

國立臺灣體育大學（臺中）

碩士學位論文

在運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸

對於急性低氧環境下耐力表現之影響

The effect of carbohydrate and Branched-chain amino
acids supplementation on endurance performance in
hypoxia environment



研究生：邱志暉 撰

指導教授：巫錦霖 副教授

中華民國 98 年 6 月

論文名稱：在運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸對於急性
低氧環境下耐力表現之影響

院校組別：國立臺灣體育大學（臺中）競技運動學系碩士班
畢業時間及提要別：九十七學年度第二學期碩士學位論文題
要

研究生：邱志暉

在運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸對於急性低氧 環境下耐力表現之影響

摘要

補充碳水化合物可能會藉由增加外源性碳水化合物氧化率等好處使得耐力運動表現提升，而補充支鏈胺基酸可能會在長時間運動後期藉由延緩中樞神經疲勞，增加運動表現，不過研究大多都在常氧下進行，在急性低氧刺激使得代謝上發生改變後可能會有不同的結果。因此本研究目的為探討急性低氧環境下補充碳水化合物以及支鏈胺基酸，對於耐力運動表現及其生理指標的影響。以七名平時有運動習慣，但是沒接受正式訓練的健康男性大學生為研究對象，分成補充 12 克的支鏈胺基酸、12 克的支鏈胺基酸加上 75 克的葡萄糖、75 克的葡萄糖以及安慰劑等四組，在急性低氧環境下的運動前一小時補充。隨後進行 90 分鐘 50% 最大攝氧量的腳踏車運動，之後緊接著進行 85% 最大攝氧量的運動表現測試直到衰竭，並在整個實驗期間採集血液樣本。結果顯示四組的運動表現並沒有顯著的差異（運動表現測試：BCAA 組 353.4 ± 84.2

秒；BCAA+GLU 組 340.9 ± 90 秒；GLU 組 407 ± 77.3 秒；安慰劑組 291.6 ± 42.9 秒)。血漿中胰島素的濃度為 BCAA+GLU 組顯著大於 BCAA 組 ($p=0.008$) 以及安慰劑組 ($p=0.004$)。游離脂肪酸濃度則是 BCAA 組顯著大於葡萄糖組 ($p=0.012$)。血糖濃度 BCAA+GLU 組顯著大於 BCAA 組 ($p=0.02$)。血漿中氨的濃度，以及運動期間脂肪氧化率以及碳水化合物氧化率四組間也是沒有顯著的差異。研究結果顯示，在急性低氧下補充碳水化合物以及支鏈胺基酸，對於運動表現並沒有顯著的影響。

關鍵詞：中樞神經疲勞、運動表現、急性低氧、血清素

The effect of carbohydrate and Branched-chain amino acids supplementation on endurance performance in hypoxia environment

Abstract

Carbohydrate supplementation may improve endurance performance through increasing exogenous carbohydrate oxidation during exercise. Similarly, branched-chain amino acids (BCAAs) supplementation may delay the central nervous system from being fatigued at the end of exercise, and improve endurance exercise performance. Since the previous studies were performed at sea level, there may have a different result on physiological and metabolism response for acute hypoxia environment. The purpose of this study was to determine whether carbohydrate and BCAAs supplementation could alter exercise performance and physiological response in an acute hypoxia condition. Seven healthy college male subjects completed 4 experimental trials. They ingested either 12 g of BCAAs (BCAA group), 12g Branched-chain amino acids plus 75g glucose (BCAA+GLU group), 75g glucose (GLU group) and placebo (PLA group) 1 hour before exercise in acute hypoxia, respectively. Subjects exercised at 50% VO₂ max on cycle ergometer for 90 minutes, and then increased the intensity to 85% VO₂ max exercised to exhaustion. The result shown that there were no difference on exercise performance

between 4 trials (85% VO₂ max to fatigue: BCAA trial 353.4±84.2 seconds, BCAA+GLU 340.9±90 seconds, GLU 407±77.3 seconds, PLA 291.6±42.9). Blood insulin concentrations were significant higher in BCAA+GLU compared to BCAA (p=0.008) and PLA (p=0.004). NEFA concentrations were significant higher in BCAA than that of GLU (p=0.012). Blood glucose concentrations were significant higher in BCAA+GLU than that of BCAA (p=0.02). There were no differences in plasma NH₃ concentration, fat oxidation rates and carbohydrate oxidation rates during exercise between 4 trials. The current results suggested ingestion carbohydrate and BCAAs did not alter endurance performance in acute hypoxia environment.

Key Words : central nervous fatigue, exercise performance, acute hypoxia, serotonin

謝 誌

很難想像兩年的時間就這樣過去了。在這兩年中，我居然從一個怎樣也不會主動念書，死也不肯讀英文的人，變成會自動自發的讀英文 paper，雖然一開始真得很辛苦，不過我還是完成了兩年的研究所課業以及論文，真不敢相信人的可塑性是那麼的高。

在研究所的生活中，我最感謝我的指導老師巫錦霖老師。他為了我們這些研究生付出了太多的心血，花很多時間改論文，儀器出問題時幫我們解決，幫我想實驗讓我可以去葡萄牙發表，還在葡萄牙請我們吃一個奶油球要一歐元的晚餐，甚至犧牲自己的時間來幫我們抽血，對研究要求很高卻從不出現責備的言語，做了太多讓我們很感動的事，對他的感謝不是用文字可以形容的。

除此之外，我也要感謝張振崗老師。其實一開始還頗怕他的，因為他總是擺著一張酷酷的臉，不過這段時間相處下來，才發現那只是他的形象，事實上他有著跟小熊維尼一樣的笑容，溫柔且細心的內在，更沒有一點架子。在運科中心的時間裡，巫老師不在的時候總是一直麻煩著他，非常感謝張老師在這段時間內的指導。

在兩年待在運科中心的日子裡，我要特別感謝我的研究夥伴-漢斯。感謝他和我一起做了兩年的研究，一起面對儀器出問題，一起去葡萄牙遇到扒手，也是他在實驗出狀況時總是挺身而出，解決問題。也要感謝陪我兩年在運科中心的夥伴兼受試者們，洋蔥、勳哥、仁傑、易辰、維哲學長，以及實驗中幫助我最多的維修學姐，還有不知不覺從學妹變成山

寨老闆的玫瑰，感謝你們，你們辛苦了。還有感謝研究所班上的同學，特別是「水電公會」的成員，家銘、豪哥和賴打，感謝他們讓我的研究所生活過得多采多姿。除此之外還有協助我修改論文的書寧及燕螢學姐，和其他沒提到名字的同學們，非常感謝大家的協助。

最後，我要感謝我的爸媽和我的女朋友，讓我可以沒有經濟壓力，沒後顧之憂的完成研究所的學業，因為你們在被後默默的付出，我今天才能夠拿到之前想都不敢想的碩士學位。還有沒有提到名字，卻總是在背後幫助我的各位，謝謝你們。

目錄

摘要	I
Abstract	III
圖表目錄	V
表格目錄	VI
第壹章 緒論	1
第貳章 文獻探討	3
第一節、補充碳水化合物對於耐力運動表現的影響 ...	3
第二節、補充支鏈胺基酸對於耐力運動的影響	11
第參章 研究方法與步驟	19
第一節、實驗設計	19
第二節、實驗對象	19
第三節、實驗步驟	19
第四節、飲料和安慰劑的補充	20
第五節、急性低氧的介入	21
第六節、腳踏車耐力測試	21
第七節、血液樣本的採集與分析	22
第八節、統計方法	25
第肆章 結果	27
第伍章 討論	30
第陸章、參考文獻	54

圖表目錄

圖表 1、運動到衰竭的時間	41
圖表 2、胰島素的濃度變化。	42
圖表 3、血糖的濃度變化。	43
圖表 4、游離脂肪酸的濃度變化。	44
圖表 5、甘油的濃度變化。	45
圖表 6、氨的濃度變化	46
圖表 7、運動期間脂肪氧化率變化。	47
圖表 8、運動期間脂肪氧化率的曲線下面積	48
圖表 9、運動期間碳水化合物氧化率變化	49
圖表 10、運動期間碳水化合物氧化率曲線下面積	50
圖表 11、血漿中支鏈胺基酸濃度。	51
圖表 12、運動期間的心跳率變化	52
圖表 13、運動期間的血氧飽合度變化	53

表格目錄

表格 1、補充碳水化合物對耐力運動表現的影響	34
表格 2、補充支鏈胺基酸對耐力運動表現的影響	37
表格 3、受試者基本資料	40

第壹章 緒論

一、研究背景

如何在長時間運動下依然能夠維持較高的能量輸出一直是個重要的研究課題。補充碳水化合物對於長時間的運動來說，可以維持較高的血糖平衡，並增加外源性的碳水化合物供運動中使用，因而提升運動表現。而支鏈胺基酸（branched-chain amino acid, 簡稱 BCAA）的補充則會和色胺酸（Tryptophan）競爭進入血腦障壁，而減少血清素（serotonin）的產生，藉以減緩中樞神經的疲勞而增加耐力運動表現。

在低氧環境下，會造成能量代謝上的改變，朝向使用更多的碳水化合物作為能量的來源。然而，在低氧環境補充碳水化合物會造成嚴重的血氧飽和度降低，以及過度換氣等痛苦的現象，因此不一定能夠增加運動的表現。而 BCAA 的補充則或許依舊可以藉由延緩中樞神經提升運動的表現，然而仍需要更多的研究去證實這一點。

在急性低氧環境下補充碳水化合物及 BCAA 是否可以增加長時間的耐力運動表現目前還有待更多的研究去證實。之前的研究都是在海平面或是長期暴露於高海拔地區下進行測試，並沒有在急性暴露低氧下來研究過。因此本研究的研究目的為是否在急性低氧環境下補充碳水化合物及 BCAA 依然可以提升耐力的運動表現，並且是否可以藉此提升選手在低

氧環境下進行訓練時的訓練品質。

二、研究目的

本研究目的為在急性低氧環境下的運動，觀察是否對於耐力運動表現上會產生跟常氧下不一樣的反應。探討方向如下：

- (一) 探討在急性低氧的環境下補充碳水化合物是否對於耐力運動表現及其生理指標有所相關影響。
- (二) 探討在急性低氧的環境下補充 BCAA 是否對於耐力運動表現及其生理指標有所影響。

第貳章 文獻探討

第一節、補充碳水化合物對於耐力運動表現的影響

身體在運動中的能量代謝來源會隨著運動強度的不同而有所改變。在低強度長時間的耐力運動中，體能的能量來源主要是來自有氧代謝系統分解脂肪作為能量來源 (Romijn, et al., 1993)。脂肪分解速率雖然慢，但是卻可以提供非常多的能量。以一個體重為 80 公斤且體脂肪 15% 的人來說，體內碳水化合物的量大約有 0.51 公斤，約可以提供 8000 KJ 的能量。然而他體內脂肪的量大約有 12 公斤，卻可以提供 442000 KJ 的能量，這相當於可以提供跑 1300 公里所需的能量 (Jeukendrup, Saris, & Wagenmakers, 1998)。

由於有氧代謝產生能量較慢的關係，當運動強度的提升到超過無氧閾值後，由於有氧代謝產生能量的速率並不足以應付龐大的能量需求，體內能量代謝就會傾向使用醣解作用做為能量的來源。在長時間的運動比賽中，運動員不只要有著比較高的能量輸出，還要能維持長時間較高強度的運動表現才行。

壹、補充碳水化合物對耐力運動的好處

然而，體內的醣類儲存量並不像脂肪一樣可以提供非常多的能量。當進行 64% 最大攝氧量的運動後 120 分鐘，體內的肝醣儲存就只剩下原先儲存量的 20% 了 (Gollnick, Piehl,

& Saltin, 1974) 。因此，對於耐力運動來說，若想維持比較高的運動輸出的話，體內有多少碳水化合物可供消耗是個重要的因素。

從大多的研究中發現，在運動前補充碳水化合物，對於長時間（大於一小時以上）的運動來說是有幫助的（Angus, Greaves, Dancy, & Febbraio, 2000; Fulco 等, 2005; Febbraio, Chiu, Angus, 2000; Jeukendrup, Brouns, Wagenmakers, & Saris, 1997; Sayed, Balmer, & Rattu, 1997; Tsintzas, Liu, Williams, Campbell, & Gaitanos, 1993) 。研究顯示，運動前補充碳水化合物可以提供運動中所需的能量（Arkinstall, Bruce, Nikolopoulos, Garnham, & Hawley, 2001) 、維持血糖（Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986) ，也不會造成肝醣分解量的下降（Jeukendrup 等, 1999) ，甚至對於沒活動的肌纖維來說還可以增加肝醣的合成（Kuipers, Costill, Porter, Fink, & Morse, 1986) 。其他在運動前補充碳水化合物對運動表現影響的相關研究，詳列於表一。

