降解; Madsen et al. (1996) 利用補充 18 g BCAA 進行 100 公里自由車運動, 亦顯著增加血漿中氨的濃度。因此, 在本研究 AA trial 運動後亦顯示有較高的血氨濃度。

過去部份研究發現補充精胺酸可能可以減少運動誘發的氨及血乳酸 (Schaefer et al., 2002; Doutreleau et al., 2005), 精胺酸可能可以提高 NO 合成作用, 促進血管內皮擴張, 加速血乳酸及氨的移除 (Bednarz et al., 2000), 另外亦可藉由提高尿素循環 (urea cycle), 增加血氨代謝成尿素排出體外 (Tsuei et al., 2005)。本研究顯示補充 BCAA 與 Arg 無法降低血漿氨的濃度, 這可能是因為尿素循環的過程首先是 carbamoyl phosphate 與鳥胺酸 (ornithine) 作用, 生成瓜胺酸 (citrulline), 進入尿素循環, 尿素循環速率主要的調控點是 carbamoyl phosphate synthetase, 精胺酸則是尿素循環的中間產物, 經精胺酸酶 (arginase) 分解, 產生鳥胺酸及尿素。因此, 於本研究合併補充 Arg 可能無法提升尿素循環。

心跳率可用來反映運動強度的生理參數之一, 本研究在運動測試時配戴心率錶記錄心跳率, 進而瞭解運動強度。在本研究之運動測試心跳率平均約 150 bpm 左右。Well、Balke 與 Van Fossan (1957) 依據心跳率分類運動強度, 指出心跳

率大於 100 bpm 為溫和；大於 120 bpm 為適量；大於 140 bpm 為中等強度；大於 160 bpm 為劇烈強度；小於 180 bpm 為最大強度；大於 180 bpm 為衰竭。Morehouse (1972) 利用乳酸評定運動強度，指出「普通」運動強度乳酸值範圍在 1.7~2.2 mM，運動強度「強」為 2.2~4.4 mM，運動強度「較強」為 4.4~6.7 mM，運動強度「非常強」為 6.7~8.9 mM，運動強度「非常非常強」為 8.9 mM 以上，本研究運動後乳酸濃度平均約 5-6.5 mM。因此，本研究之運動測試可視為中強度之運動型態。

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究以優秀大專手球選手為研究對象，於運動測試前一小時攝取 0.17 g/kg BCAA 加上 0.04 g/kg Arg，以間歇性運動型態模擬連續二天手球比賽，結果發現：

- 一、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，可能可以增進第二天的運動表現，降低 RPE，以及有較快的反應時間，可能為達到延緩中樞疲勞之效果。
- 二、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，對於運動後肌肉損傷指標 CK、LDH 無顯著影響。
- 三、優秀大專手球選手於運動前補充 BCAA 與 Arg，無法增加血氨及乳酸移除。

### 第二節 建議

- 一、本研究測驗內容只能模擬手球比賽間歇性運動型態，接近手球比賽之節奏，且避免碰撞之情形，使得本研究運動強度未能達到肌肉損傷之程度。建議利用實際比賽，鼓勵受測者盡最大努力完成比賽，可利用得失分來控制比賽品質。
- 二、本研究未檢測 fTrp/BCAA 比值，以致無法瞭解是否有延緩中樞疲勞之效果，建議未來研究可分析 Trp、BCAA 胺基酸之濃度。
- 三、本研究未分析 NO 濃度，以致無法瞭解補充 Arg 是否可藉由 NO 合成，刺激血管擴張及血流量增加，進而加速

乳酸的代謝，或增加有氧代謝，減少乳酸產生，建議未來研究可分析 NO 濃度。

## 參考文獻

- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 529-38.
- Blomstrand, E., Moller, K., Secher, N. H., & Nybo, L. (2005). Effect of carbohydrate ingestion on brain exchange of amino acids during sustained exercise in human subjects. *Acta Physiologica Scandinavica*, 185(3), 203-9.
- Blomstrand, E., Celsing, F., & Newsholme, E. A. (1988). Changes in plasma concentrations of aromatic and branched-chain amino acids during sustained exercise in man and their possible role in fatigue. *Acta Physiologica Scandinavica*, 133(1), 115-121.
- Banister, E. W., & Cameron, B. J. (1990). Exercise-induced hyperammonemia: peripheral and central effects. *International Journal of Sports Medicine*, 11, S129-42.
- Blomstrand, E., Hassmén, P., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1991). Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise - effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *European Journal of Applied Physiology*, 63(2), 83-88.
- 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, 41-9.
- 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, 205-10.

- Blomstrand, E., Moller, K., Secher, N. H., & Nybo, L. (2005). Effect of carbohydrate ingestion on brain exchange of amino acids during sustained exercise in human subjects. *Acta Physiologica Scandinavica*, 185(3), 203-9.
- Burtscher, M., Brunner, F., Faulhaber, M., Hotter, B., & Likar, R. (2005). The prolonged intake of L-Arginine-L-Aspartate reduces blood lactate accumulation and oxygen consumption during submaximal exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 314-322.
- Blomstrand, E. (2006) A role for branched-chain amino acids in reducing central fatigue. *The Journal of Nutrition*, 136(2), 544S-547S.
- Bescos, R., Gonzalez-Haro, C., Pujol, P., Drobnic, 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), 355-65.
- Carli, G., Bonifazi, M., Lodi, L., Lupo, C., Martelli G., & Viti, A. (1992). Changes in the exercise-induced hormone response to branched chain amino acid administration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(3), 272-7.
- Coombes, J. S., & McNaughton, L. R. (2000). Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(3), 240-6.
- Chevront, S. N., Carter, 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, 1275–82.
- Crowe, M. J., Weatherson, J. N., & Bowden, B. F. (2006). Effects of dietary leucine

- supplementation on exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 664-72.
- Dill, D., & Costill, D. (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 37(2), 247-248
- 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., Welsh, R. S., De Volve, K. L., & Alderson, N. A. (1999). Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *International Journal of Sports Medicine*, 20(5), 309-14.
- 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), 419-32.
- 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), 567-72.
- Eto, B., Peres, G., & Le Moel, G. (1994). Effects of an ingested glutamate arginine salt

- on ammonemia during and after long lasting cycling. *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique*, 102(3), 161-2.
- Endemann, D. H., & Schiffrin, E. L. (2004). Endothelial dysfunction. *Journal of the American Society of Nephrology*, 15(8), 1983-92.
- Goldberg, A. L., & Chang, T. W. (1978). Regulation and significance of amino acid metabolism in skeletal muscle. *Federation Proceedings*, 37(9), 2301-7.
- 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), 646-53.
- Greer, B. K., Woodard, J. L., White, J. P., Arguello, E. M., & Haymes, E. M. (2007). Branched-chain amino acid supplementation and indicators of muscle damage after endurance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(6), 595-607.
- Koba, T., Hamada, K., Sakurai, M., Matsumoto, K., Hayase, H., Imaizumi, K., et al. (2007). Branched-chain amino acids supplementation attenuates the accumulation of blood lactate dehydrogenase during distance running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(3), 316-22.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.
- Layman, D. K. (2002). Role of leucine in protein metabolism during exercise and recovery. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(6), 646-63.
- Lynch, C. J., Halle, B., Fujii, H., Vary, T. C., Wallin, R., Damuni, Z., et al. (2003). Potential role of leucine metabolism in the leucine-signaling pathway involving mTOR. *American Journal of Physiology*, 285(4), E854-63.
- Lieberman, H. R., Niro, P., Tharion, W. J., Nindl, B. C., Castellani, J. W., & Montain, S.J. (2006). Cognition during sustained operations: comparison of a laboratory

- simulation to field studies. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 77(9), 929-35.
- Liu, T. H., Wu, C. L., Chiang, C. W., Lo, Y. W., Tseng, H. F., & Chang, C. K. (2008). 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), 462-8.
- Morehouse, L. E. (1972). *Laboratory Manual for Physiology of Exercise*. St. Louis, MO: Mosby.
- MacLean, D. A., & Graham, T. E. (1993). Branched-chain amino acid supplementation augments plasma ammonia responses during exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 2711-7.
- MacLean, D. A., Graham, T. E., & Saltin, B. (1994). Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *American Journal of Physiology*, 267, E1010-22.
- Madsen, K., MacLean, D. A., Kiens, B., & Christensen, D. (1996). Effects of glucose, glucose plus branched-chain amino acids, or placebo on bike performance over 100 km. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2644-50.
- MacLean, D. A., Graham, T. E., & Saltin, B. (1996). Stimulation of muscle ammonia production during exercise following branched-chain amino acid supplementation in humans. *Journal of Physiology*, 493, 909-22.
- Mourier, A., Bigard, A. X., de Kerviler, E., Roger, B., Legrand, H., & Guezennec, C. Y. (1997). Combined effects of caloric restriction and branched-chain amino acid supplementation on body composition and exercise performance in elite wrestlers. *International Journal of Sports Medicine*. 18(1), 47-55.
- 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.
- Mero, A. (1999). Leucine supplementation and intensive training. *Sports Medicine*, 27(6), 347-58.
- Matthews, D. E. (2005). Observations of branched-chain amino acid administration in humans. *Journal of Nutrition*, 135(6), 1580S-1584S.
- 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), 531-8.
- Mahoney, C. R., Castellani, J., Kramer, F. M., Young, A., & Lieberman, H. R. (2007). Tyrosine supplementation mitigates working memory decrements during cold exposure. *Physiology & Behavior*, 92(4), 575-82
- Norton, L. E., & Layman, D. K. (2006). Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *Journal of Nutrition*, 13(2), 533S-537S.
- Segura, R., & Ventura, J. L. (1988). Effect of L-tryptophan supplementation on exercise performance. *International Journal of Sports Medicine*, 9(5), 301-5.
- 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), 403-7.
- 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.
- Silber, B. Y., & Schmitt, J. A. (2010). Effects of tryptophan loading on human cognition, mood, and sleep. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(3), 387-407.

- 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.
- Tang, F. C. (2006). Influence of branched-chain amino acid supplementation on urinary protein metabolite concentrations after swimming. *Journal of the American College of Nutrition*, *25*(3), 188-94.
- VanHall, G., Raaymakers, J. S., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (1995). Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. *The Journal of Physiology*, *486*, 789-94.
- 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.
- Wells, J., Balke, B., & Van Fossan, D. (1957). Lactic acid accumulation during work; A suggested standardization of work classification. *Journal of Applied Physiology*, *10*(1), 51-5.