運動前補充碳水化合物會增加可用來代謝產生能量的碳水化合物，藉以增加運動表現。在 Arkinstall, Greaves, Dancy, and Febbraio (2001) 的研究中，以七名男性受試者，在進行 60 分鐘的跑步以及腳踏車的耐力運動前十分鐘補充碳水化合物 8 ml/kg，發現血糖對於整體碳水化合物氧化代謝的貢獻量增加了。這表示除了體內原先的能量之外，補充的碳水化合物可以迅速讓身體使用做為燃料，並增加運動中可利用的碳水化合物。

另一方面，補充碳水化合物也可藉由維持血糖以及比較高的外源性碳水化合物氧化率來增加運動表現 (Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986)。七名受過訓練的耐力運動選手，進行 70% 的腳踏車運動直到衰竭，並在開始前 20 分鐘補充濃度為 6.4% 的 2.0 g/kg 碳水化合物或安慰劑，以及開始運動後的每 20 分鐘補充 0.4 g/kg 的碳水化合物或安慰劑，發現和補充安慰劑的相比，補充碳水化合物的測試中衰竭的時間延長了，且增加了外源性碳水化合物的氧化率 (Coyle, Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986; Jeukendrup, & Gleeson., 2004)。

隨著外源性的碳水化合物氧化率的增加，學者也開始研究肝醣的分解速率會不會隨之下降。6 名受過訓練的選手，進行 120 分鐘 50% VO_{2max} 的腳踏車運動，並補充水，或是 4% 的葡萄糖溶液 (Lo-Glu)，或是 22% 的葡萄糖溶液 (Hi-Glu) 後，發現不管是補充水或是低量及大量碳水化合物，肝醣的分解速率並不會因為碳水化合物量的不同而有所改變 (Jeukendrup 等, 1999)。這顯示不僅有了外援性的碳水化合物可供給能量，再加上本身的肝醣分解速率也不會因而下降，這兩者的加成效果使得運動表現可以因而提升。

此外，補充碳水化合物不只是肝醣分解率不會因此而下降，還可以在低強度的運動中合成肝醣。7 名受試者進行 3 小時 40% W_{max} 的腳踏車運動或是休息 3 小時，並在運動中補充 25% 的碳水化合物，發現補充的碳水化合物不只可以提供運動中所需的能量，還可以增加沒有活動的肌纖維中肝醣的

合成量 (Kuipers, Costill, Porter, Fink, & Morse, 1986)。

研究指出，八名受過訓練的腳踏車選手，在運動前補充含 8% 碳水化合物的飲料 4.5 ml/kg，並依照自己的選擇來實施不同的速度的腳踏車運動一小時後，發現不僅平均能量輸出是碳水化合物組比較高，騎乘腳踏車的距離也是碳水化合物組顯著大於安慰劑組 (El-Sayed, Balmer, & Rattu (1997))。另有研究使用七位受過訓練的長跑選手，在運動開始前補充含有 5% 碳水化合物或安慰劑的飲料 250 ml，並在 30 公里的路跑中每五公里補充 150 ml 的飲料，發現補充碳水化合物的時候跑步的速度比較快，完成 30 公里路跑的時間也比較短 (Tsintzas, Liu, Williams, Campbell, & Gaitanos, 1993)。

此外，十名受過訓練的腳踏車選手，在運動開始後 20 分鐘給予碳水化合物溶液的補充，或是補充安慰劑並進行 70%~79% 的腳踏車運動直到衰竭。發現補充碳水化合物後，血糖比安慰劑組高出了 20%~40%，運動到衰竭的時間也比補充安慰劑組來的久 (Coyle 等, 1983)。七名受過訓練的腳踏車選手在運動前 30 分鐘補充 2 g/kg 的碳水化合物後，並完成 7 kJ/kg 的耐力運動測試大約 120 分鐘後，發現補充碳水化合物可以顯著的降低完成耐力運動測試的時間以及增加耐力運動表現 (Febbraio, Chiu, Angus, 2000)。

大部分的實驗發現，對於長時間（大於一小時）的耐力運動而言，補充碳水化合物對於運動表現是有好處的，可以

讓受試者自願用比較強的強度或是比較快的速度進行運動，並且維持較高的運動強度以及縮短完成運動所需要的時間。

貳、急性低氧環境下的代謝改變

暴露在低氧的環境之下，由於環境下氧分壓下降，身體很快會出現動脈血氧飽和度下降的現象。這現象會使得血紅素結合氧的能力下降，導致血液提供給肌肉運動所需要的氧氣不足，並導致最大攝氧量下降。在研究中，最大攝氧量會隨著海拔高度的上升而下降。當海拔 2400 公尺時，最大攝氧量下降了 12%；海拔 3100 公尺時，下降了 20%；海拔 4000 公尺，則下降了 27% (Dill 等, 1931)。最大攝氧量的下降會使得需要比海平面花費更多的工作強度來完成工作量，因而造成碳水化合物使用比例較高的現象。

除此之外，由於每公升血液含氧量變少的關係，身體要維持足夠的氧氣以維持身體機能，就必須要增加心跳數來彌補氧氣的不足。因此在低氧環境下運動，通常會造成心跳率增加，以及運動表現下滑的現象。在此時若想要維持比較好的運動表現，和常壓常氧相比之下，就必須花費更多的能量才能維持較高的運動強度，且會造成使用更多的碳水化合物代謝來提供運動中所需的能量 (Brooks 等, 1991)。Roberts 的研究中以 11 位沒受過訓練的受試者，分別在海平面以及海拔 4300 公尺高的地區進行同樣強度 (50% VO_{2peak}) 的運動，發現在高海拔地區運動會造成脂肪使用率下降，以及碳水化合物的代謝率增加 (Roberts 等, 1996)。

在急性低氧接觸下還會造成兒茶酚胺激素分泌的增加，特別是腎上腺素（Mazzeo, 2005）。這會造成碳水化合物的使用量增加，並減少了脂肪在低氧環境中代謝的比例（Roberts, et al., 1996）。然而，Lundby等人（2002）的研究中採用了8名受過訓練的受試者，分別在海平面上、長期（四週）居住在低氧（4100m）環境以及使用急性低氧等方式，使用絕對運動強度以及相對運動強度進行測試，發現對於急性低氧和長期低氧來說，碳水化合物的代謝率增加是由於運動強度增加的關係，而不是低氧所造成的影響（Lundby & Vanhall, 2002）。因此，對於急性低氧所造成的影響仍有許多爭議，需要更多研究去證實。

參、低氧環境下補充碳水化合物對耐力運動的影響

由於在高海拔地區會增加碳水化合物的使用率，因此對長時間運動來說，若能補充碳水化合物看起來似乎對耐力運動表現有正面的影響。不過在高海拔地區補充碳水化合物，會減少動脈的血氧飽和，並需要更多的心輸出量、動脈的含氧量、肌肉中的血流量、以及把氧氣從肢幹運送到組織的能力。且增加心輸出量會使得肺泡增加氧氣的分壓，使得導致嚴重的血氧過少現象，並因為過度換氣而使得呼吸痛苦（Fulco 等, 2005）。因此，在低氧環境下補充碳水化合物或許不見得會增加耐力運動表現。

Fulco 等人針對這個現象做了一系列的研究。9 位男性

以及 6 位女性平時有運動習慣的受試者，在實驗開始前 3 個月住在海拔 1800~2200 公尺高的地區，並在中海拔（1800~2200 公尺）以及海拔 4300 公尺高的地方進行耐力運動，以自己最快的時間完成 720 KJ 的做功量，並在運動開始前以及開始後的每 15 分鐘補充碳水化合物或安慰劑。發現長時間居住在中海拔地區有益於運動表現，但補充碳水化合物並沒會增進耐力運動表現（Fulco 等, 2004）。15 位平時有運動習慣的受試者，在實驗前住在大約 2000 公尺高的地區 21 個月後，分別在海平面上以及海拔 4300 公尺的高度進行耐力運動，以自己最快的時間完成 720 KJ 的做功量，並在能量維持平衡的狀態下給予碳水化合物或是安慰劑的補充。結果顯示當體內能量充足的狀況下，在高海拔地區補充碳水化合物對運動表現並沒有顯著的幫助（Fulco 等, 2006）。

然而，也有研究發現在低氧環境下補充碳水化合物對於運動表現有益處。16 位平時有運動習慣的受試者被分成兩組，一組在運動中補充碳水化合物，另一組則補充安慰劑，且在高海拔地區施以不足的熱量攝取。之後分別在海平面以及海拔 4300 公尺高的地區進行運動。首先先進行 20 分鐘 48% VO_{2peak} 的腳踏車運動，再進行 20 分鐘 68% VO_{2peak} 的腳踏車運動，結束之後休息五分鐘，再進行以自己最大能力完成 720 KJ 的運動測試。發現儘管同樣出現了血氧過少等較為痛苦的現象，但補充碳水化合物依然對於運動表現有幫助，減少了最大能力完成 720KJ 的時間（Fulco 等, 2005）。

在低氧環境下補充碳水化合物是否可以因為增加可利用

的能量來源而提升運動表現，還是會因為血氧飽和過少等較痛苦的現象而對於運動表現沒有影響，各有實驗顯示不同的結果。然而，這些實驗大部分都是長期低氧環境下進行，很少在急性低氧下進行。因此，對於急性低氧暴露是否同樣會造成這樣的結果，還有待研究去證實。

第二節、補充支鏈胺基酸對於耐力運動的影響

壹、影響中樞神經疲勞的物質

在需要維持較高強度的長時間運動之後，體內的肝醣含量會大大的降低，緊接著由於濃度的不足，肝醣的分解速度會開始變慢，並造成代謝速度變慢以及血糖濃度降低。在這種能量供應速率不足的情況之下，疲勞的感覺也會跟著產生（Ahlborg 等, 1967）。此時，若沒有適時補充能量的話，想要維持比較高強度的運動表現的話，中樞神經系統的喚醒（Arousal）及動機（Motivation）功能就顯得很重要了。當肌肉疲勞產生的時候，若給予特定的心理上刺激，這些因自發性收縮而感到疲勞的肌肉會因為中樞神經傳來的電流，而增加收縮張力，並達到生理所能承受的最大值（Ikai & Yabe, 1969）。從此看來，中樞神經系統的疲勞與否，對於肌肉已經感到疲勞的人來說是相當重要的。

在中等強度的長時間運動時，研究指出血糖濃度降低以及肝醣儲存量耗竭會造成中樞神經的疲勞（Blomstrand, 2005）。除此之外目前的研究中發現腦中的神經傳遞物質血清素（serotonin或5-hydroxytryptamine，簡稱5-HT）濃度增加的話也會導致中樞神經的疲勞（Bailey, Davis, & Ahlborn, 1993; Blomstrand, 2005）。腦部5-HT的多少牽涉到中樞神經的喚醒（Arousal）、睡意（sleepiness）和心境（mood），這也可能在運動中對於疲勞扮演著重要的角色（Blomstrand, 2005），會減少中樞神經對肌肉的刺激以及連結（Davis,

Alderson, & Welsh, 2000)。而色胺酸 (Tryptophan) 則是合成血清素的重要前驅物，影響血清素的合成。平時色胺酸有90%是和白蛋白 (albumin) 形成結合體的型態儲存，另外10%是游離於血漿中 (Mcmeeamy & Oncley, 1958)。這些在血漿中游離的色胺酸會使用L-system這個特殊的傳遞系統進入血腦障壁中，並在腦部合成5-HT，因而造成疲勞的產生 (Blomstrand, 2005)。

長時間運動下，由於有氧代謝的比例增加的影響，會讓體內分解三酸甘油脂，形成游離脂肪酸來供應能量。而這游離脂肪酸的增加會阻止色胺酸與白蛋白相結合，導致增加血液中的游離色胺酸的量。而色胺酸會經由L-system穿過血腦障壁進入腦部，並且促使腦中的血清素合成 (Jeukendrup & Gleeson, 2004)。除此之外，在長時間運動的尾聲，由於肌肉肝醣被耗盡的關係，體內也會開始使用蛋白質作為能量來源，因而造成血漿中BCAA下降的情形 (Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 1988)，而這BCAA濃度下降的情況會造成Trp/BCAA比值的上升，因而造成腦部5-HT的量增加，並導致中樞神經疲勞 (Blomstrand, Hassmén, Ekblom, & Newsholme, 1991; Davis, Alderson, & Welsh, 2000)。

貳、補充支鏈胺基酸與運動表現

當低強度的運動進行一段時間後，體內的能量來源會主要由有氧代謝來供應，身體會開始分解脂肪組織，形成游離脂肪酸進入血液中，以做為燃料的來源。而此時血漿中游離

脂肪酸濃度的上升，會導致游離色胺酸濃度的提高，並透過運輸傳遞系統進入血腦障壁裡面，加速腦部血清素的合成速率。

支鏈胺基酸包含了白胺酸 (Leucine)、異白胺酸 (Isoleucine) 以及纈胺酸 (Valine) 三種，是種無法由人體自行合成的胺基酸，必須經由外界的食物攝取來獲得。支鏈胺基酸會和色胺酸競爭同一個運輸傳遞系統，進入血腦障壁，與神經突觸相結合，使得色胺酸無法合成血清素 (陳香吟, 2005)。因此補充支鏈胺基酸可以藉由此機制降低血清素的合成 (Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 1988; Davis 等, 1992; Davis, 1995)，以減緩中樞神經的疲勞，並增加運動表現 (Blomstrand, et al., 2004; Mittleman, Ricci, & Bailey, 1998; Mourier 等, 1997; Calders, Pannier, Matthys, & Lacroix, 1997)。

在研究中，8 名受過訓練的受試者進行 57.8% VO₂max 的腳踏車運動直到衰竭，並在運動開始前 14 分鐘，以及運動後每 30 分鐘給予補充低量 (6%) 或是高量 (12%) 的碳水化合物以及安慰劑，發現補充高量碳水化合物的組別，運動到衰竭的時間明顯高於低量組，且低量組也顯著高於補充安慰劑組。安慰劑組的游離色胺酸 (free Trp)、free-Trp/BCAA 以及游離脂肪酸皆顯著高於其他兩組 (Davis 等, 2004)。由此顯示色胺酸對於中樞神經的疲勞是有影響的，或許比較低的色胺酸濃度可以降低中樞神經的疲勞，藉以提昇運動表現。

另外的研究指出，受試者在進行運動前給予支鏈胺基酸補充，並進行 30 公里的路跑或是 42.2 公里的馬拉松運動後，發現對於跑得比較慢（3.05 h - 3.30 h）的人來說，可以顯著提升運動表現，並增進生理以及心理上的行為（Blomstrand, Hassmén, Ekblom, & Newsholme, 1991）。25 位受過訓練的角力選手，在被限制 19 天的每日能量攝取後，分成低卡的控制組（n = 6）、低卡補充高量蛋白質（n = 7）、低卡補充支鏈胺基酸（n = 6）、低卡補充低量蛋白質（hLP, n = 6）以及控制組（n = 6）後，發現補充支鏈胺基酸相較於其他組有顯著降低了脂肪組織的量，並有助於提升運動表現（Mourier 等, 1997）。

在熱環境（34°C）下，6 名女性以及 7 名男性受試者進行 40% VO_{2peak} 直到衰竭，並在運動開始以及開始後的每 30 分鐘補充支鏈胺基酸或是安慰劑。發現補充支鏈胺基酸組的衰竭時間明顯增加了，無論是男性或是女性都一樣（Mittleman, Ricci, & Bailey., 1998）。在動物實驗中，成年大鼠在運動開始前 5 分鐘注射支鏈胺基酸或是安慰劑，並跑步直到衰竭。結果顯示補充支鏈胺基酸老鼠的衰竭的時間顯著長於補充安慰劑者（Calders, Pannier, Matthys, & Lacroix, 1997）。除此之外，有研究讓受試者補充 BCAA 混和碳水化合物的溶液或是安慰劑，並進行 30 公里環繞城市的跑步運動，並在運動結束後進行分辨顏色以及分辨圖形的測驗。結果發現補充 BCAA 的組別在簡單的工作上（分辨文字以及文字顏色）並沒有和安慰劑組有所差異，但是在較困難的工作（分辨形狀以及圖形）的能力，則是顯著高於安慰劑組。顯

示了在長時間運動後，對於較困難的工作上，補充 BCAA 可以有效維持工作表現並提升心理狀態 (Hassmén, Blomstrand, Ekblom, & Newsholme, 1994)。

然而，並不是所有研究都指出補充 BCAA 對於運動表現會有所提升。Hell 等人利用 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 克的色胺酸、6 克的 BCAA 以及 18 克的 BCAA，發現補充 BCAA 對運動表現沒有有影響，而且補充色胺酸甚至對運動表現無任何影響。(Hell, Raaymakers, Saris, & Wagenmakers, 1995)。

參、補充支鏈胺基酸及碳水化合物與運動表現

從前面一節的文獻探討中可看到，補充碳水化合物或是支鏈胺基酸對於耐力運動表現來說，可能有顯著的幫助。可藉由維持血糖、增加可利用的碳水化合物，或是藉由延緩中樞神經疲勞來提升運動表現。因此，開始有學者研究，如果一起補充碳水化合物以及 BCAA 的話是否對於運動表現會有更好的效果。

當長時間運動接近尾聲時，由於肝醣的耗盡，體內也會開始使用蛋白質作為能量來源。由於蛋白質被消耗的結果，會導致血漿中 BCAA 的濃度下降 (Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 1988)，並造成色胺酸濃度上升 (Blomstrand, Hassmén, Ekblom, & Newsholme, 1991)。在長時間的運動下

補充碳水化合物可以減少肝醣的消耗，讓肝醣耗竭的時間延長，或許可以延緩 BCAA 在運動中被當作能量來源而代謝掉，並藉此延長 BCAA 對於中樞神經疲勞的時間。

Davis 等人藉由 8 名受試者進行跑步的運動測試直到衰竭，並在運動開始前 1 小時以及運動中補充碳水化合物、碳水化合物 + 支鏈胺基酸以及安慰劑等三組。結果發現補充碳水化合物以及補充碳水化合物 + 支鏈胺基酸這兩組的衰竭時間沒有顯著性，但顯著高於安慰劑組，顯示補充碳水化合物或是碳水化合物 + 支鏈胺基酸，對耐力運動來說都是有幫助的 (Davis, Welsh, De Volve, & Alderson, 1999)。動物實驗中，讓大鼠分成 1 毫升的 0.9% 氯化鈉 (安慰劑)、支鏈胺基酸 (30 mg)、葡萄糖 (100 mg) 或是支鏈胺基酸 + 葡萄糖等組，並進行跑步運動直到衰竭。結果顯示補充支鏈胺基酸的大鼠運動到衰竭的時間顯著高於補充安慰劑組的大鼠，但和補充碳水化合物的大鼠沒有顯著差異，並且補充碳水化合物 + 支鏈胺基酸對於運動表現說也不會有加成的效果 (Calders, Matthys, Derave, & Pannier, 1999)。

然而，Cheuvront 等人的研究則是使用 7 名已經適應熱環境 (40°C) 的受試者，先在第一天給予很少的碳水化合物並在早上及下午都進行長時間的運動，藉此減少肝醣的儲存量，並在第二天給予 BCAA + 碳水化合物、碳水化合物以及安慰劑，並進行耐力運動測試。發現在熱環境下補充 BCAA 對於運動表現來說並沒有造成影響 (Cheuvront 等, 2004)。另外有研究使用 9 名受過訓練的受試者，分別補充碳水化合

物、BCAA 以及安慰劑，並進行 100 公里的腳踏車耐力運動，發現對於完成運動的時間上並沒有任何的影響（Madsen, Maclean, Kiens, & Christensen, 1996）。

從文獻中看出，補充碳水化合物以及 BCAA 對於運動表現的提升是差不多的，並且一起補充也並不會有加成的效果。BCAA 是否會提升運動表現仍然有著很大的研究空間，特別是對於受過訓練的人以及肝醣儲存量滿載的個體，以及沒受過訓練且可能有著比較高的脂質代謝率的肥胖受試者（Madsen, Maclean, Kiens, & Christensen, 1996）。不過這還需要更多的研究去證實這一點。關於 BCAA 的相關研究整理列於表二。

肆、低氧下補充支鏈胺基酸

在低氧環境下運動會造成最大攝氧量下降及血氧飽和下降等現象，並會代謝更多的碳水化合物作為能量的來源。不過補充碳水化合物會造成嚴重動脈血氧飽和度下降的現象，並因為過度換氣而感覺到呼吸痛苦，因此不一定會提升運動的表現。不過補充 BCAA 由於對於代謝系統的影響不多，或許就不會造成這樣的狀況出現，同時仍然可以提升運動表現。

Bigard 等人讓 24 位受試者分成兩組，12 個人補充 BCAA，另外 12 人補充碳水化合物，並在高海拔地區（2500-4100 公尺）進行 6-8 小時的滑雪運動，發現補充碳水化合物者能量輸出顯著降低了，補充 BCAA 者則無顯著改

變。結果顯示補充碳水化合物對於高海拔地區的長時間運動表現上並沒有幫助，然而補充 BCAA 對於運動表現上則有明顯的益處 (Bigard 等, 1996)。此外，16 位受試者在海拔 3255 公尺高的地區進行 21 天的健走旅行，並在這 21 天期間補充 BCAA 或是安慰劑。發現補充 BCAA 能夠有效的減少肌肉的流失 (Schena, Guerrini, Tregnaghi, & Kayser, 1992)。

在急性低氧環境下補充 BCAA 是否可以藉由減緩中樞疲勞而增加運動表現，目前還有待證實。因此，本研究就是在探討在急性低氧下補充 BCAA 以及碳水化合物是否對於急性低氧下的耐力運動表現會有所影響。

第參章 研究方法與步驟

第一節、實驗設計

本研究採用交叉雙盲的實驗設計。實驗分成四個階段，分別為葡萄糖組，BCAA 組，葡萄糖 + BCAA 組以及控制組，在測試之前 30 分鐘補充飲料或是安慰劑。實驗以最大攝氧量的 50% 進行 90 分鐘的腳踏車運動，並緊接著進行最大攝氧量 85% 的腳踏車運動直到衰竭。隨機排列所有測試的順序，每個測試之間至少間隔四天或一星期，以防止產生訓練的效果。

第二節、實驗對象

以 7 位健康男性為研究對象，受試者平時有從事規律運動，但不是受過良好訓練的運動員，且沒有心血管疾病、糖尿病、高血脂症等疾病，實驗期間沒有服用任何藥物及抽煙喝酒等不良嗜好，受試者均填寫身體健康問卷調查表（附件一），並簽署研究自願同意書（附件二）。本研究也通過國立台灣體育大學（台中）人體試驗委員會的審核。

第三節、實驗步驟

每位受試者都在急性低氧下隨機完成四次的腳踏車運動測試，分別為補充葡萄糖、補充 BCAA、補充葡萄糖 + BCAA 以及補充安慰劑等四組。受試者在測試之前先填寫受試同意書，並詳細了解實驗的細節，以及實驗開始前 24 小時不要飲

用含酒精或刺激性的飲料及食物，也不要從事過多的身體活動。所有受試者在第一次測試之前紀錄前 24 小時的飲食內容，且在每階段測試前 24 小時都要求受試者食用相同的食物。測試前提醒要隔夜禁食至少 10-12 小時，並於早上八點抵達實驗室。

受試者抵達實驗室後稍事休息 5 分鐘，埋入滯留針並採集血液。接下來喝下 250ml 的飲料，並休息 30 分鐘後進行運動測試，且於測驗開始前 10 分鐘進入低氧艙，以確保血氧飽和已經適應了低氧的環境。在測試之前先接上移動式氣體分析儀、心跳計以及血氧飽和監測器，再進行 50% $\text{VO}_{2\text{max}}$ 腳踏車運動 90 分鐘。運動結束後確認受試者的狀況，並且休息 1 分鐘後緊接著進行耐力的運動測試。測驗期間可以每 15 分鐘給予 2ml/kg 的開水，以確保不是在脫水情況下運動。測驗結束後依舊待在低氧艙中兩小時以採集血液樣本。