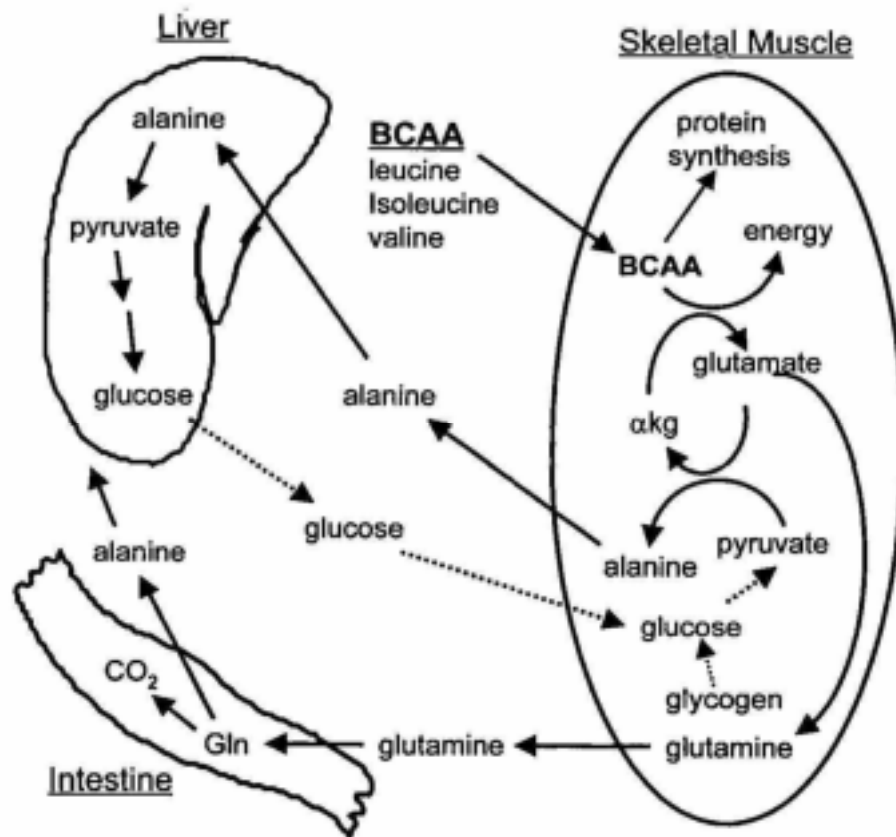
表一 受測者基本資料

編號	年齡 (year)	身高 (cm)	體重 (kg)	體脂肪率(%)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	球齡 (year)
1	23	192	90.6	10.2	53.5	15
2	22	180	69.3	12.1	56.0	12
3	20	178	75.9	16.7	46.7	8
4	20	186	81.1	13.9	55.4	7
5	22	186	76.4	15.5	60.5	11
6	22	172	62.5	12.1	52.8	14
7	20	182	75.2	12.1	53.0	10
8	21	177	73.4	16.7	50.7	11
9	20	179	93.2	20.8	46.4	10
10	21	178	105.8	29.4	45.7	10
11	20	165	68.4	-	-	11
12	21	180	69.1	13.6	48.8	11
13	22	187	90.1	19.0	49.2	12
14	21	175	73.8	13.5	59.0	12
15	21	177	69.8	14.8	53.9	12
平均數	21.1	179.6	78.3	15.7	52.3	11.1
標準誤	0.2	1.7	3.0	1.3	1.2	0.5

表二 受測者運動測試中之飲用水量

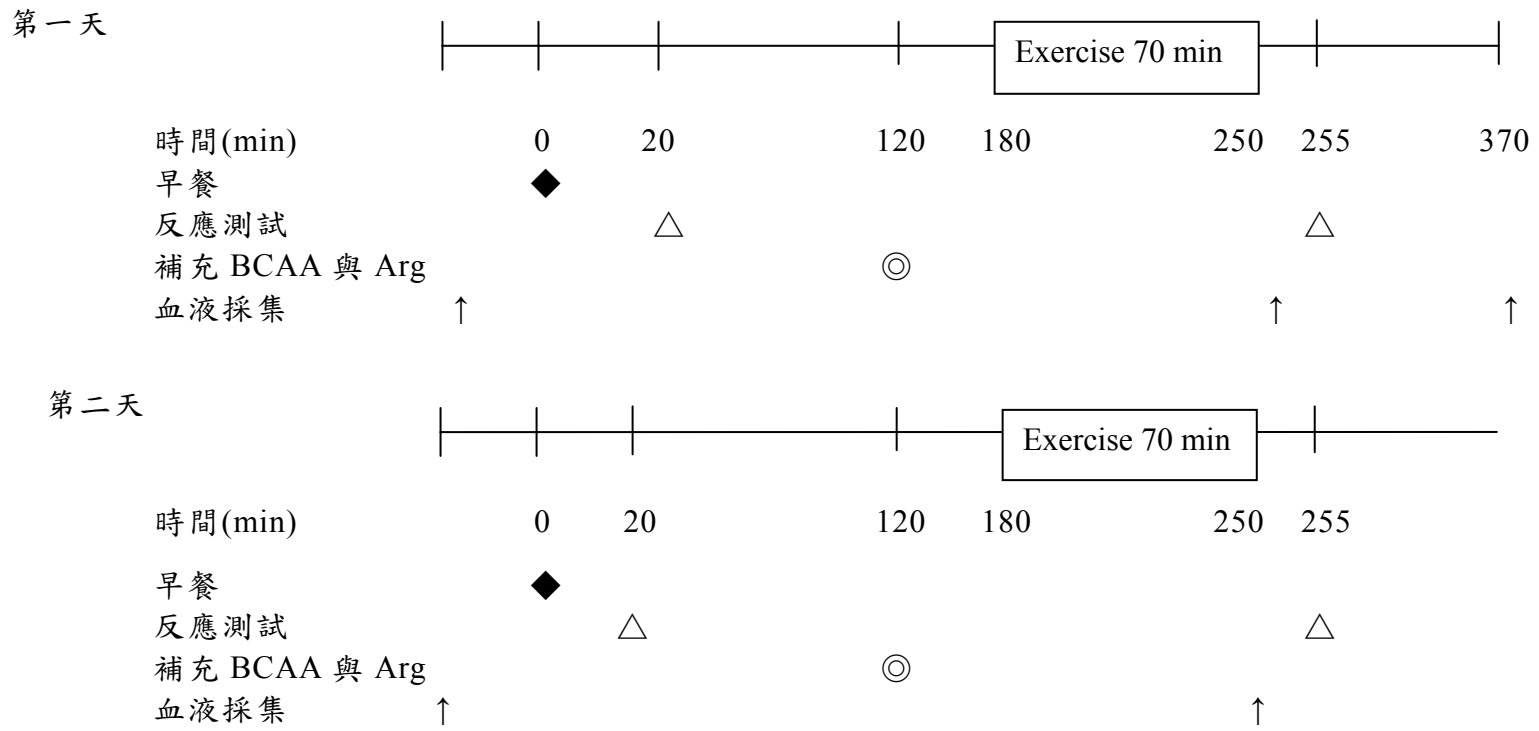
編號	AA Day1	AA Day2	placebo Day1	placebo Day2
1	400	400	400	400
2	400	350	400	350
3	600	700	600	700
4	200	200	200	200
5	800	800	800	800
6	500	600	500	600
7	400	400	400	400
8	300	600	300	600
9	800	800	800	800
10	600	700	600	700
11	400	300	400	300
12	400	500	400	500
13	400	500	400	500
14	500	400	500	400
15	300	300	300	300
平均數	467	503	467	503
標準誤	44	49	44	49

單位：毫升 (ml)

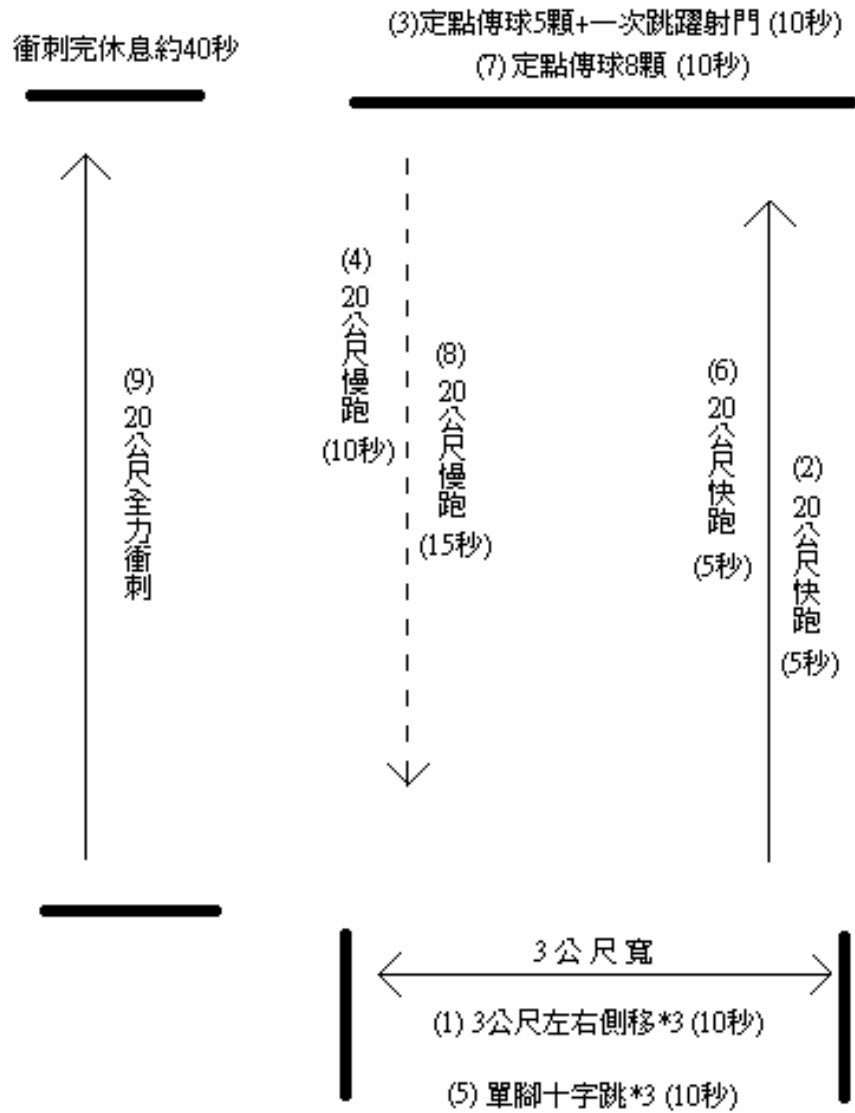


圖一 Exercise Stimulates BCAA Metabolism (Layman, 2002)

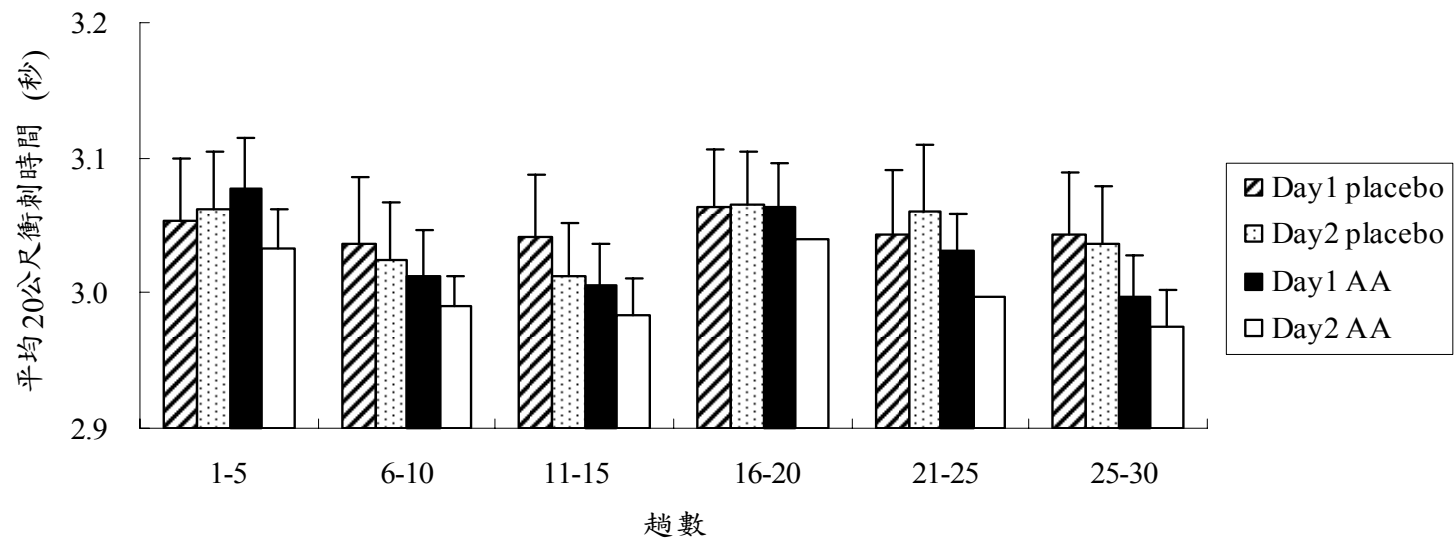
BCAA：branched-chain amino acid，支鏈胺基酸；αkg：alpha-ketoglutarate， $\alpha$ -酮戊二酸；Glutamate：麩胺酸；pyruvate：丙酮酸；alanine：丙胺酸；Gln：glutamine，麩醯胺酸；glucogen：肝醣；glucose：葡萄糖。