第四節、飲料和安慰劑的補充

在實驗中，碳水化合物是以 75 克的葡萄糖，溶於 250ml 的柳橙調味劑後給受試者飲用。而 BCAA 則是將 12 克的 BCAA 溶入 250ml 的柳橙調味劑中。安慰劑則是直接飲用柳橙調味劑。飲料補充是由雙盲的實驗控制，所有的飲料皆由專人在實驗前調配完成，且有著相似的外表和味道，以確保實驗者以及受試者不知道補充了什麼東西。

第五節、急性低氧的介入

低氧環境是使用低氧艙（Colorado Altitude Training, Boulder, CO, USA）的方式，製造常壓低氧的環境。工作人員在受試者進入前先行開機，並把高度設定為 2300m(約 15% 氧氣)。受試者一開始先在低氧艙外面等候，並飲用飲料或安慰劑，等到測試之前 10 分鐘進入低氧艙內，坐著休息，並且連接好測試儀器，直到運動測試開始。每次運動測試時皆會打開低氧艙內的冷氣機，並把溫度固定於 23°C，並記錄每次運動時的溫度以及濕度，以確保所有階段的運動測試的環境皆為相同的。

第六節、腳踏車耐力測試

在實驗前，受試者先於低氧艙內測試急性低氧環境下的最大攝氧量。在測驗前十分鐘進入低氧艙，連接上氣體分析儀（Cortex, Metamax 3B, Germany）後開始進行漸增的腳踏車運動。運動強度由 75W 開始，每 3 分鐘增加 25W，並把轉速維持在 70rpm，直到衰竭。衰竭時所測得的攝氧量最大值就定義為最大攝氧量，並將衰竭時候所騎乘腳踏車的瓦數乘以 50%，定義成為運動強度。

腳踏車的運動測試總共有兩項，分別為 90 分鐘 50% VO_{2max} 的測試以及緊接著進行 85% VO_{2max} 直到衰竭的耐力測試。在 90 分鐘 50% VO_{2max} 的測試結束之後，受試者可以休息五分鐘，並接著進行 85% VO_{2max} 直到衰竭，將衰竭定義為超過 5 秒無法再繼續維持 70rpm 的運動強度。所有測試都是

使用低氧艙內的腳踏車測功器進行測試。在測試中採集氣體的樣本，並記錄心跳率，血氧飽和率以及耐力測試中所使用的瓦數。

第七節、血液樣本的採集與分析

血液中總共要測量血糖、血乳酸、游離脂肪酸、甘油、胰島素、色胺酸、血清素、氨以及 BCAA 的濃度。所有血液樣本的採集點分別為耐力運動測試測驗開始前，以及隨後的每 30 分鐘，跟 85% VO_{2max} 直到衰竭測試中的每五分鐘等時間點，在前臂埋設滯留針，並採集 10ml 左右的血液樣本，裝入採血管中。採集完成後置於 4°C 的離心機中以 500g 離心 20 分鐘，以採集血漿，並分析血漿中的各項生化指標。

一、血漿氨基酸濃度的測量

血漿中氨基酸濃度的檢測，是以毛細管電泳 (capillary electrophoresis, 簡稱 CE) 的方式分析。血漿樣本在檢測前先進行去蛋白質反應，在 100 μ L 血漿中加入 100 μ L 的 acetone (Zunic, Jelic-Ivanovic, Colic, & Spasic, 2002)，靜置 30 分鐘，再於 4°C 以 10000rpm 離心 10 分鐘，採集上清液。去蛋白質後的血漿取 100 μ L 裝入 eppendorf 中，再加入 50 μ L 20mM borate (PH 10.0) 內含 200 μ M Nor-leucine，同時加入 100 μ L 新鮮配置的 5.5mM fluorescein isothiocyanate (FITC) / acetone，再於室溫下避光後隔夜進行衍生化反應。

氨基酸的衍生化反應後，在 4°C 以 10000rpm 離心 10 分鐘，以 20 mM Borate (PH 10.0) 緩衝液稀釋 100 倍，再使用

P/ACE MDQCE (Backman, Fullerton, CA, USA) 進行分析。CE 的管柱長 110cm，內徑 50 μ M，以 5 秒的時間注入樣本，壓力值為 0.5 psi。導電用的緩衝溶液為 sodium borate (pH 9.2) 120mM，內含 45mM α -cyclodextrin (Arlt, Brandt, & kehr, 2001)。分離的電壓為 25kV，溫度為 25°C，時間共 120 分鐘，以 (Laser Induced Fluorescence Detector, 簡稱 LIF) 偵測法進行檢測，excitation 波長為 488 nm，emission 波長為 525 nm。這種方法所檢測的結果可用來分析血漿中的白胺酸、異白胺酸以及擷胺酸。

由已知濃度胺基酸標準品檢測各胺基酸面積，分別對照 Nor-Leu 之標準曲線面積與濃度的換算公式，測量血漿中的白胺酸、異白胺酸以及擷胺酸的濃度。

二、血漿中色胺酸濃度的測試

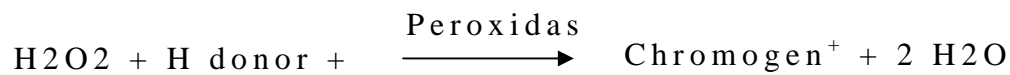
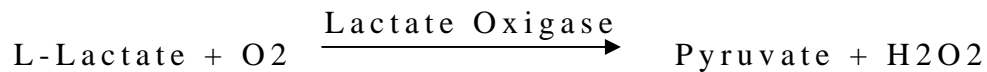
血漿中的色胺酸濃度，是以 Bridge-It L-tryptophan fluorescence 商業試劑進行操作以及反應 (Mediomics, St. Louis, MO, USA)，再以 microplate fluorescence reader 檢測 (Plate Chameleon, Hidex, Turku, Finland)，exmission 波長為 485 nm，emmission 波長為 665 nm。

三、血漿中血清素的檢測

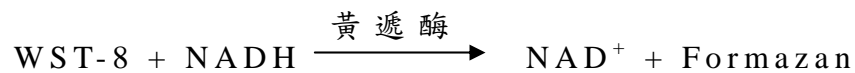
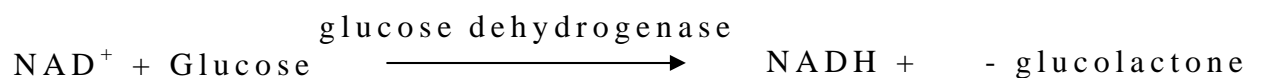
血漿中的血清素濃度，以酵素免疫分析法 (Enzyme-linked immunoassay, 簡稱 ELISA) 進行操作以及使用商業試劑 (IBL, Hamburg, Germany) 檢測，吸光值波長 405 nm，於一週內進行操作並檢測其濃度。

四、血漿中其餘生化指標的檢測

血漿中乳酸的濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Randox, Co. Antrim, United Kingdom)，再以全自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan) 來檢測，吸光值波長 550nm，化學反應原理如下：

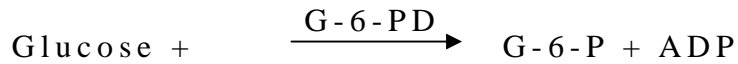


血漿中氨的濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Kanto Chemical CO., Kanagawa, Japan)，再以全自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan) 來檢測，吸光值波長 450nm，化學反應原理如下：



血漿中血糖的濃度，以商業試劑 (Quick Auto Neo Glu-HK) 進行操作以及反應 (Shino, Tokyo, Japan)，並以全自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan) 檢測，

exmission 波長為 340nm，emmission 波長為 450nm



血漿中游離脂肪酸的濃度，以商業試劑進行操作以及反應（Wako NEFA, Germany），並以全自動生化分析儀（Hitachi 7020, Ibaraki, Japan）檢測。

血漿中甘油的濃度，以商業試劑進行操作以及反應（Randox, Co. Antrim, United Kingdom），並以全自動生化分析儀檢測。

血漿中胰島素的濃度，以商業試劑進行操作以及反應（Roche Diagnostics, Basel, Switzerland）並與 streptavidin 微粒子與 anti-insulin AB-biotin、anti-insulin AB-Ru(bpy)₃²⁺ 反應來產生化學冷光，並以化學冷光分析儀（Elecsys 2010, Roche Diagnostics, Basel, Switzerland）進行檢測。

第八節、統計方法

所有的資料皆以平均數±標準誤呈現。攝取飲料或安慰劑後，運動表現的數據以 one way 重複量數 ANOVA 來分析其

差異。各時間點所測得的各項生理以及生化指標，使用 two way ANOVA (repeat measure, 重複量數) 來分析各時間點中飲料或安慰劑的補充之間的差異，並使用 Bonferroni 法進行事後比較。以 SPSS for Windows 10.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 進行分析，並將顯著性定義為 p 值小於 0.05。

第肆章 結果

一、受試者基本資料

受試者的基本資料如表三。

二、運動表現

受試者的運動表現如圖一。BCAA 組運動到衰竭的時間為 353.4 ± 84.3 秒；BCAA+GLU 組為 340.9 ± 90 秒；GLU 組為 407 ± 77.3 秒；安慰劑組為 291.6 ± 42.9 秒。結果顯示各組間並沒有顯著的差異。

三、血液生化指標

(一) 胰島素濃度變化

各組間的胰島素濃度變化如圖二。結果顯示補充 BCAA+GLU 這組的胰島素濃度顯著高於 BCAA 組 ($p=0.008$) 以及安慰劑組 ($p=0.004$)。在各個時間點中，補充飲料之後的第 30 分鐘，BCAA+GLU 組的胰島素濃度顯著高於 BCAA 組 ($p=0.013$) 以及安慰劑組 ($p=0.008$)。而 BCAA 組顯著高於安慰劑組 ($p=0.003$)。在運動開始時，BCAA+GLU 組的胰島素濃度顯著高於 BCAA 組 ($p=0.007$) 以及安慰劑組 ($p=0.005$)。而 GLU 組則是顯著高於 BCAA 組 ($p=0.028$) 以及安慰劑組 ($p=0.021$)。在運動開始後第 30 分鐘，BCAA+GLU 組的胰島素濃度顯著高於 BCAA 組 ($p<0.001$) 以及安慰劑組 ($p<0.003$)。而 GLU 組則是顯著高於 BCAA 組 ($p=0.042$) 以及安慰劑組 ($p=0.025$)。在運動開始後第 60 分鐘，BCAA+GLU 組的胰島素濃度顯著高於 BCAA 組

($p=0.021$) 以及安慰劑組 ($p=0.002$)。其餘各時間點間則沒有顯著的差異。

(二) 血糖濃度變化

各組間的血糖濃度變化如圖三。結果顯示 GLU 組的血糖顯著高於 BCAA 組 ($p=0.021$)。

(三) NEFA 濃度變化

各組間血液中的脂肪酸濃度如圖四。運動中 BCAA 組的游離脂肪酸顯著高於 GLU 組 ($p=0.012$)。

(四) 甘油濃度變化

各組間血液中的甘油濃度如圖五。結果顯示運動中 GLU 組的甘油顯著低於 BCAA 組 ($p=0.021$)。

(五) 氨的濃度變化

各組間血液中的 NH_3 濃度如圖六。結果顯示各組間血漿中氨的量並沒有顯著的差異 ($p>0.05$)。

四、脂肪和碳水化合物氧化率

(一) 脂肪氧化率

在運動中的脂肪氧化率變化以及氧化率的曲線下面積如圖七和圖八。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。

(二) 碳水化合物氧化率

在運動中的碳水化合物氧化率變化以及氧化率的曲線下面積如圖九和圖十。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。

五、心跳和血氧飽和度

(一) 心跳

在運動中的碳水化合物氧化率變化以及氧化率的曲線下面積如圖十一。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。

(二) 血氧飽和度

在運動中的血氧飽和度如圖十二。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。

第五章 討論

本研究顯示，在急性低氧環境下補充碳水化合物及支鏈胺基酸，對於長時間中等強度的耐力運動之後的高強度運動表現，並沒有顯著的影響。在急性低氧環境下運動，會消耗更多的碳水化合物，並可能會使得肝醣的消耗量增加 (Roberts 等, 1996)，並在長時間運動後期因為肝醣含量不足的關係，使得運動表現變差 (Brooks 等, 1991)。在本研究中攝取支鏈胺基酸以及碳水化合物，期待能藉由延緩肝醣衰竭以及中樞神經疲勞等因素，來增加運動表現。不過結果顯示和安慰劑相比，補充碳水化合物及支鏈胺基酸並不會影響急性低氧環境下的運動表現。