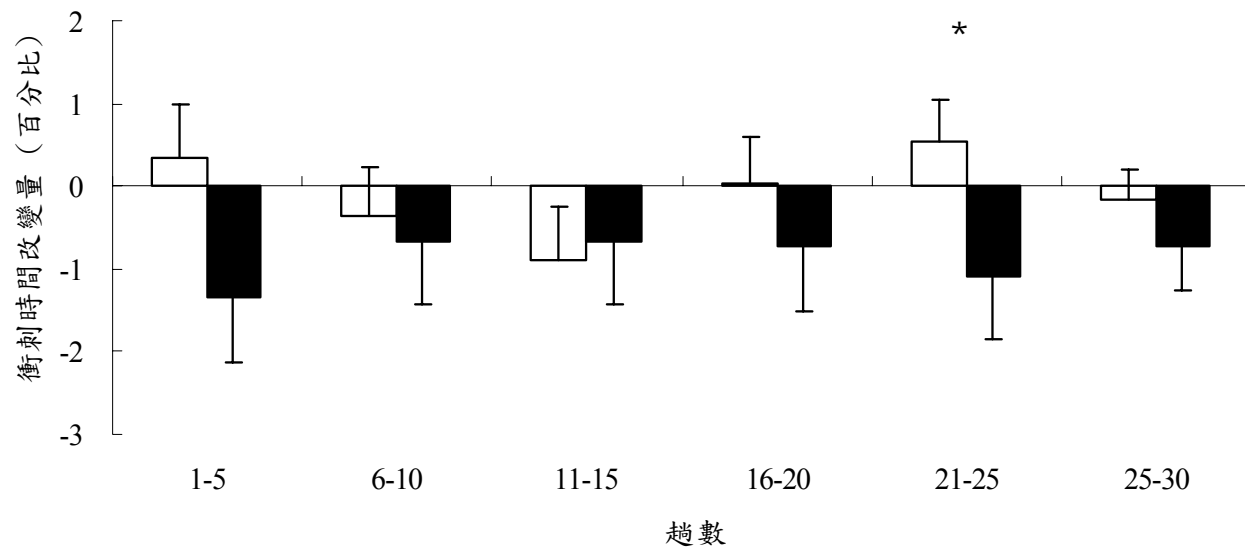
圖二 實驗流程圖



圖三 運動測試流程圖



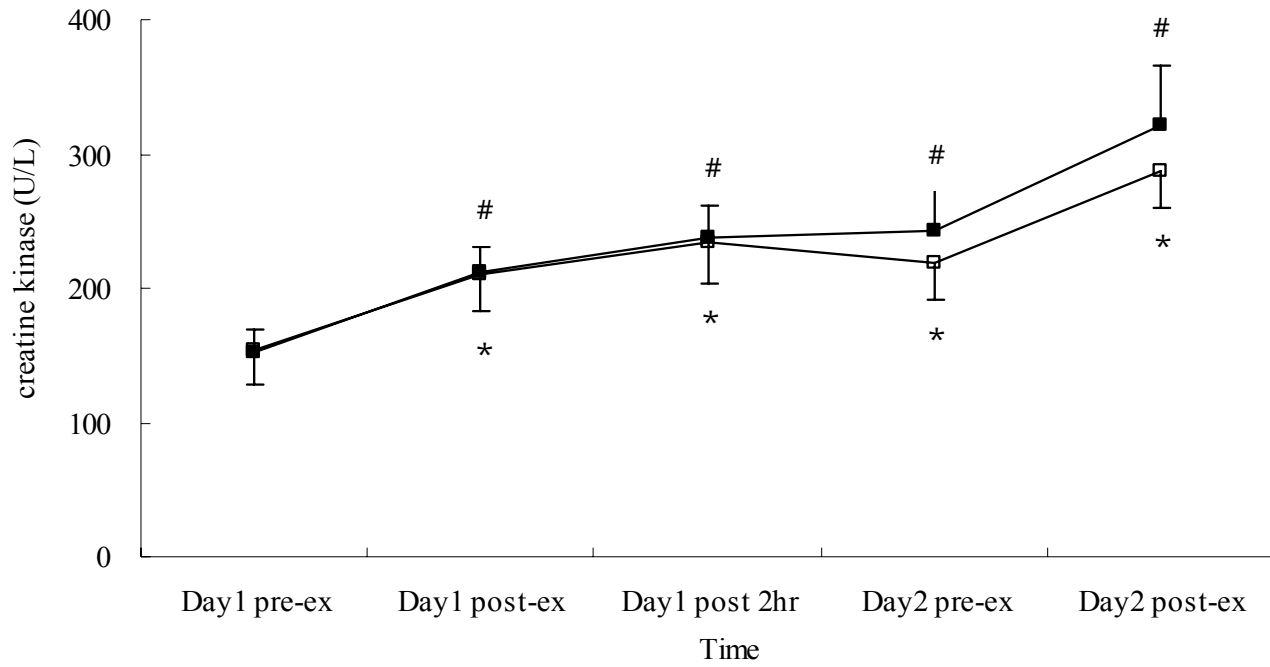
圖四 AA trial 與 placebo trial 兩天之運動表現 (每 5 趟 20 公尺衝刺平均時間)



圖五 AA trial 與 placebo trial 運動表現改變百分比

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

\* : AA trial 與 placebo trial 達顯著差異 ( $p < 0.05$ ) 。

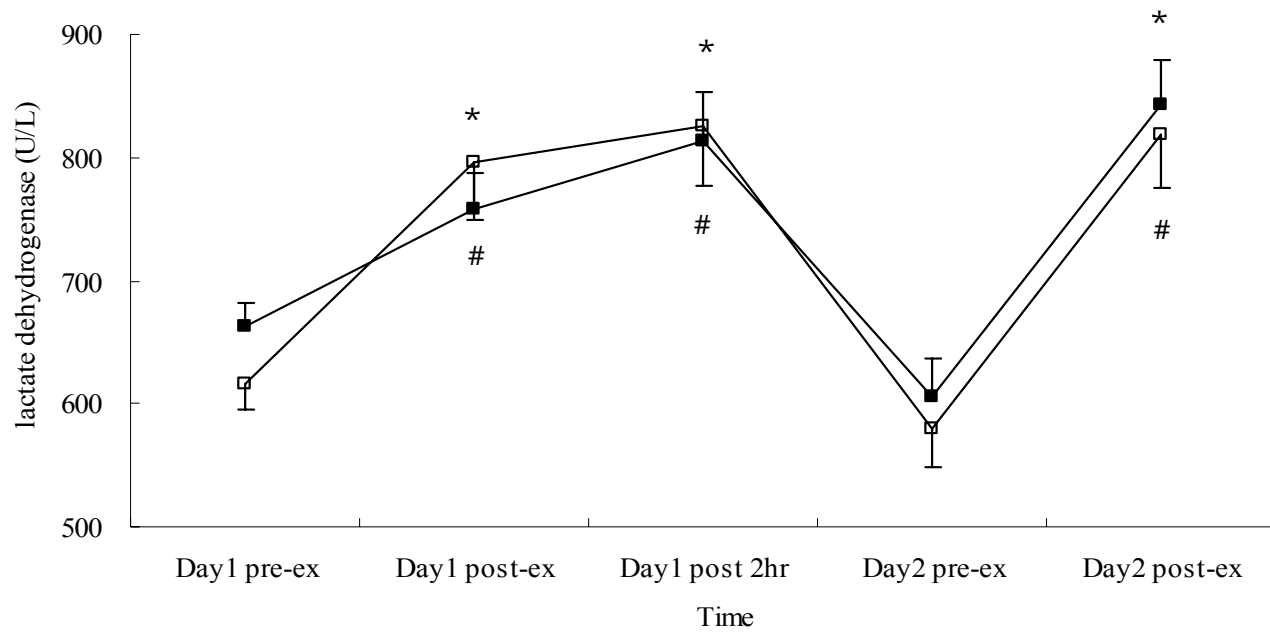


圖六 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 creatine kinase 活性

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.634$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.432$  。 # : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。



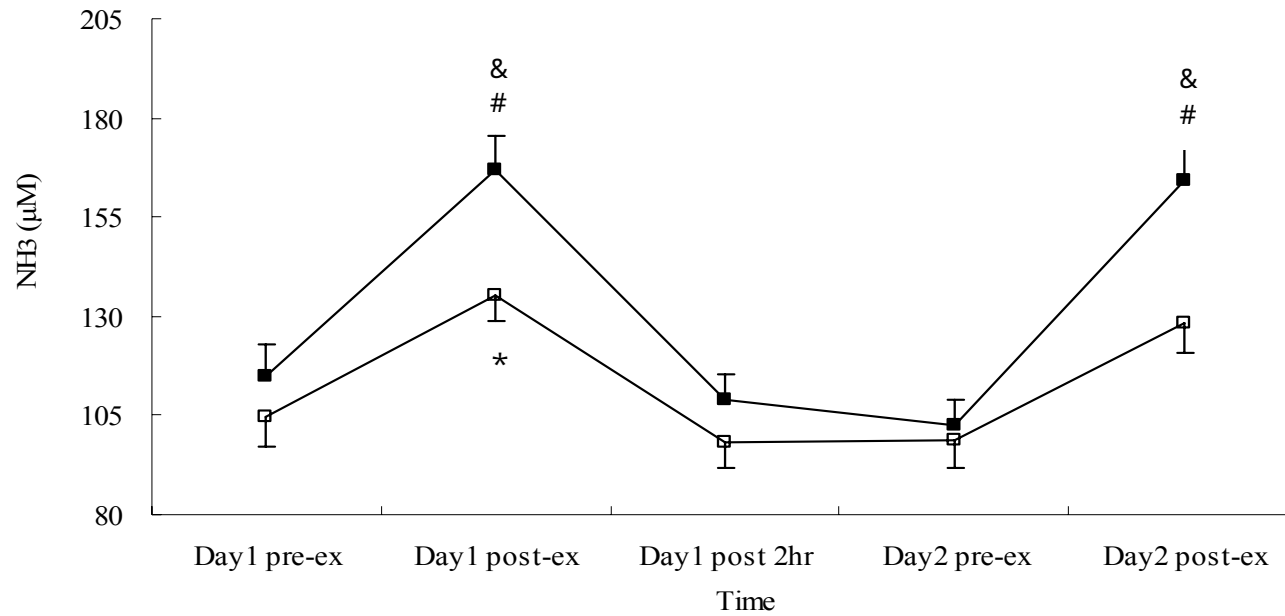
圖七 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 lactate dehydrogenase 活性

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.752$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.724$  。

# : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。

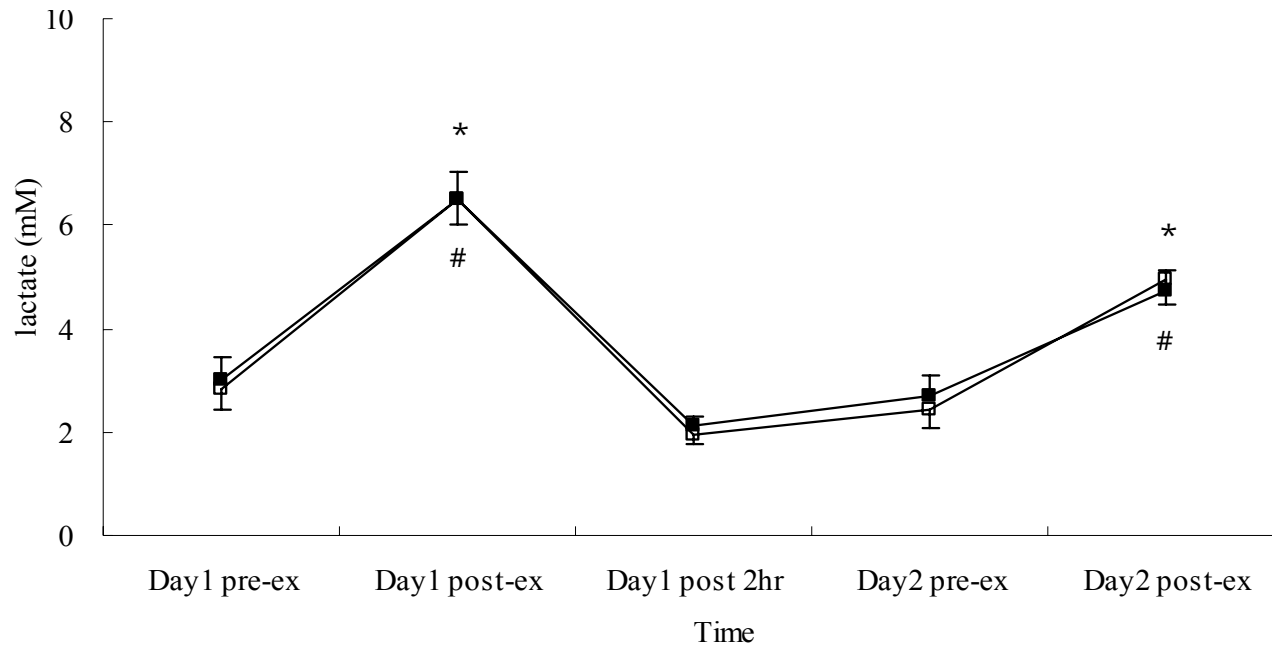


圖八 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NH<sub>3</sub> 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.010$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction ,  $p<0.001$  。 # : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.001$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。 & : 同時間點 AA trial 與 placebo trial 達顯著差異 ( $p<0.001$ ) 。



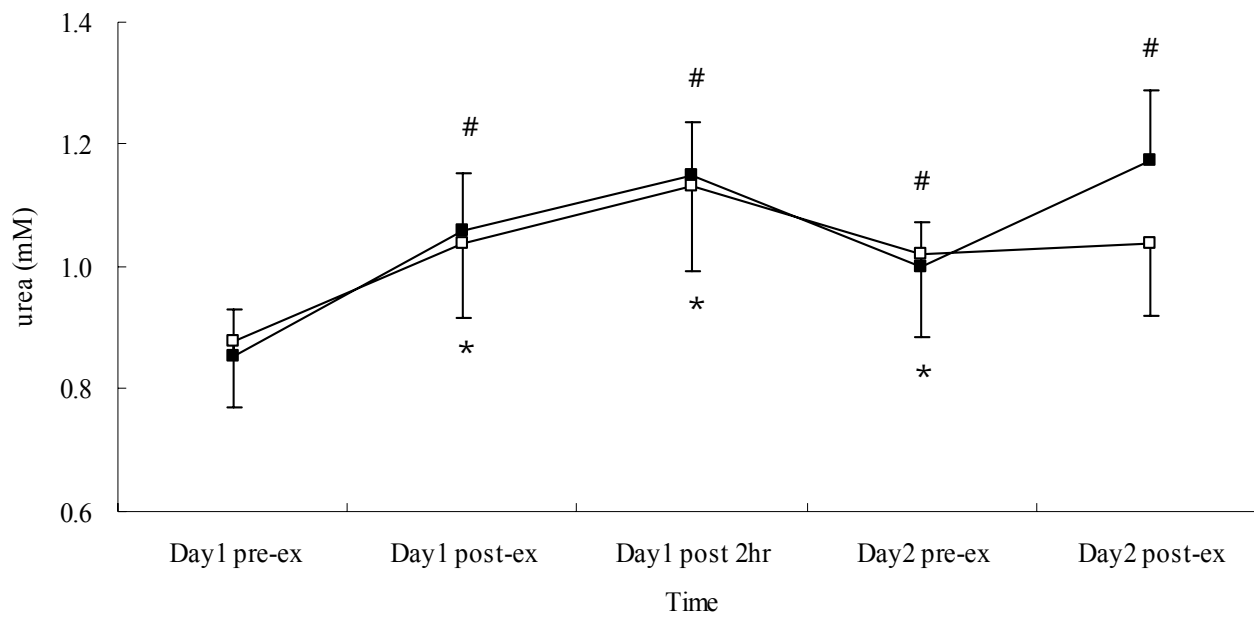
圖九 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 lactate 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.593$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.935$  。

# : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。

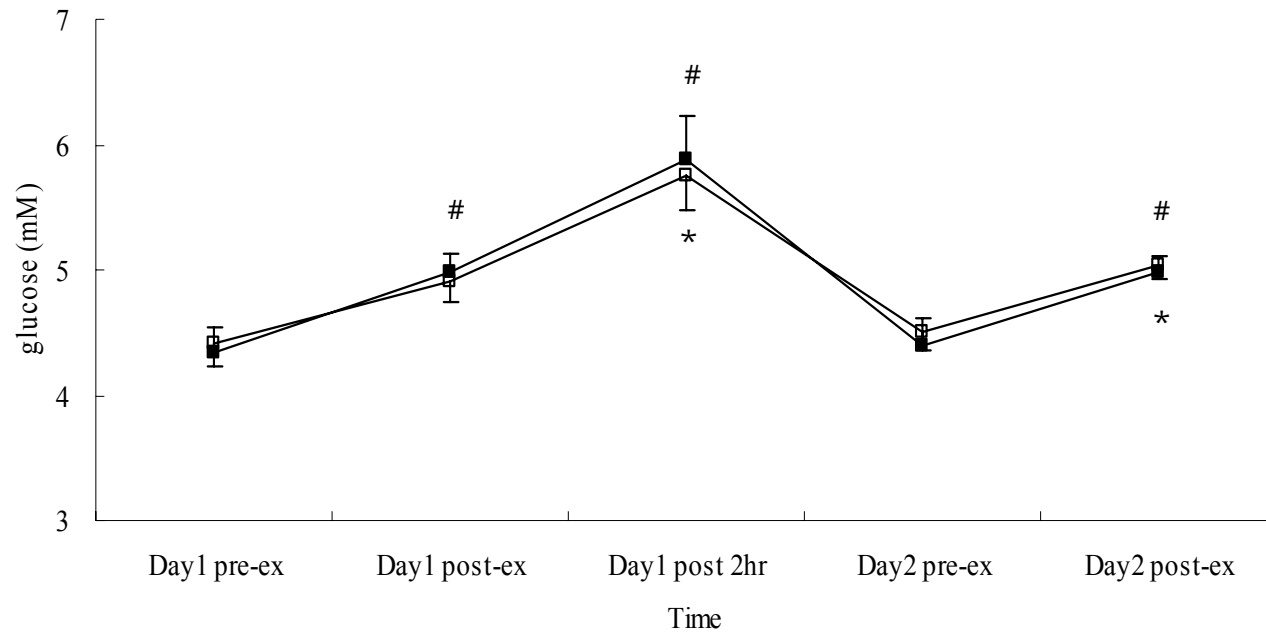


圖十 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 urea 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.864$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.223$  。 # : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。

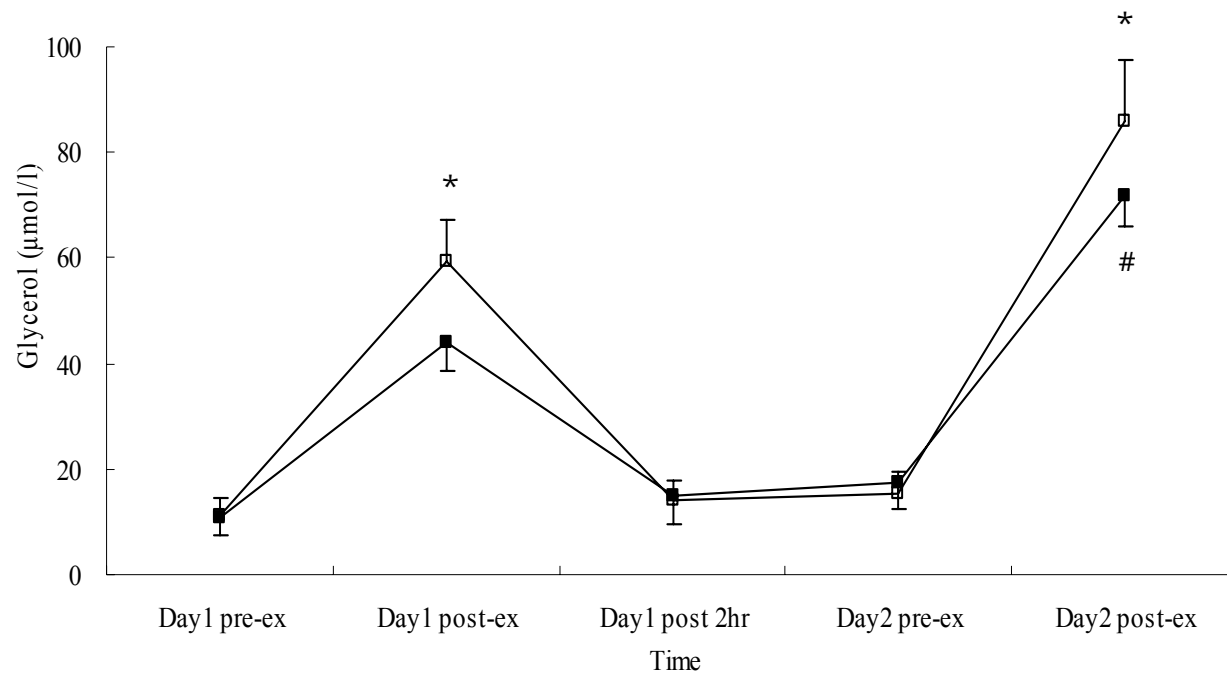


圖十一 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 glucose 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.987$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.824$  。 # : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。