補充 BCAA 以及碳水化合物後，即使和安慰劑組相比，也沒有增加運動表現，這樣的結果和一些相關的研究結果 (Blomstrand, Andersson, Hassmén, Ekblom, & Newsholme, 1995; Chevront 等, 2004; Madsen, Maclean, Kiens, & Christensen, 1996; Watson, p., Shirreffs, S. M., & Maughan, 2004) 相似。在混合補充 BCAA 加上碳水化合物之後，發現血漿中的胰島素濃度較其他組增加了，且在運動後期顯著抑制了由運動所引起的游離脂肪酸增加。然而在 Jentjens, (2001) 的研究中，讓受試者在肝醣耗盡的情況下補充碳水化合物加上蛋白質以及 Leucine 等胺基酸，發現胰島素濃度和只補充碳水化合物相比顯著的增加了，但是對於肝醣的合成並沒有影響。除此之外，在 Carter, Jeukendrup, Mann, & Jones (2004) 年的研究中，讓受試者在運動中以每分鐘 1 克左右的

速率注射葡萄糖，發現儘管看到葡萄糖進入組織的能力有增加的現象，不過對於運動表現同樣沒有影響。

在補充碳水化合物之後，發現對於運動表現上沒有任何的影響。在運動過後大約一小時左右，碳水化合物氧化率的曲線下面積就已經超過本研究所補充的碳水化合物劑量 75 克了，這有可能因為補充劑量不足的關係，使得對於運動表現沒有影響。然而在 Jentjens (2003) 的研究中，讓受試者分別補充不同量的碳水化合物，最高到 200 克，發現即使補充這麼大量的碳水化合物，對於運動表現一樣沒有任何影響。而低氧環境下，Fulco 等人 (2005) 讓受試者在海拔 4300 公尺的高度下運動，並在運動開始後的每 15 分鐘補充碳水化合物溶液，發現對於運動表現也是沒有顯著的影響，在他之後的研究 (Fulco 等, 2007) 中也得到了同樣的結果。

造成這種現象的其中一種可能的原因為運動後期的肝醣儲存量並沒有被耗盡，即使是在沒有補充任何飲料的安慰劑組中。在其他的研究中顯示，在運動後期肝醣的量並沒有被耗盡的話，在此時補充碳水化合物也不會增加運動表現 (Carter, Jeukendrup, Mann, & Jones, 2004)，即使是在低氧環境下 (Fulco 等, 2007)。在本研究中有兩個觀點或許可說明這個現象。

第一個是在運動後期血糖的濃度依舊維持和禁食時的水準差不多。先前的研究中指出，補充碳水化合物對於中等強度的穩定運動來說可以增加衰竭的時間，藉由防止血糖過

低、維持碳水化合物氧化率，並減少肝醣的利用以及衰退率 (Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986)。而有另外的研究顯示，在進行約 170 分鐘 70% 最大攝氧量的運動後，沒有補充碳水化合物的話，肌肉中的肝醣會減少 60%，而且血漿中的血糖也會比安靜時的濃度來得低 (Coggan & Coyle, 1987; Coyle, 1992)。然而在本研究之中，安慰劑組的運動過程以及衰竭時血糖的濃度皆維持在 80 mg/dl 左右，和禁食後的量差不多，並沒有衰退的現象。這可能代表著急性低氧的影響，使得組織不會大量的利用血糖，使血糖進入組織中，使得血糖並沒有衰退的現象。

另一個可說明肌肝醣可能還沒耗竭的原因是血液中氮的量。當肝醣衰竭時，會增加代謝體內的胺基酸作為能量來源，其中也包括 BCAA。然而代謝胺基酸後會釋放出過多的 NH_3 ，這可能對於運動表現來說是有害的 (Wagenmakers, 1992)。在本研究中，儘管血漿中的 BCAA 在運動開始後即穩定的減少，各組的個時間點間 NH_3 的濃度都很接近，甚至於在衰竭時的濃度各組間也沒有顯著的差異，且 UREA 和 BUN 也呈現了相同的結果，因此 BCAA 的減少可能並不是由於被氧化的關係。這可能代表著在急性低氧環境下進行 90 分鐘 50% 最大攝氧量的運動並沒有耗盡肌肉中的肝醣，因此 NH_3 在此時或許對於運動表現並無任何的影響。

研究中顯示，在運動前補充碳水化合物後，會由於胰島素增加的關係，抑制因運動所提升的游離脂肪酸濃度，並抑制血漿中 trp 的增加，並可能藉此延緩中樞神經疲勞的產生。

而本研究中，NEFA 的濃度只在補充 glucose 組和 BCAA 組中有顯著的降低，且甘油濃度也只在運動的 90 分鐘有顯著差異，這可能使得延緩中樞神經疲勞的時間出現得太晚，或是效果比較不明顯，因此並無法增加運動表現。造成這樣的現象可能是因為低氧環境的刺激，使得運動強度增加（Brooks 等, 1991），並增加碳水化合物氧化率，相對來說就已經先抑制了脂肪酸濃度的增加，使得抑制游離脂肪酸濃度的效果比較不明顯。

還有一種可能造成補充 BCAA 對於運動表現沒有影響的是 BCAA 補充量。在 Mittleman (1998) 研究中顯示，補充 BCAA 之後血漿中的 BCAA 含量增加到休息時候的 2.5 倍，且顯著的增加了運動表現。而 Davis (1999) 的研究中，讓受試者服用 7g 的 BCAA 混合 CHO，發現對於運動表現同樣有提升的效果。然而，Van Hall (1995) 的研究讓受試者補充低量 (6g) 和高量 (18g) 的 BCAA 以及 TRP (3g)，卻發現對於運動表現卻沒有任何影響。而本研究中，補充 12g 的 BCAA 之後，血漿中的 BCAA 大約上升了 2.5-3 倍，這顯示這樣的補充量應該是足夠的，只是對運動表現無顯著幫助。

本研究顯示，在急性低氧環境下的運動前一小時補充 GLU、BCAA 以及 GLU+BCAA，對於長時間運動之後的高強度運動來說並不會有顯著的影響。而造成這樣結果可能原因包括肌肝醣尚未耗竭，NEFA 被抑制的效果不明顯，以及 TRP 所導致的中樞神經疲勞所出現的影響時間不足有關係。

表格 1、補充碳水化合物對耐力運動表現的影響

受試者	實驗設計	主要結果	參考文獻
7位有經驗的長跑選手	進行 30 公里的路跑，每 5 公里補充含有 5%CHO 或安慰劑的飲料 150ml	運動中補充 CHO 組完成 30 公里路跑的時間顯著少於補充安慰劑組	Tsintzas, et al., 1993
七名受過訓練的耐力運動選手	1. 在開始前 20 分鐘補充 2.0 g/kg 的碳水化合物或安慰劑，以及開始運動後的每 20 分鐘補充 0.4 g/kg 的碳水化合物或安慰劑。 2. 進行 70%的腳踏車運動直到衰竭。	和補充安慰劑相比，補充碳水化合物的測試中衰竭的時間延長了，且增加了外援性碳水化合物的氧化率	Coyle, 1986
八名受過訓練的腳踏車選手	1. 在運動前補充含有 8% 碳水化合物的飲料 4.5ml kg ⁻¹ 。 2. 照自己的選擇來實施不同的速度的腳踏車運動一小時	發現不僅平均能量輸出是碳水化合物組比較高，騎乘腳踏車的距離也是碳水化合物組顯著大於安慰劑組	El-Sayed, et al., 1997
十名受過訓練的腳踏車選手	1. 在運動開始後 20 分鐘給予碳水化合物溶液的補充，或是補充安慰劑。 2. 進行 70%~79%的	補充碳水化合物後血糖比安慰劑組高出了 20%~40%，運動到衰竭的時間也比補充安慰劑組來	Coyle, 1983

	腳踏車運動直到衰竭。	的久	
七名受過訓練的腳踏車選手	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在運動前 30 分鐘補充 2 g/kg 的碳水化合物 2. 完成 7kJ/kg 的耐力運動測試大約 120 分鐘 	補充碳水化合物可以顯著的降低完成耐力運動測試的時間以及增加耐力運動表現	Febbraio, et al., 2000
十名男性的受試者	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運動開始時以及開始後每一小時補充 43 克的蔗糖或是安慰劑 2. 進行腳踏車運動 4 小時 	補充碳水化合物可以維持血糖濃度，防止肝醣耗竭，並提升活動結束前的運動表現	Hargreaves, et al., 1984
十名受過訓練的男性受試者	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運動前5分鐘補充 45克的液態CHO、固態CHO以及安慰劑 2. 進行77% VO_{2max} 的腳踏車運動45分鐘 	補充 CHO 的能量輸出比較高，且有著比較好的運動表現	Neufer, et al., 1987
八名受過訓練的男性受試者	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運動中補充碳水化合物溶液或是安慰劑 2. 進行 7 個 12 分鐘的 70% VO_{2max} 腳踏車運動，並在最後 12 	補充碳水化合物有著比較好的能量輸出，以及運動表現	Mitchell, et al., 1988

	分鐘自由控制速度		
八名受過訓練的男性受試者	<ol style="list-style-type: none"> 1. 補充 4.5g/kg^{-1} 的碳水化合物或是安慰劑 2. 盡最大的能力進行腳踏車運動 1 小時 	補充碳水化合物組的平均能量輸出顯著高於安慰劑組，且運動距離也比較長	El-Sayed, et al., 1996
19 位受過耐力訓練的受試者	<ol style="list-style-type: none"> 1. 補充 14 ml/kg 的 7.6% 碳水化合物電解質或安慰劑 2. 以最大的能力完成固定的做功量（約 1 小時） 	補充碳水化合物組完成固定做功量的時間比較短	Jeukendrup, et al., 1997

表格 2、補充支鏈胺基酸對耐力運動表現的影響

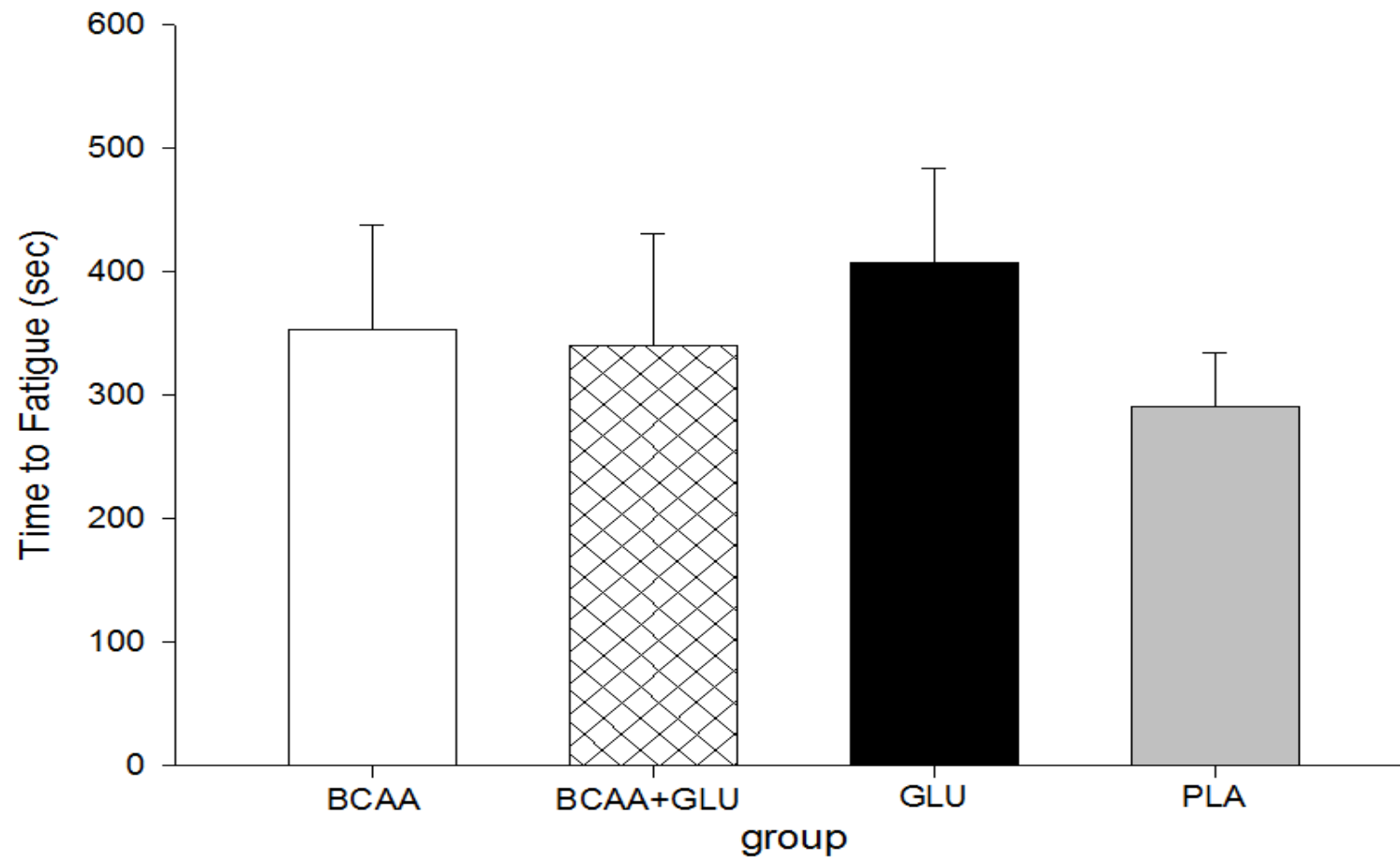
受試者	實驗設計	主要結果	參考文獻
25 位受過訓練的角力選手	被限制 19 天的每日能量攝取後，分成低卡的控制組 (n = 6)、低卡補充高量蛋白質 (n = 7)、低卡補充支鏈胺基酸 (n = 6)、低卡補充低量蛋白質 (n = 6)以及控制組 (n=6)	補充支鏈胺基酸相較於其他組有顯著降低了脂肪組織的量，並有助於提升運動表現	Mourier, 1997
22 位受軍隊訓練的受試者	補充 BCAA 後進行軍隊訓練約 1.5 小時	藉由提升腦部的 5-hydroxytryptamine (5-HT)來延緩中樞神經疲勞，提高長時間運動下的運動表現	Blomstrand, Celsing, & Newsholme., 1988
6 位女性以及 7 為男性受試者	1. 每 30min 補充 BCAA 或安慰劑 2. 在熱環境下 (34.4 °C) 進行 40% VO _{2max} 直到衰竭	補充 BCAA 組明顯提升了血漿中的 BCAA 濃度，且衰竭的時間也顯著增加了	Mittleman, Ricci, & Bailey., 1998
8 位受試者	1. 運動前 1 小時以及運動中補充碳水化合物、碳水化合物+	補充碳水化合物或是碳水化合物+BCAA 在衰竭時間	Davis, et al., 1999

	BCAA 或是安慰劑 2. 分別進行走、快走以及慢跑直到衰竭	上皆顯著高於補充安慰劑，但兩者沒有顯著差異	
56 隻成年的老鼠	1. 在運動前補充 BCAA、碳水化合物以及碳水化合物+BCAA 或安慰劑 2. 跑步直到衰竭	補充 BCAA 組跑步到衰竭的時間明顯增加了，但和碳水化合物組沒差異	Calders, et al., 1999
30 隻成年的老鼠	1. 運動前 5 分鐘以及運動後每 30 分鐘補充 BCAA 或安慰劑 2. 跑步直到衰竭	補充 BCAA 的老鼠衰竭的時間顯著增加了	Calders, et al., 1997
9 位受過訓練的男性受試者	1. 分別補充碳水化合物、碳水化合物+BCAA 或是安慰劑 2. 進行完成 100 公里的腳踏車運動	補充碳水化合物、碳水化合物+BCAA 在完成 100 腳踏車運動的時間上並沒有顯著的差別	Madsen, et al., 1996
5 位受過訓練的男性受試者	1. 在運動中補充 BCAA+CHO、CHO 以及安慰劑 2. 在肝醣儲存量不足的情況下進行 75% VO ₂ max 的腳踏車運動	對於運動表現上沒有影響	Blomstrand, et al., 1995

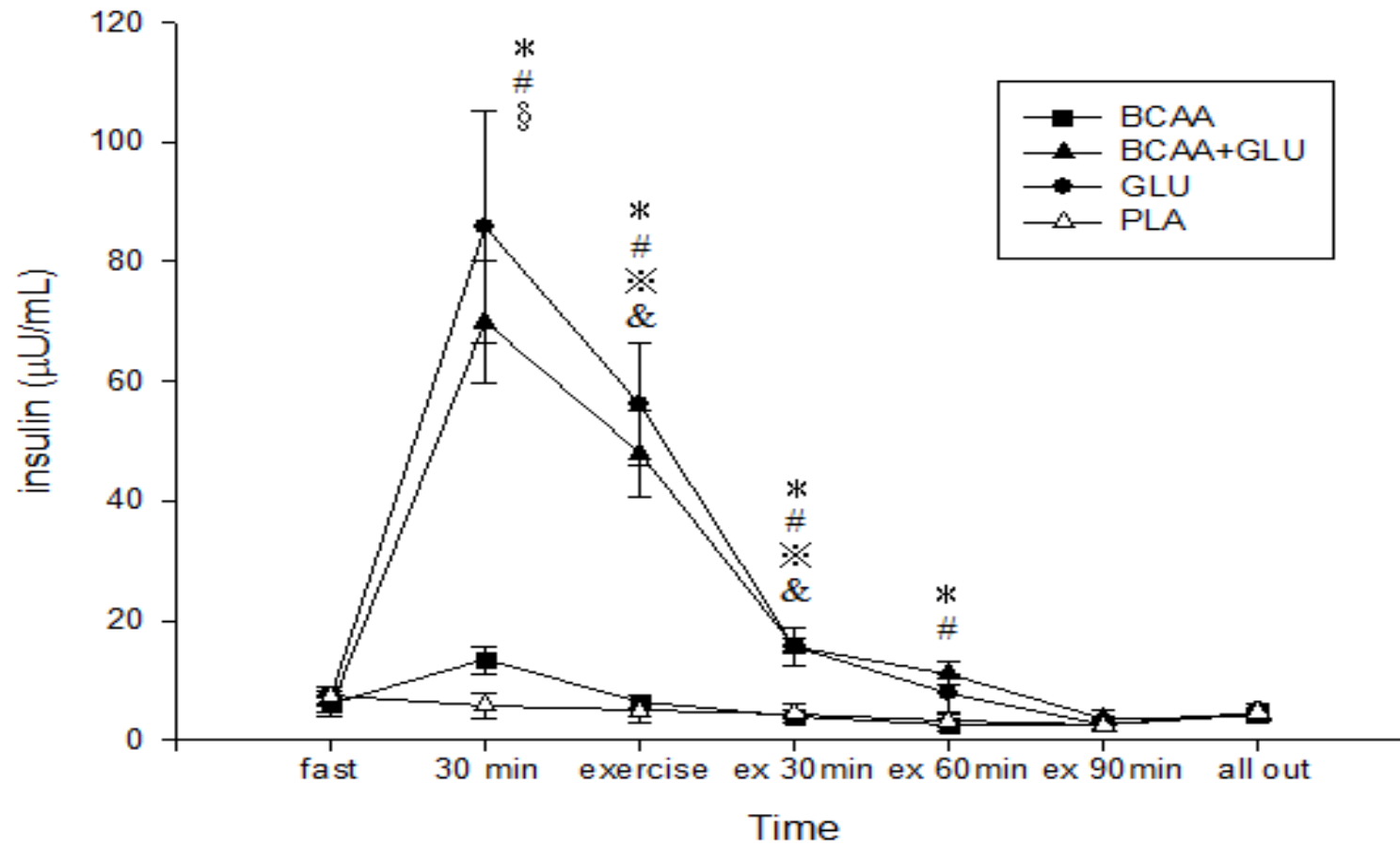
<p>9 名男性受試者</p>	<p>1.補充 12g 的 BCAA 或是安慰劑 2.在熱環境 (30°C) 中且肝醣被耗盡的情況下進行 50% VO_{2peak} 運動直到衰竭</p>	<p>對於衰竭的時間以及心跳率皆沒有顯著的改變</p>	<p>Watson, et al., 2004</p>
<p>10 名受過訓練的男性受試者</p>	<p>1. 分別補充補充 3 克的色胺酸、6 克的 BCAA 以及 18 克的 BCAA 2. 進行 70%-75% 最大輸出功率的腳踏車運動直到衰竭</p>	<p>補充 BCAA 對運動表現沒有有影響，而且補充色胺酸甚至也沒看出對運動表現有任何影響</p>	<p>Hell, et al., 1995</p>

表格 3、受試者基本資料

基本資料	平均數 (±SEM)
人數	7
身高 (公尺)	1.6843 ± 0.0186
體重 (公斤)	69.86 ± 2.82
年齡 (歲)	25.6 ± 0.6
最大攝氧量 (ml/min/kg)	38.3 ± 1.8