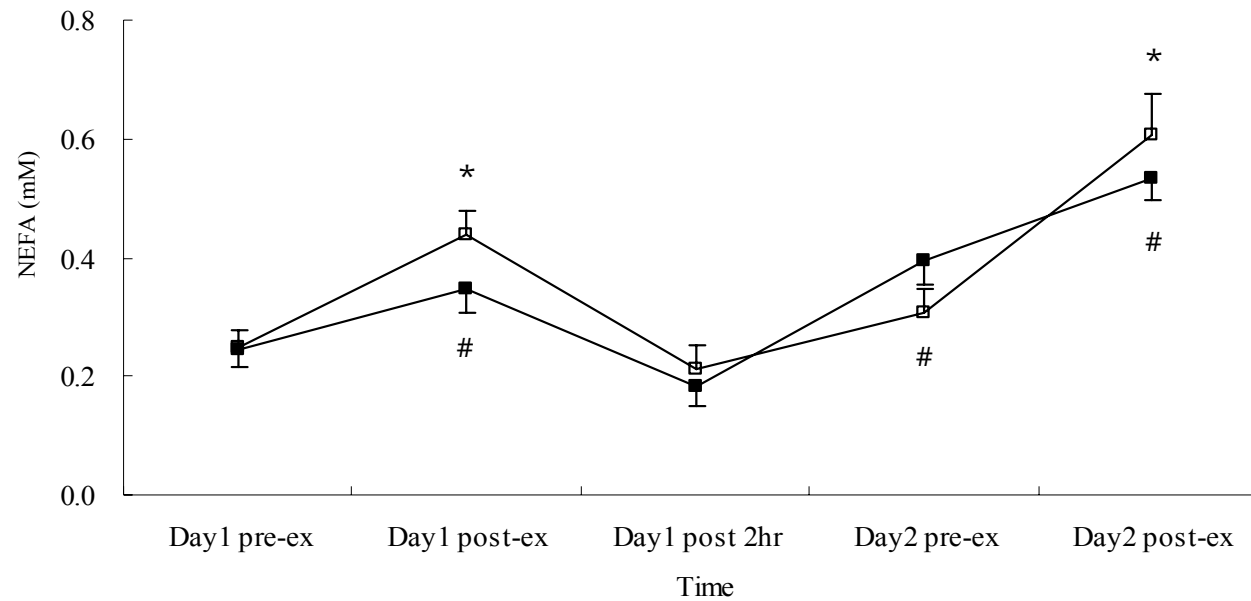


圖十二 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 glycerol 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.286$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.107$  。 # : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。



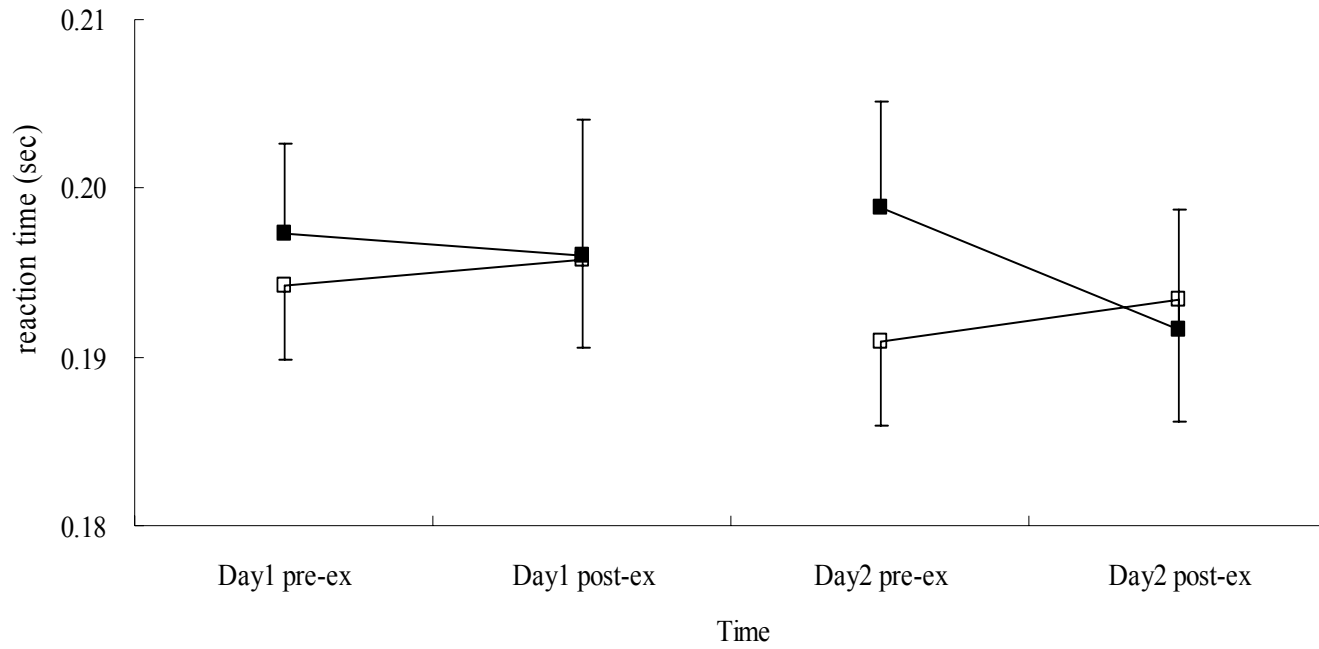
圖十三 各時間點 AA trial 與 placebo trial 血漿 NEFA 濃度

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

Trial effect :  $p=0.149$  ; Time effect :  $p<0.001$  ; Interaction :  $p=0.058$  。

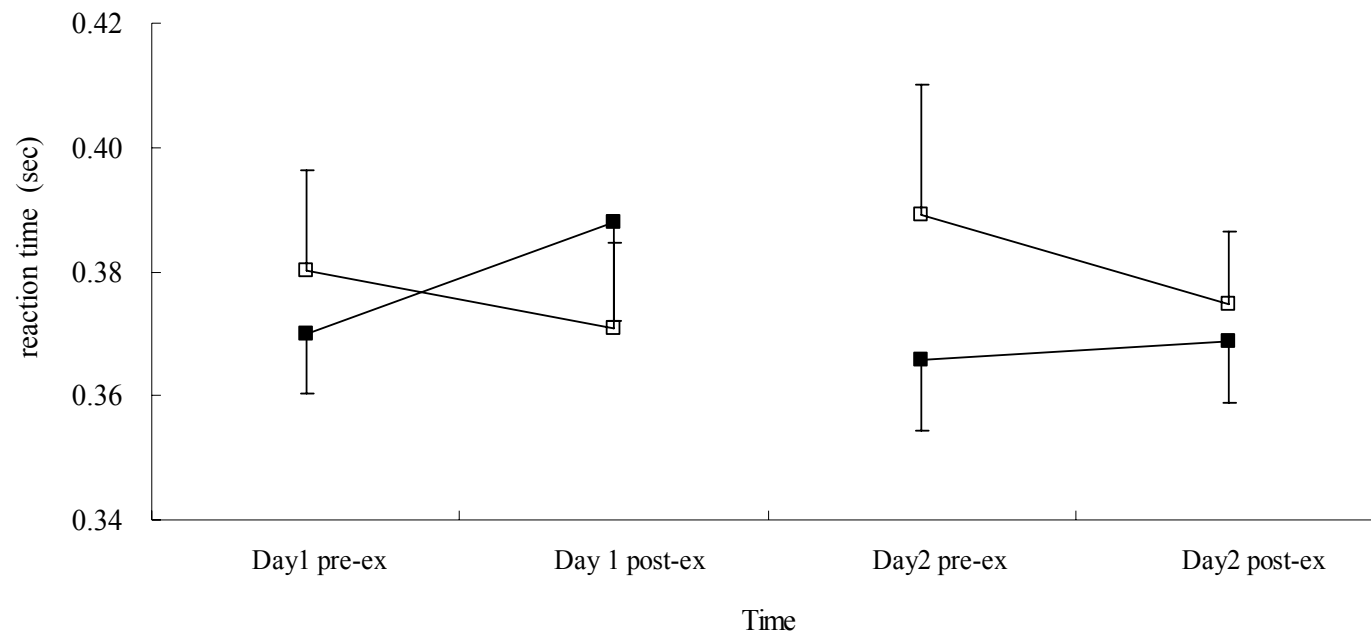
# : AA trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) ,

\* : placebo trial 與 Day1 pre-ex 達顯著差異 ( $p<0.05$ ) 。



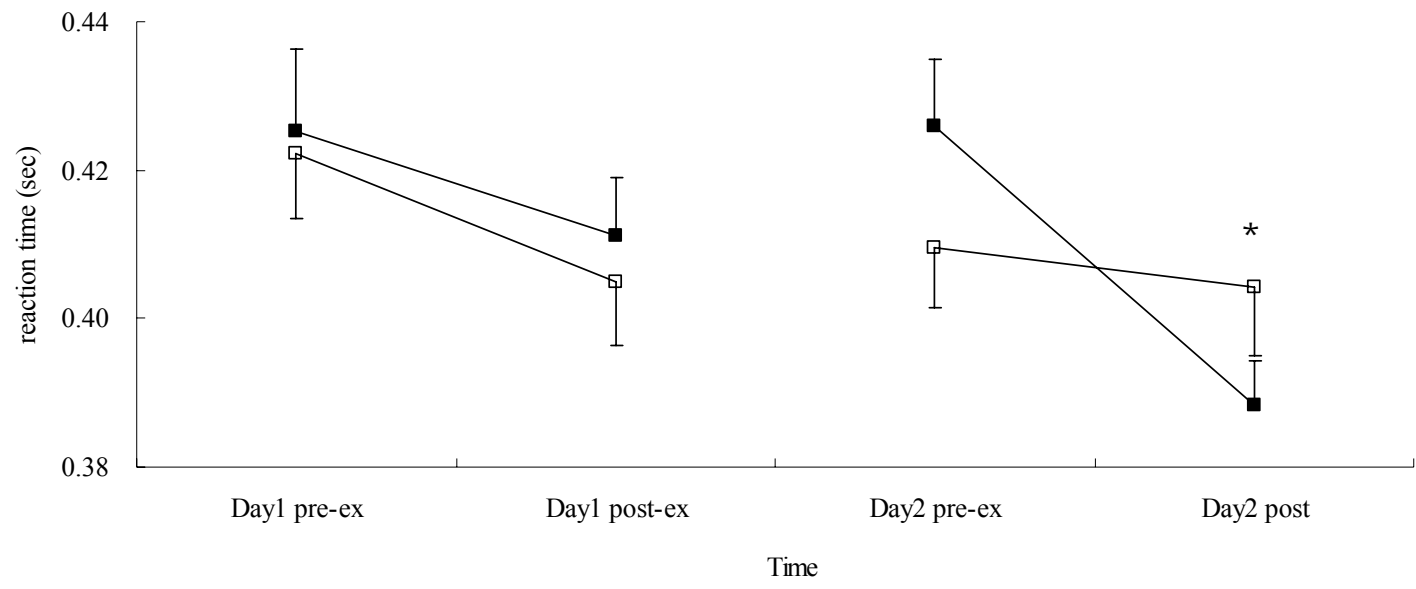
圖十四 AA trial 與 placebo trial 耳手反應時間

■ : AA trial ; □ : placebo trial .



圖十五 AA trial 與 placebo trial 無指定位置之反應時間

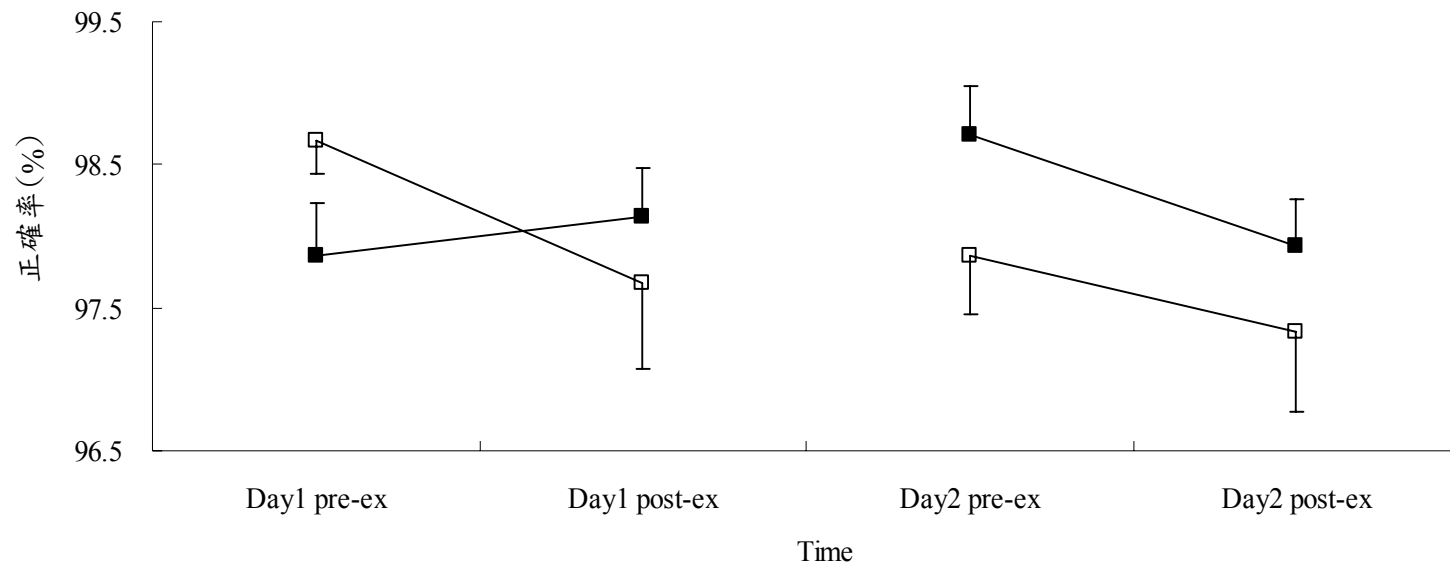
■ : AA trial ; □ : placebo trial 。



圖十六 AA trial 與 placebo trial 四象限反應測試之反應時間

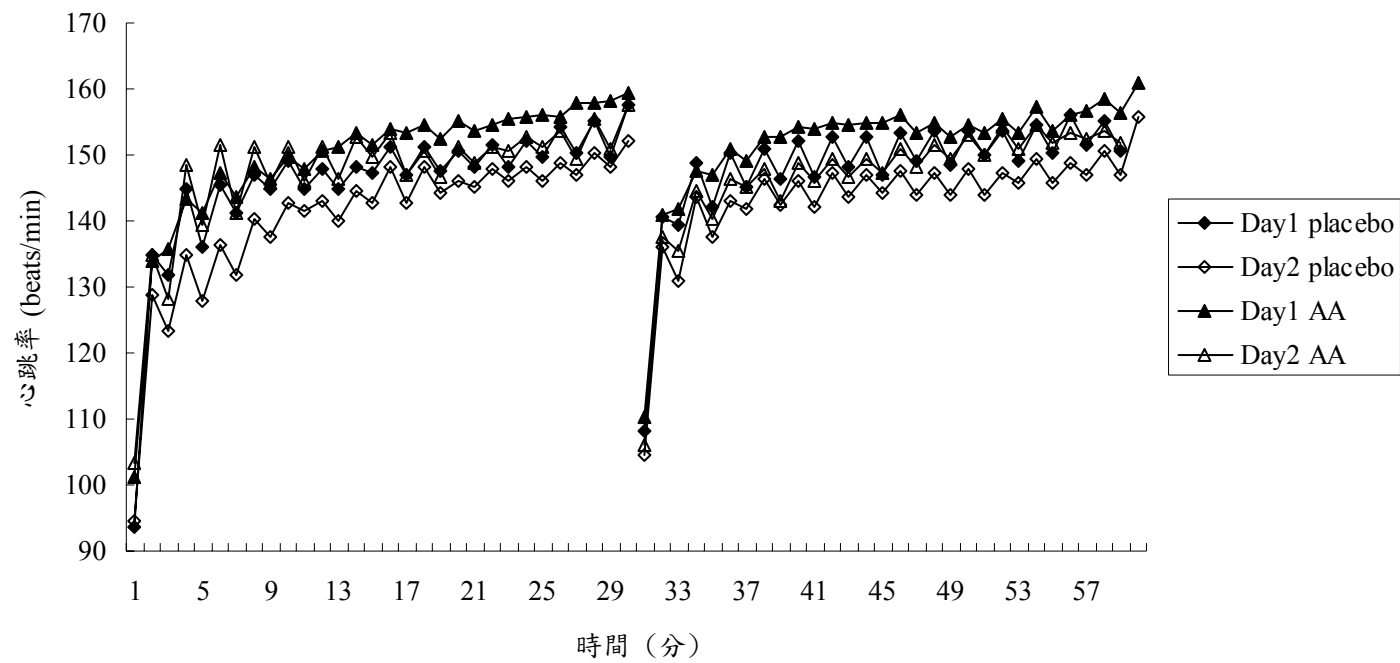
■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

\* : AA trial 與 placebo trial 達顯著差異 (p<0.05) 。

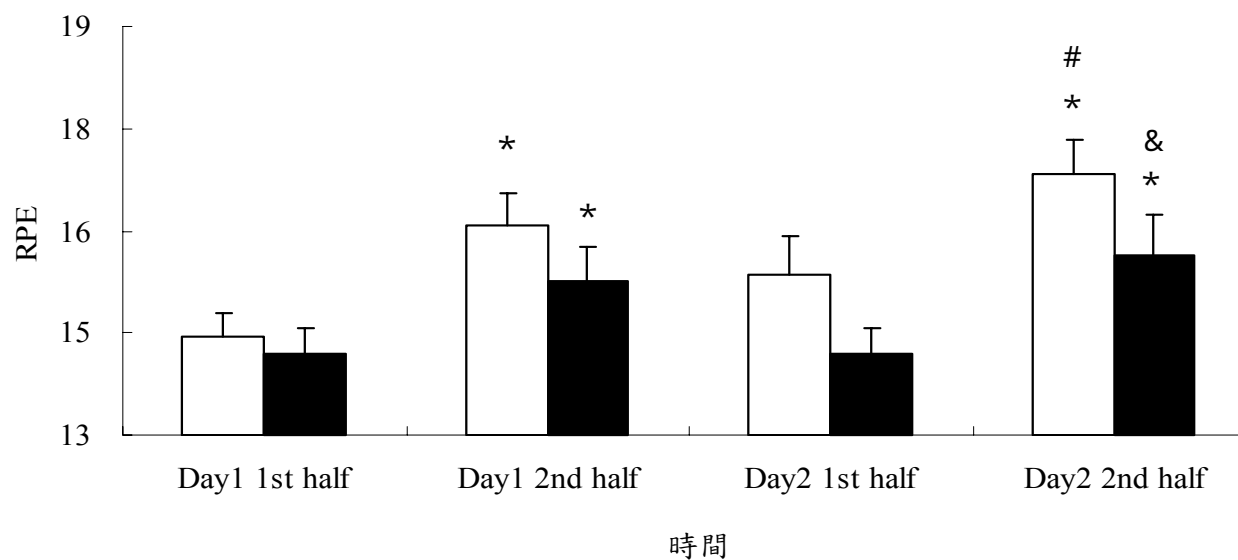


圖十七 AA trial 與 placebo trial 四象限反應測試之準確率

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。



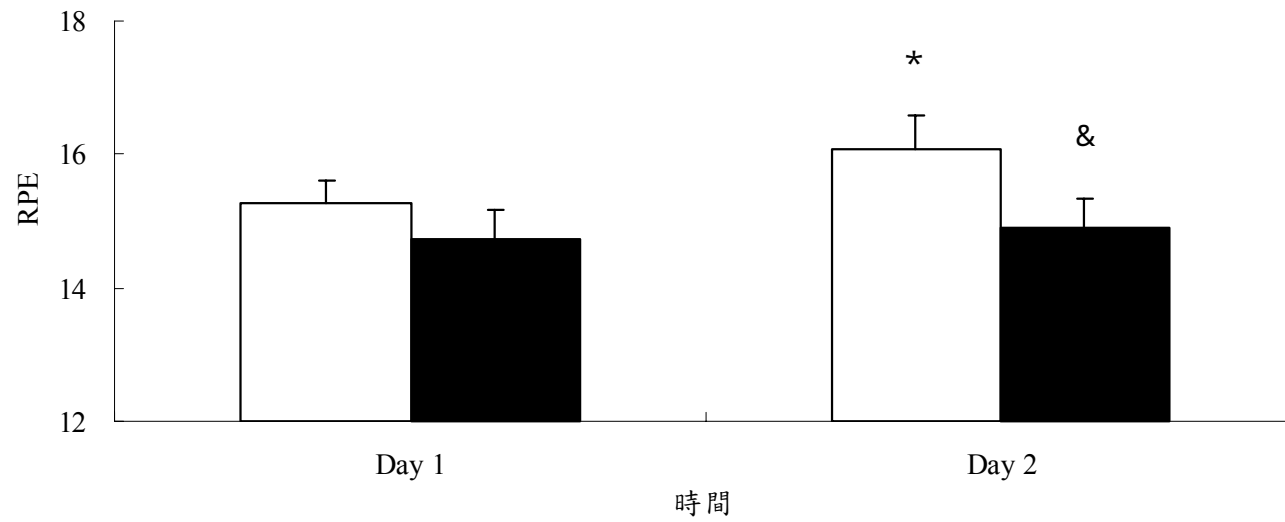
圖十八 AA trial 與 placebo trial 運動測試之心跳率



圖十九 AA trial 與 placebo trial 於運動中場休息及運動結束之自覺量表

■：AA trial；□：placebo trial。

\*：與同一 trial、同一天 1<sup>st</sup> half 達顯著差異 (p<0.05)，#：與同 trial、Day1 2<sup>nd</sup> half 達顯著差異 (p<0.05)，&：與 placebo trial 同一天 2<sup>nd</sup> half 達顯著差異 (p<0.05)。



圖二十 AA trial 與 placebo trial 運動測試自覺量表

■ : AA trial ; □ : placebo trial 。

\* : placebo trial 與 Day1 達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。 & : AA trial 與 placebo trial 同一天達顯著差異 ( $p < 0.05$ )。