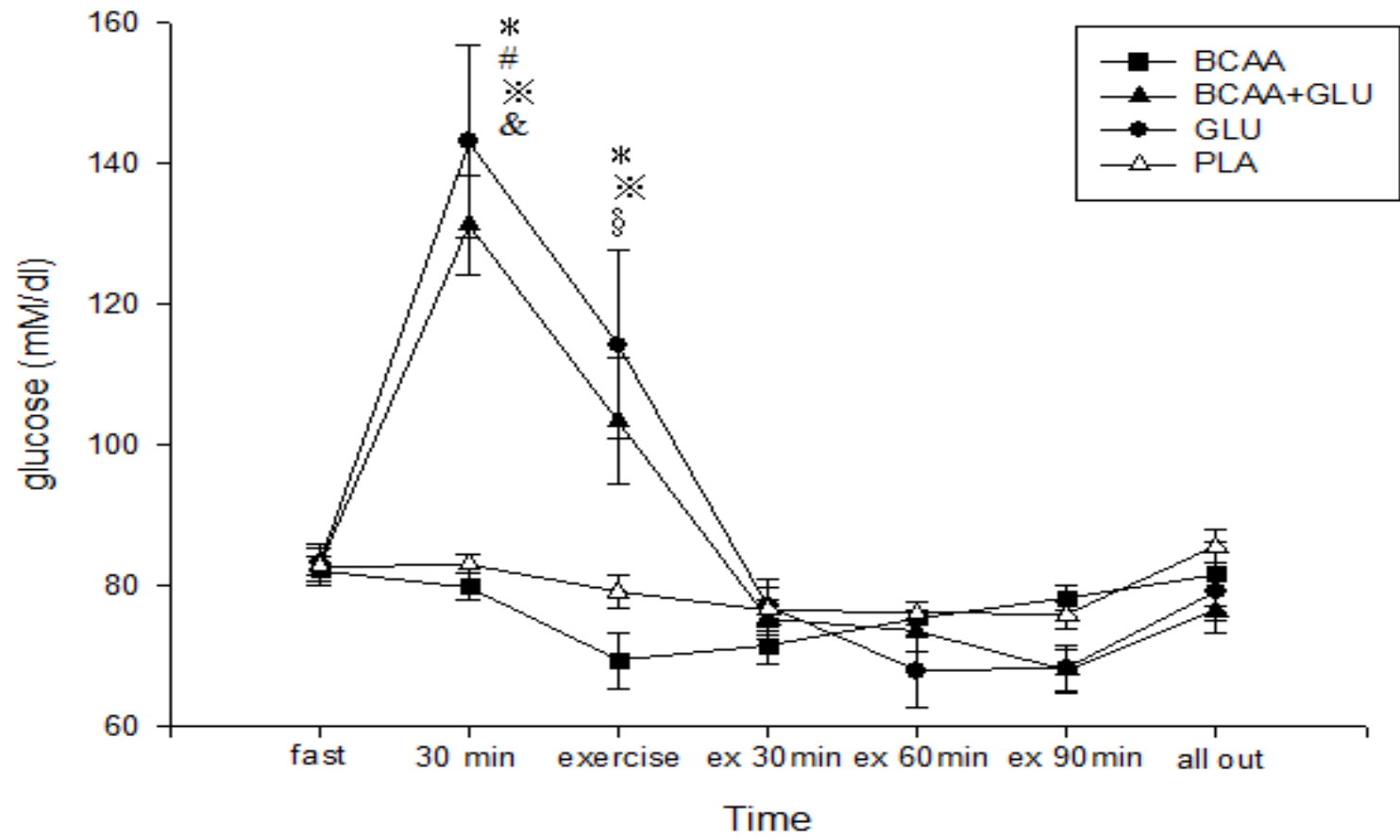


圖表 1、運動到衰竭的時間



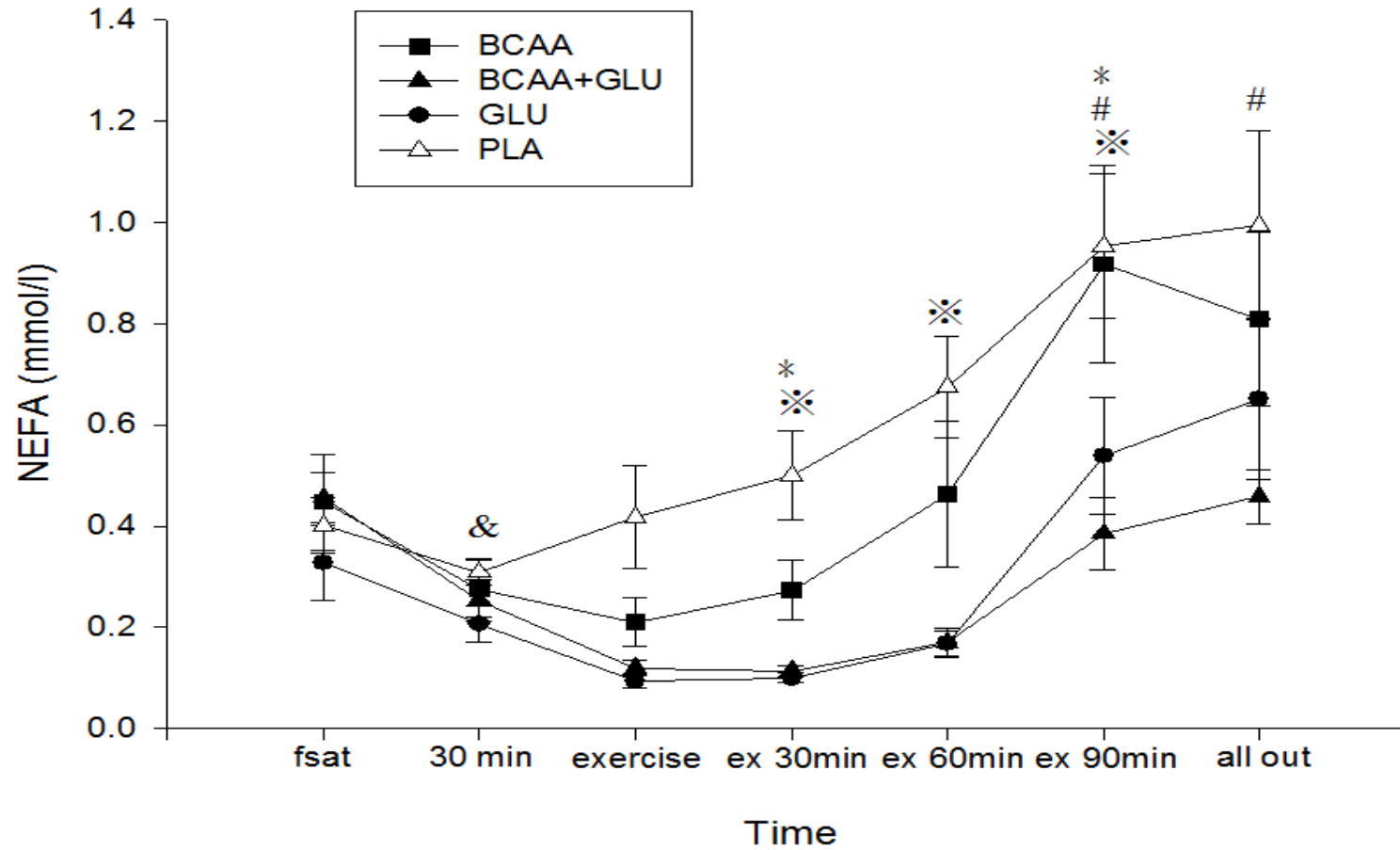
圖表 2、胰島素的濃度變化。

BCAA+GLU 組 > BCAA 組 ($p=0.008$) 和 安慰劑組 ($p=0.004$) * 表示 BCAA+GLU 組 > BCAA 組 ; # 表示 BCAA+GLU 組 > 安慰劑組 ; ※ 表示 GLU 組 > BCAA 組 ; & 表示 GLU 組 > 安慰劑組



圖表 3、血糖的濃度變化。

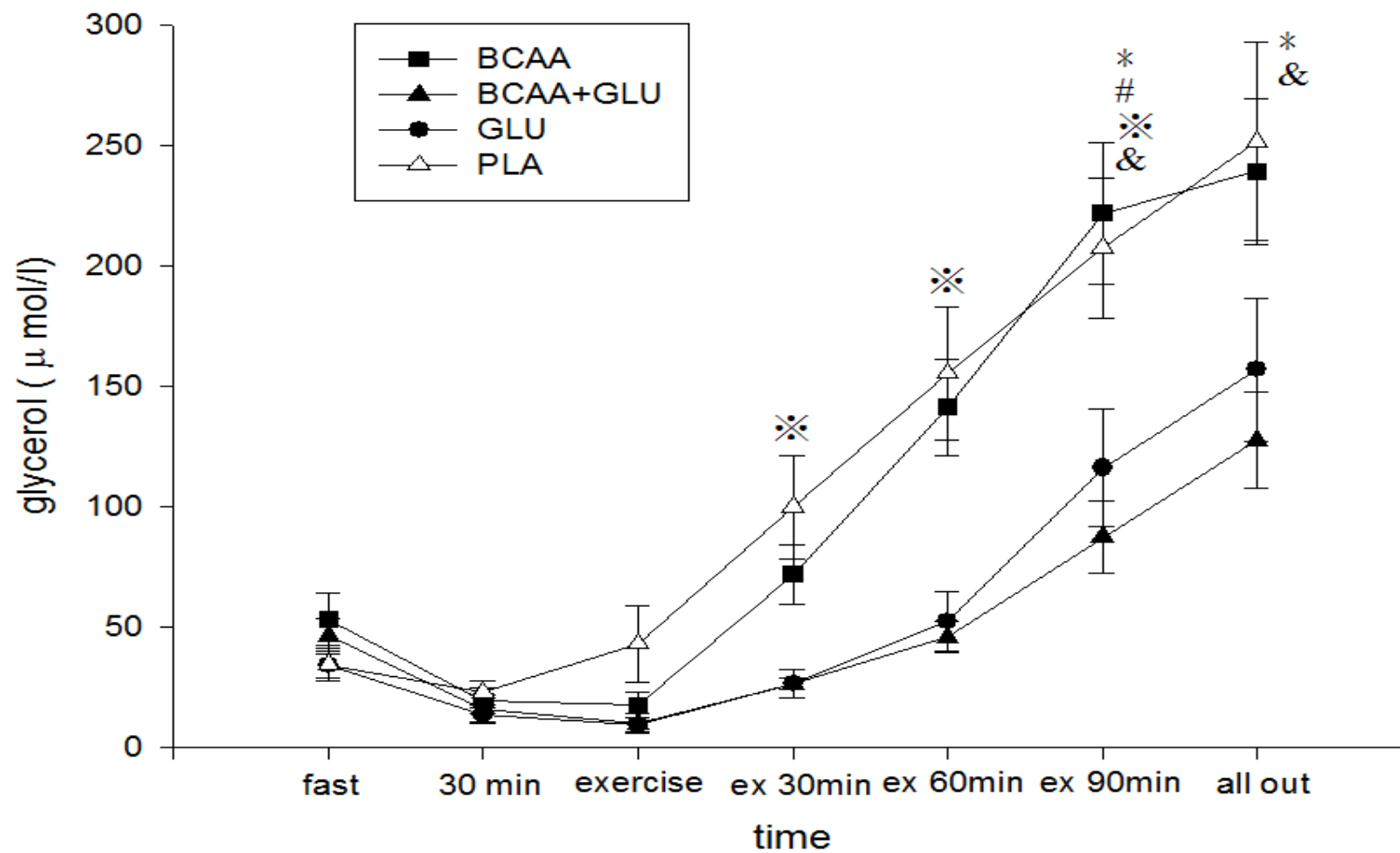
BCAA+GLU 組 > BCAA 組 (p=0.02)。*表示 BCAA+GLU 組 > BCAA 組；#表示 BCAA+GLU 組 > 安慰劑組；※表示 GLU 組 > BCAA 組；&表示 GLU 組 > 安慰劑組；§表示 BCAA 組 > 安慰劑組



圖表 4、游離脂肪酸的濃度變化。BCAA 組 > GLU 組 (p=0.012)