附錄一 受測者之飲食控制



早餐



午、晚餐

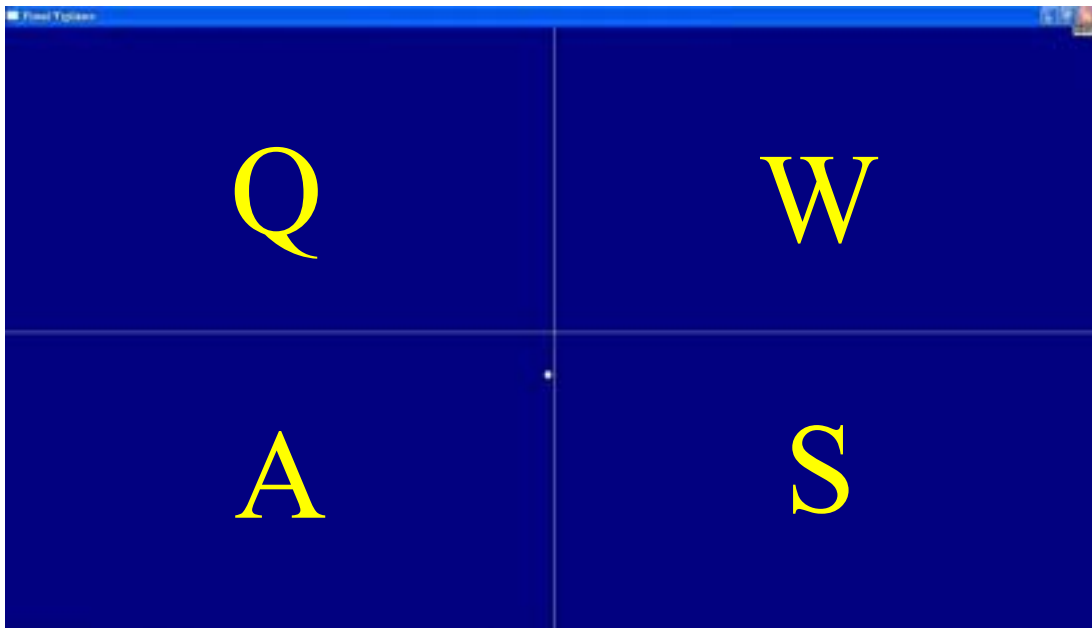
附錄二 聽力反應測試



附錄三 眼力反應測試



無指定位置反應（按空白鍵）



四象限反應測試（按鍵盤 QWAS）

附錄四 節奏跑攝氧量換算表 (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988)

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
1-1	1	1	1	9.693	7.51	1.885
1-2	1	2	2	9.693	7.51	3.769
1-3	1	3	3	9.693	7.51	5.654
1-4	1	4	4	9.693	7.51	7.538
1-5	1	5	5	9.693	7.51	9.423
1-6	1	6	6	9.693	7.51	11.308
1-7	1	7	7	9.693	7.51	13.192
1-8	1	8	8	9.693	7.51	15.077
1-9	1	9	9	9.693	7.51	16.962
1-10	1	10	10	9.693	7.51	18.846
1-11	1	11	11	9.693	7.51	20.731
1-12	1	12	12	9.693	7.51	22.615
1-13	1	13	13	9.693	7.51	24.500
2-1	2	1	14	8.276	8.7	24.967
2-2	2	2	15	8.276	8.7	25.433
2-3	2	3	16	8.276	8.7	25.900
2-4	2	4	17	8.276	8.7	26.367
2-5	2	5	18	8.276	8.7	26.833
2-6	2	6	19	8.276	8.7	27.300
2-7	2	7	20	8.276	8.7	27.767
2-8	2	8	21	8.276	8.7	28.233
2-9	2	9	22	8.276	8.7	28.700
2-10	2	10	23	8.276	8.7	29.167
2-11	2	11	24	8.276	8.7	29.633
2-12	2	12	25	8.276	8.7	30.100
2-13	2	13	26	8.276	8.7	30.567
2-14	2	14	27	8.276	8.7	31.033
2-15	2	15	28	8.276	8.7	31.500
3-1	3	1	29	7.744	9.3	31.719
3-2	3	2	30	7.744	9.3	31.938
3-3	3	3	31	7.744	9.3	32.156
3-4	3	4	32	7.744	9.3	32.375
3-5	3	5	33	7.744	9.3	32.594

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
3-6	3	6	34	7.744	9.3	32.813
3-7	3	7	35	7.744	9.3	33.031
3-8	3	8	36	7.744	9.3	33.250
3-9	3	9	37	7.744	9.3	33.469
3-10	3	10	38	7.744	9.3	33.688
3-11	3	11	39	7.744	9.3	33.906
3-12	3	12	40	7.744	9.3	34.125
3-13	3	13	41	7.744	9.3	34.344
3-14	3	14	42	7.744	9.3	34.563
3-15	3	15	43	7.744	9.3	34.781
3-16	3	16	44	7.744	9.3	35.000
4-1	4	1	45	7.276	9.9	35.206
4-2	4	2	46	7.276	9.9	35.412
4-3	4	3	47	7.276	9.9	35.618
4-4	4	4	48	7.276	9.9	35.824
4-5	4	5	49	7.276	9.9	36.029
4-6	4	6	50	7.276	9.9	36.235
4-7	4	7	51	7.276	9.9	36.441
4-8	4	8	52	7.276	9.9	36.647
4-9	4	9	53	7.276	9.9	36.853
4-10	4	10	54	7.276	9.9	37.059
4-11	4	11	55	7.276	9.9	37.265
4-12	4	12	56	7.276	9.9	37.471
4-13	4	13	57	7.276	9.9	37.676
4-14	4	14	58	7.276	9.9	37.882
4-15	4	15	59	7.276	9.9	38.088
4-16	4	16	60	7.276	9.9	38.294
4-17	4	17	61	7.276	9.9	38.500
5-1	5	1	62	6.862	10.49	38.694
5-2	5	2	63	6.862	10.49	38.889
5-3	5	3	64	6.862	10.49	39.083
5-4	5	4	65	6.862	10.49	39.278
5-5	5	5	66	6.862	10.49	39.472
5-6	5	6	67	6.862	10.49	39.667

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
5-8	5	8	69	6.862	10.49	40.056
5-9	5	9	70	6.862	10.49	40.250
5-10	5	10	71	6.862	10.49	40.444
5-11	5	11	72	6.862	10.49	40.639
5-12	5	12	73	6.862	10.49	40.833
5-13	5	13	74	6.862	10.49	41.028
5-14	5	14	75	6.862	10.49	41.222
5-15	5	15	76	6.862	10.49	41.417
5-16	5	16	77	6.862	10.49	41.611
5-17	5	17	78	6.862	10.49	41.806
5-18	5	18	79	6.862	10.49	42.000
6-1	6	1	80	6.492	11.09	42.184
6-2	6	2	81	6.492	11.09	42.368
6-3	6	3	82	6.492	11.09	42.553
6-4	6	4	83	6.492	11.09	42.737
6-5	6	5	84	6.492	11.09	42.921
6-6	6	6	85	6.492	11.09	43.105
6-7	6	7	86	6.492	11.09	43.289
6-8	6	8	87	6.492	11.09	43.474
6-9	6	9	88	6.492	11.09	43.658
6-10	6	10	89	6.492	11.09	43.842
6-11	6	11	90	6.492	11.09	44.026
6-12	6	12	91	6.492	11.09	44.211
6-13	6	13	92	6.492	11.09	44.395
6-14	6	14	93	6.492	11.09	44.579
6-15	6	15	94	6.492	11.09	44.763
6-16	6	16	95	6.492	11.09	44.947
6-17	6	17	96	6.492	11.09	45.132
6-18	6	18	97	6.492	11.09	45.316
6-19	6	19	98	6.492	11.09	45.500
7-1	7	1	99	6.160	11.69	45.675
7-2	7	2	100	6.160	11.69	45.850
7-3	7	3	101	6.160	11.69	46.025
7-4	7	4	102	6.160	11.69	46.200
7-5	7	5	103	6.160	11.69	46.375

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
7-7	7	7	105	6.160	11.69	46.725
7-8	7	8	106	6.160	11.69	46.900
7-9	7	9	107	6.160	11.69	47.075
7-10	7	10	108	6.160	11.69	47.250
7-11	7	11	109	6.160	11.69	47.425
7-12	7	12	110	6.160	11.69	47.600
7-13	7	13	111	6.160	11.69	47.775
7-14	7	14	112	6.160	11.69	47.950
7-15	7	15	113	6.160	11.69	48.125
7-16	7	16	114	6.160	11.69	48.300
7-17	7	17	115	6.160	11.69	48.475
7-18	7	18	116	6.160	11.69	48.650
7-19	7	19	117	6.160	11.69	48.825
7-20	7	20	118	6.160	11.69	49.000
8-1	8	1	119	5.860	12.29	49.167
8-2	8	2	120	5.860	12.29	49.333
8-3	8	3	121	5.860	12.29	49.500
8-4	8	4	122	5.860	12.29	49.667
8-5	8	5	123	5.860	12.29	49.833
8-6	8	6	124	5.860	12.29	50.000
8-7	8	7	125	5.860	12.29	50.167
8-8	8	8	126	5.860	12.29	50.333
8-9	8	9	127	5.860	12.29	50.500
8-10	8	10	128	5.860	12.29	50.667
8-11	8	11	129	5.860	12.29	50.833
8-12	8	12	130	5.860	12.29	51.000
8-13	8	13	131	5.860	12.29	51.167
8-14	8	14	132	5.860	12.29	51.333
8-15	8	15	133	5.860	12.29	51.500
8-16	8	16	134	5.860	12.29	51.667
8-17	8	17	135	5.860	12.29	51.833
8-18	8	18	136	5.860	12.29	52.000
8-19	8	19	137	5.860	12.29	52.167
8-20	8	20	138	5.860	12.29	52.333

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
8-21	8	21	139	5.860	12.29	52.500
9-1	9	1	140	5.589	12.88	52.659
9-2	9	2	141	5.589	12.88	52.818
9-3	9	3	142	5.589	12.88	52.977
9-4	9	4	143	5.589	12.88	53.136
9-5	9	5	144	5.589	12.88	53.295
9-6	9	6	145	5.589	12.88	53.455
9-7	9	7	146	5.589	12.88	53.614
9-8	9	8	147	5.589	12.88	53.773
9-9	9	9	148	5.589	12.88	53.932
9-10	9	10	149	5.589	12.88	54.091
9-11	9	11	150	5.589	12.88	54.250
9-12	9	12	151	5.589	12.88	54.409
9-13	9	13	152	5.589	12.88	54.568
9-14	9	14	153	5.589	12.88	54.727
9-15	9	15	154	5.589	12.88	54.886
9-16	9	16	155	5.589	12.88	55.045
9-17	9	17	156	5.589	12.88	55.205
9-18	9	18	157	5.589	12.88	55.364
9-19	9	19	158	5.589	12.88	55.523
9-20	9	20	159	5.589	12.88	55.682
9-21	9	21	160	5.589	12.88	55.841
9-22	9	22	161	5.589	12.88	56.000
10-1	10	1	162	5.341	13.48	56.152
10-2	10	2	163	5.341	13.48	56.304
10-3	10	3	164	5.341	13.48	56.457
10-4	10	4	165	5.341	13.48	56.609
10-5	10	5	166	5.341	13.48	56.761
10-6	10	6	167	5.341	13.48	56.913
10-7	10	7	168	5.341	13.48	57.065
10-8	10	8	169	5.341	13.48	57.217
10-9	10	9	170	5.341	13.48	57.370
10-10	10	10	171	5.341	13.48	57.522
10-11	10	11	172	5.341	13.48	57.674
10-12	10	12	173	5.341	13.48	57.826

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
10-13	10	13	174	5.341	13.48	57.978
10-14	10	14	175	5.341	13.48	58.130
10-15	10	15	176	5.341	13.48	58.283
10-16	10	16	177	5.341	13.48	58.435
10-17	10	17	178	5.341	13.48	58.587
10-18	10	18	179	5.341	13.48	58.739
10-19	10	19	180	5.341	13.48	58.891
10-20	10	20	181	5.341	13.48	59.043
10-21	10	21	182	5.341	13.48	59.196
10-22	10	22	183	5.341	13.48	59.348
10-23	10	23	184	5.341	13.48	59.500
11-1	11	1	185	5.114	14.08	59.646
11-2	11	2	186	5.114	14.08	59.792
11-3	11	3	187	5.114	14.08	59.938
11-4	11	4	188	5.114	14.08	60.083
11-5	11	5	189	5.114	14.08	60.229
11-6	11	6	190	5.114	14.08	60.375
11-7	11	7	191	5.114	14.08	60.521
11-8	11	8	192	5.114	14.08	60.667
11-9	11	9	193	5.114	14.08	60.813
11-10	11	10	194	5.114	14.08	60.958
11-11	11	11	195	5.114	14.08	61.104
11-12	11	12	196	5.114	14.08	61.250
11-13	11	13	197	5.114	14.08	61.396
11-14	11	14	198	5.114	14.08	61.542
11-15	11	15	199	5.114	14.08	61.688
11-16	11	16	200	5.114	14.08	61.833
11-17	11	17	201	5.114	14.08	61.979
11-18	11	18	202	5.114	14.08	62.125
11-19	11	19	203	5.114	14.08	62.271
11-20	11	20	204	5.114	14.08	62.417
11-21	11	21	205	5.114	14.08	62.563
11-22	11	22	206	5.114	14.08	62.708
11-23	11	23	207	5.114	14.08	62.854

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
11-24	11	24	208	5.114	14.08	63.000
12-1	12	1	209	4.906	14.68	63.140
12-2	12	2	210	4.906	14.68	63.280
12-3	12	3	211	4.906	14.68	63.420
12-4	12	4	212	4.906	14.68	63.560
12-5	12	5	213	4.906	14.68	63.700
12-6	12	6	214	4.906	14.68	63.840
12-7	12	7	215	4.906	14.68	63.980
12-8	12	8	216	4.906	14.68	64.120
12-9	12	9	217	4.906	14.68	64.260
12-10	12	10	218	4.906	14.68	64.400
12-11	12	11	219	4.906	14.68	64.540
12-12	12	12	220	4.906	14.68	64.680
12-13	12	13	221	4.906	14.68	64.820
12-14	12	14	222	4.906	14.68	64.960
12-15	12	15	223	4.906	14.68	65.100
12-16	12	16	224	4.906	14.68	65.240
12-17	12	17	225	4.906	14.68	65.380
12-18	12	18	226	4.906	14.68	65.520
12-19	12	19	227	4.906	14.68	65.660
12-20	12	20	228	4.906	14.68	65.800
12-21	12	21	229	4.906	14.68	65.940
12-22	12	22	230	4.906	14.68	66.080
12-23	12	23	231	4.906	14.68	66.220
12-24	12	24	232	4.906	14.68	66.360
12-25	12	25	233	4.906	14.68	66.500
13-1	13	1	234	4.714	15.27	66.635
13-2	13	2	235	4.714	15.27	66.769
13-3	13	3	236	4.714	15.27	66.904
13-4	13	4	237	4.714	15.27	67.038
13-5	13	5	238	4.714	15.27	67.173
13-6	13	6	239	4.714	15.27	67.308
13-7	13	7	240	4.714	15.27	67.442
13-8	13	8	241	4.714	15.27	67.577

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
13-9	13	9	242	4.714	15.27	67.712
13-10	13	10	243	4.714	15.27	67.846
13-11	13	11	244	4.714	15.27	67.981
13-12	13	12	245	4.714	15.27	68.115
13-13	13	13	246	4.714	15.27	68.250
13-14	13	14	247	4.714	15.27	68.385
13-15	13	15	248	4.714	15.27	68.519
13-16	13	16	249	4.714	15.27	68.654
13-17	13	17	250	4.714	15.27	68.788
13-18	13	18	251	4.714	15.27	68.923
13-19	13	19	252	4.714	15.27	69.058
13-20	13	20	253	4.714	15.27	69.192
13-21	13	21	254	4.714	15.27	69.327
13-22	13	22	255	4.714	15.27	69.462
13-23	13	23	256	4.714	15.27	69.596
13-24	13	24	257	4.714	15.27	69.731
13-25	13	25	258	4.714	15.27	69.865
13-26	13	26	259	4.714	15.27	70.000
14-1	14	1	260	4.537	15.87	70.130
14-2	14	2	261	4.537	15.87	70.259
14-3	14	3	262	4.537	15.87	70.389
14-4	14	4	263	4.537	15.87	70.519
14-5	14	5	264	4.537	15.87	70.648
14-6	14	6	265	4.537	15.87	70.778
14-7	14	7	266	4.537	15.87	70.907
14-8	14	8	267	4.537	15.87	71.037
14-9	14	9	268	4.537	15.87	71.167
14-10	14	10	269	4.537	15.87	71.296
14-11	14	11	270	4.537	15.87	71.426
14-12	14	12	271	4.537	15.87	71.556
14-13	14	13	272	4.537	15.87	71.685
14-14	14	14	273	4.537	15.87	71.815
14-15	14	15	274	4.537	15.87	71.944
14-16	14	16	275	4.537	15.87	72.074

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
14-17	14	17	276	4.537	15.87	72.204
14-18	14	18	277	4.537	15.87	72.333
14-19	14	19	278	4.537	15.87	72.463
14-20	14	20	279	4.537	15.87	72.593
14-21	14	21	280	4.537	15.87	72.722
14-22	14	22	281	4.537	15.87	72.852
14-23	14	23	282	4.537	15.87	72.981
14-24	14	24	283	4.537	15.87	73.111
14-25	14	25	284	4.537	15.87	73.241
14-26	14	26	285	4.537	15.87	73.370
14-27	14	27	286	4.537	15.87	73.500
15-1	15	1	287	4.372	16.47	73.625
15-2	15	2	288	4.372	16.47	73.750
15-3	15	3	289	4.372	16.47	73.875
15-4	15	4	290	4.372	16.47	74.000
15-5	15	5	291	4.372	16.47	74.125
15-6	15	6	292	4.372	16.47	74.250
15-7	15	7	293	4.372	16.47	74.375
15-8	15	8	294	4.372	16.47	74.500
15-9	15	9	295	4.372	16.47	74.625
15-10	15	10	296	4.372	16.47	74.750
15-11	15	11	297	4.372	16.47	74.875
15-12	15	12	298	4.372	16.47	75.000
15-13	15	13	299	4.372	16.47	75.125
15-14	15	14	300	4.372	16.47	75.250
15-15	15	15	301	4.372	16.47	75.375
15-16	15	16	302	4.372	16.47	75.500
15-17	15	17	303	4.372	16.47	75.625
15-18	15	18	304	4.372	16.47	75.750
15-19	15	19	305	4.372	16.47	75.875
15-20	15	20	306	4.372	16.47	76.000
15-21	15	21	307	4.372	16.47	76.125
15-22	15	22	308	4.372	16.47	76.250
15-23	15	23	309	4.372	16.47	76.375

階段	階	趟	折返次數	20m Split time(sec)	速度(km/h)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)
15-24	15	24	310	4.372	16.47	76.500
15-25	15	25	311	4.372	16.47	76.625
15-26	15	26	312	4.372	16.47	76.750
15-27	15	27	313	4.372	16.47	76.875
15-28	15	28	314	4.372	16.47	77.000
16-1	16	1	315	4.219	17.07	77.121
16-2	16	2	316	4.219	17.07	77.241
16-3	16	3	317	4.219	17.07	77.362
16-4	16	4	318	4.219	17.07	77.483
16-5	16	5	319	4.219	17.07	77.603
16-6	16	6	320	4.219	17.07	77.724
16-7	16	7	321	4.219	17.07	77.845
16-8	16	8	322	4.219	17.07	77.966
16-9	16	9	323	4.219	17.07	78.086
16-10	16	10	324	4.219	17.07	78.207
16-11	16	11	325	4.219	17.07	78.328
16-12	16	12	326	4.219	17.07	78.448
16-13	16	13	327	4.219	17.07	78.569
16-14	16	14	328	4.219	17.07	78.690
16-15	16	15	329	4.219	17.07	78.810
16-16	16	16	330	4.219	17.07	78.931
16-17	16	17	331	4.219	17.07	79.052
16-18	16	18	332	4.219	17.07	79.172
16-19	16	19	333	4.219	17.07	79.293
16-20	16	20	334	4.219	17.07	79.414
16-21	16	21	335	4.219	17.07	79.534
16-22	16	22	336	4.219	17.07	79.655
16-23	16	23	337	4.219	17.07	79.776
16-24	16	24	338	4.219	17.07	79.897
16-25	16	25	339	4.219	17.07	80.017
16-26	16	26	340	4.219	17.07	80.138
16-27	16	27	341	4.219	17.07	80.259
16-28	16	28	342	4.219	17.07	80.379
16-29	16	29	343	4.219	17.07	80.500

附錄五 受測者須知及同意書

受試者須知及同意書

研究名稱	攝取支鏈胺基酸與精胺酸對於連續二天手球運動表現及肌肉損傷之影響		
指導教授	張振崗	單位/電話	國立臺灣體育學院運動科學中心 04-22213108#2211
研究生	黃玟璇	手機	0919-798191
研究目的	本研究目的為探討支鏈胺基酸與精胺酸是否降低手球運動造成的肌肉損傷並促進提升運動表現		
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，隨後進行反應測試，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和進行反應測試；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 1.2 g/kg；草莓果醬 0.1 g/kg，奶油 0.1 g/kg，豆漿 5 ml/kg。中、晚餐為 3 菜 1 主菜之自助餐便當。		
實驗限制	在參與本研究期間， <u>不可抽菸、喝酒及補充營養食品(如維他命、高蛋白食品)</u> ，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)。		
反應時間測試	本實驗反應時間測試於運動測試前、後各測試一次，每次測試為耳朵(聽) — 手(反應)一分鐘及眼睛(看) — 手(反應)五分		

	鐘，兩種測試。				
<b>運動測試</b>	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。 <u>這部份的測試將使我感覺疲勞。</u>				
<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，<u>在試驗過程中無須提出任何理由可隨時撤回同意</u>，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>					
<b>受試者姓名</b>		<b>出生年月日</b>		<b>性別</b>	
<b>手機</b>		<b>通訊地址</b>			
<b>身高</b>		<b>球齡</b>		<b>職司</b>	
<b>email</b>		<b>簽名日期</b>			