*表示 BCAA 組 > BCAA+GLU 組；#表示安慰劑組 > BCAA+GLU 組；

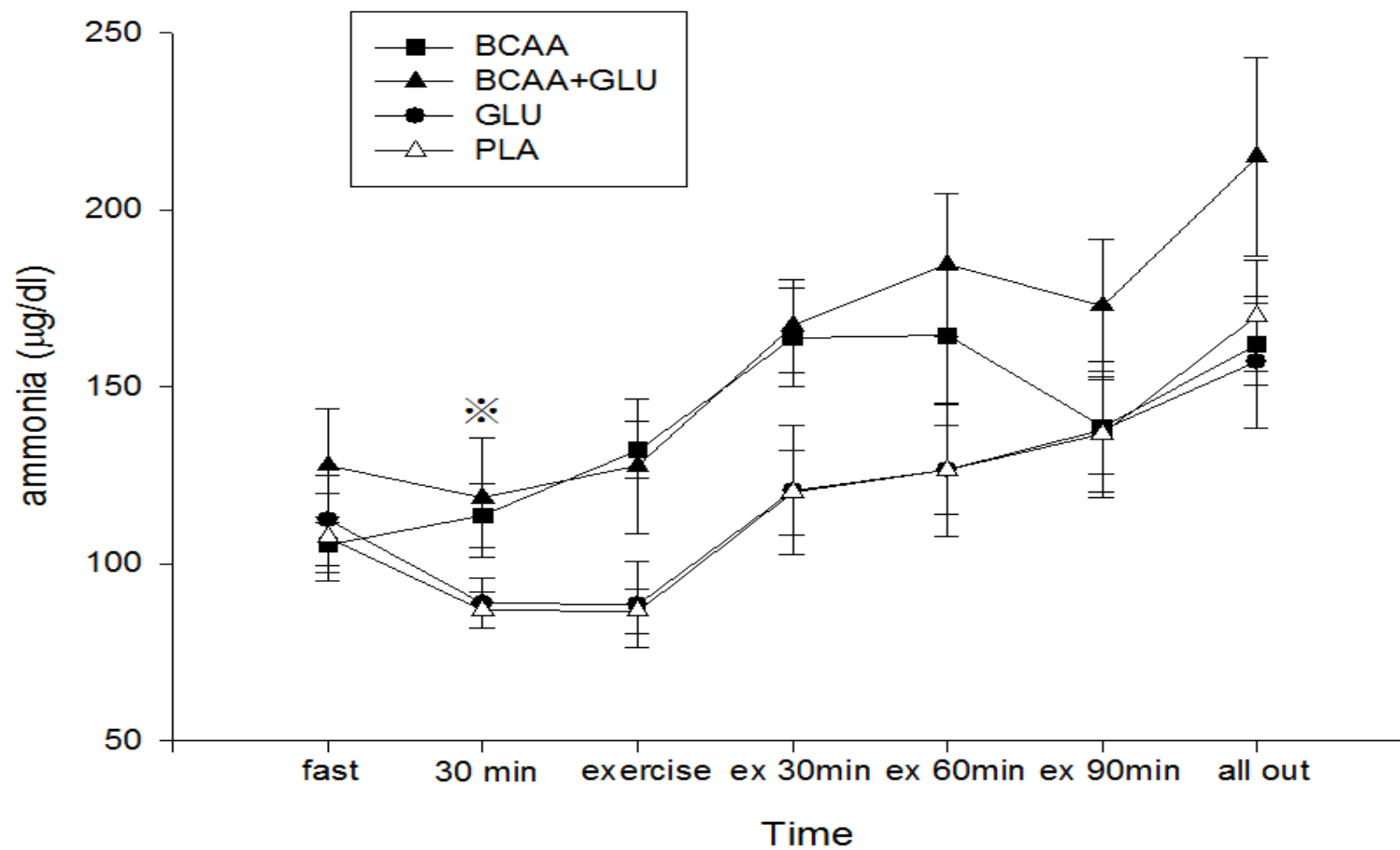
※表示 BCAA 組 > GLU 組；&表示安慰劑組 > GLU 組



圖表 5、甘油的濃度變化。

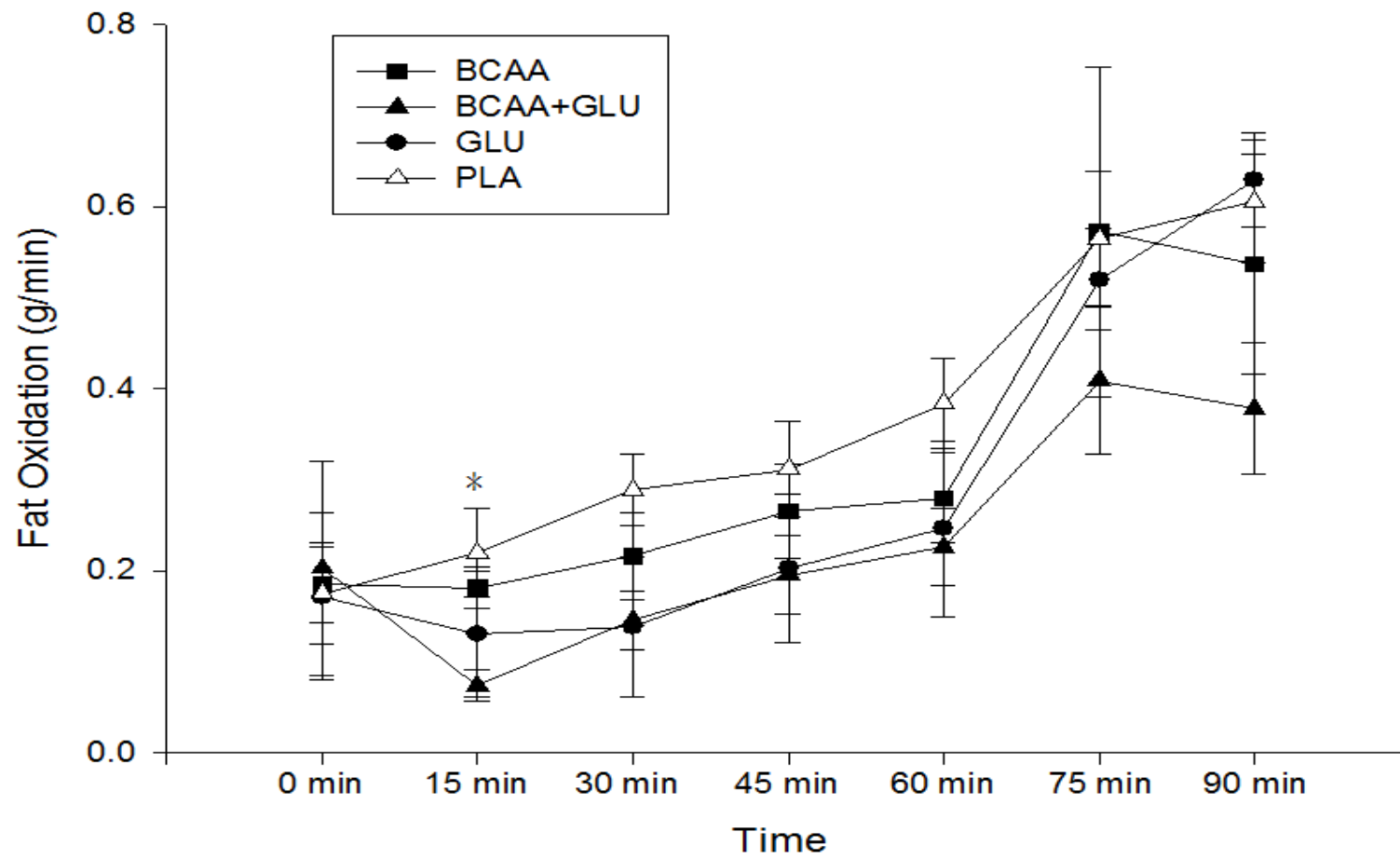
BCAA 組 > GLU 組 ($p=0.019$) * 表示 BCAA 組 > BCAA+GLU 組；# 表示安慰劑組 > BCAA+GLU 組；

※ 表示 BCAA 組 > GLU 組；& 表示安慰劑組 > GLU 組



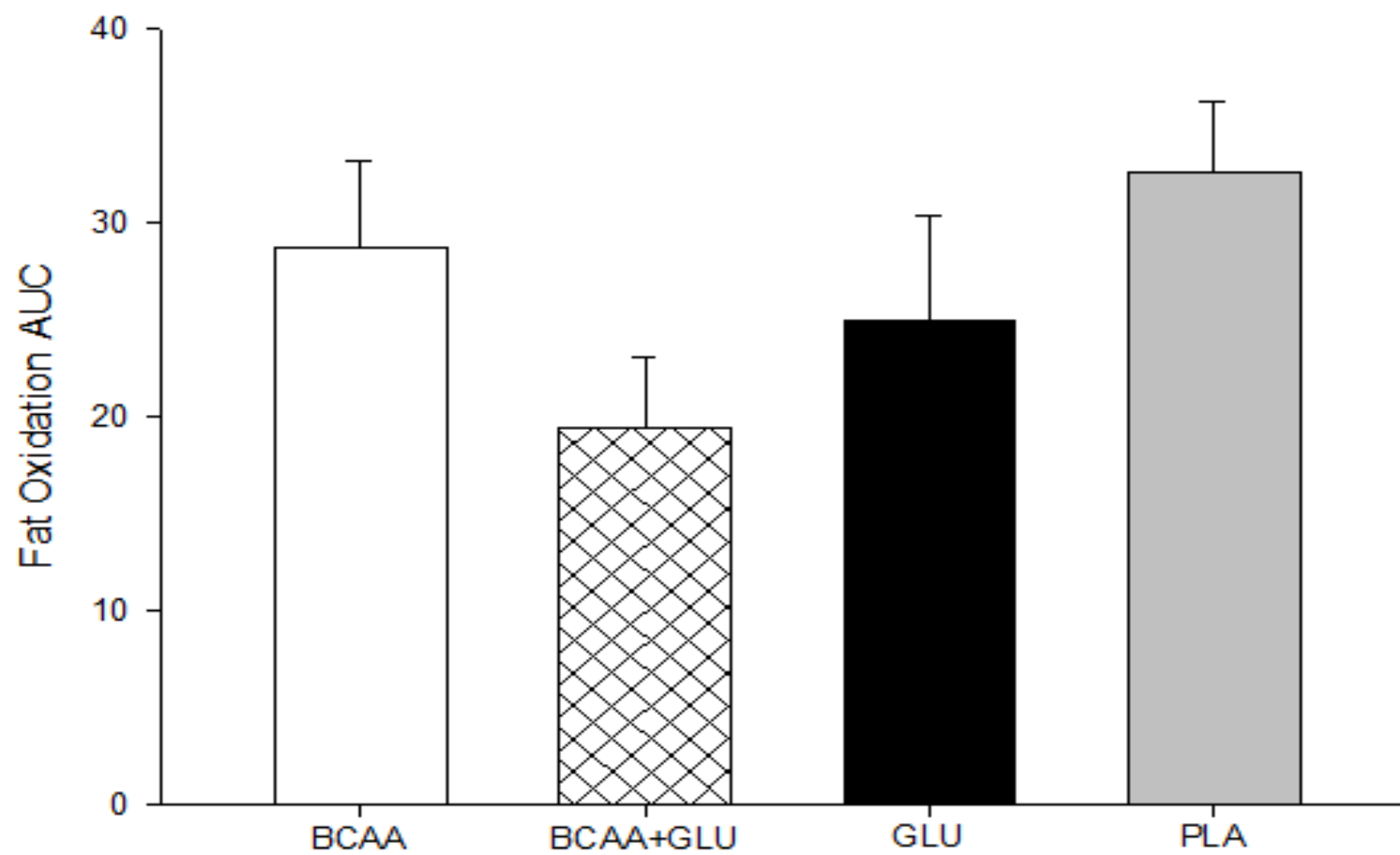
圖表 6、氨的濃度變化

✱表示 BCAA 組 > GLU 組

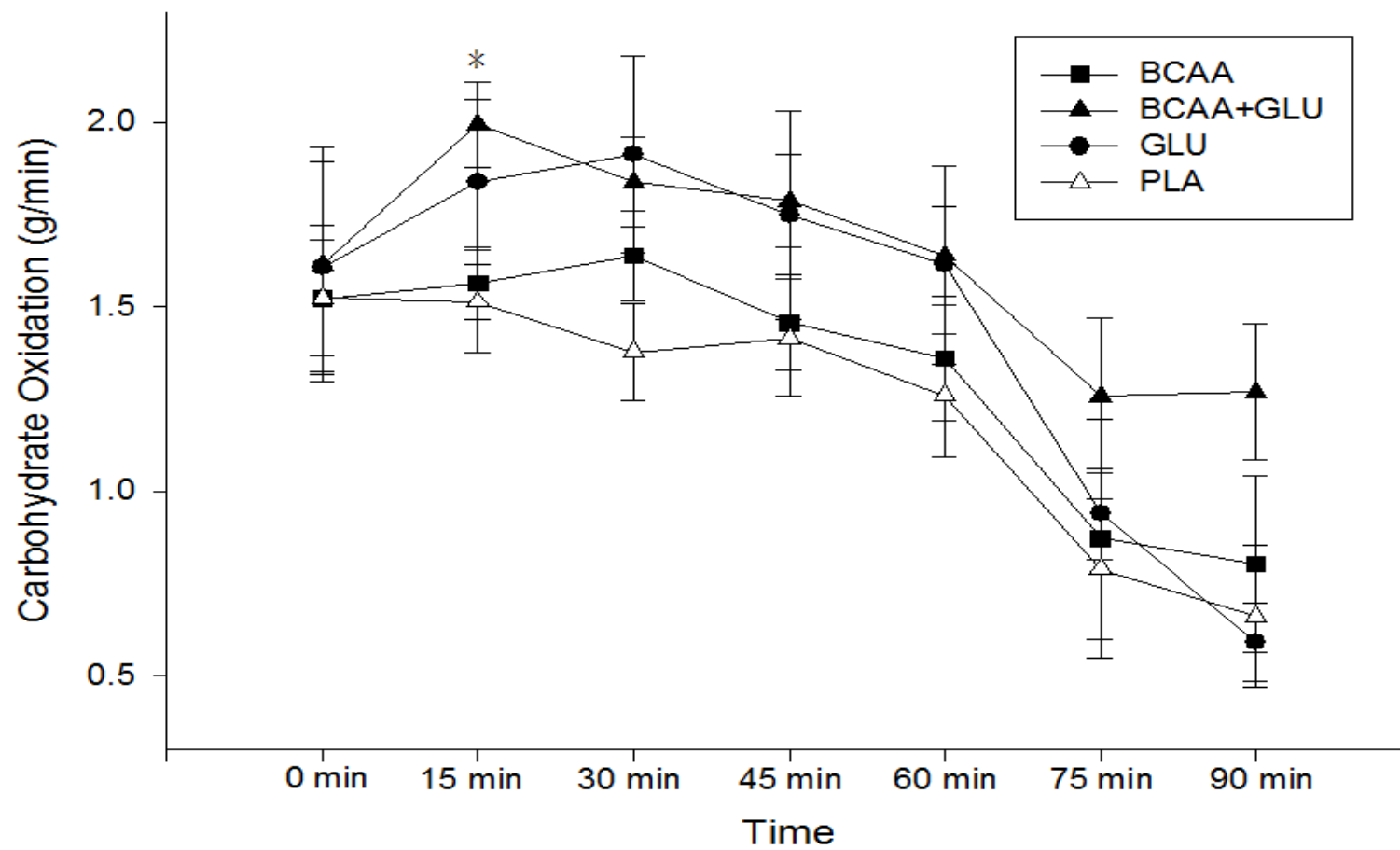


圖表 7、運動期間脂肪氧化率變化。

* 表示 BCAA 組 > BCAA+GLU 組

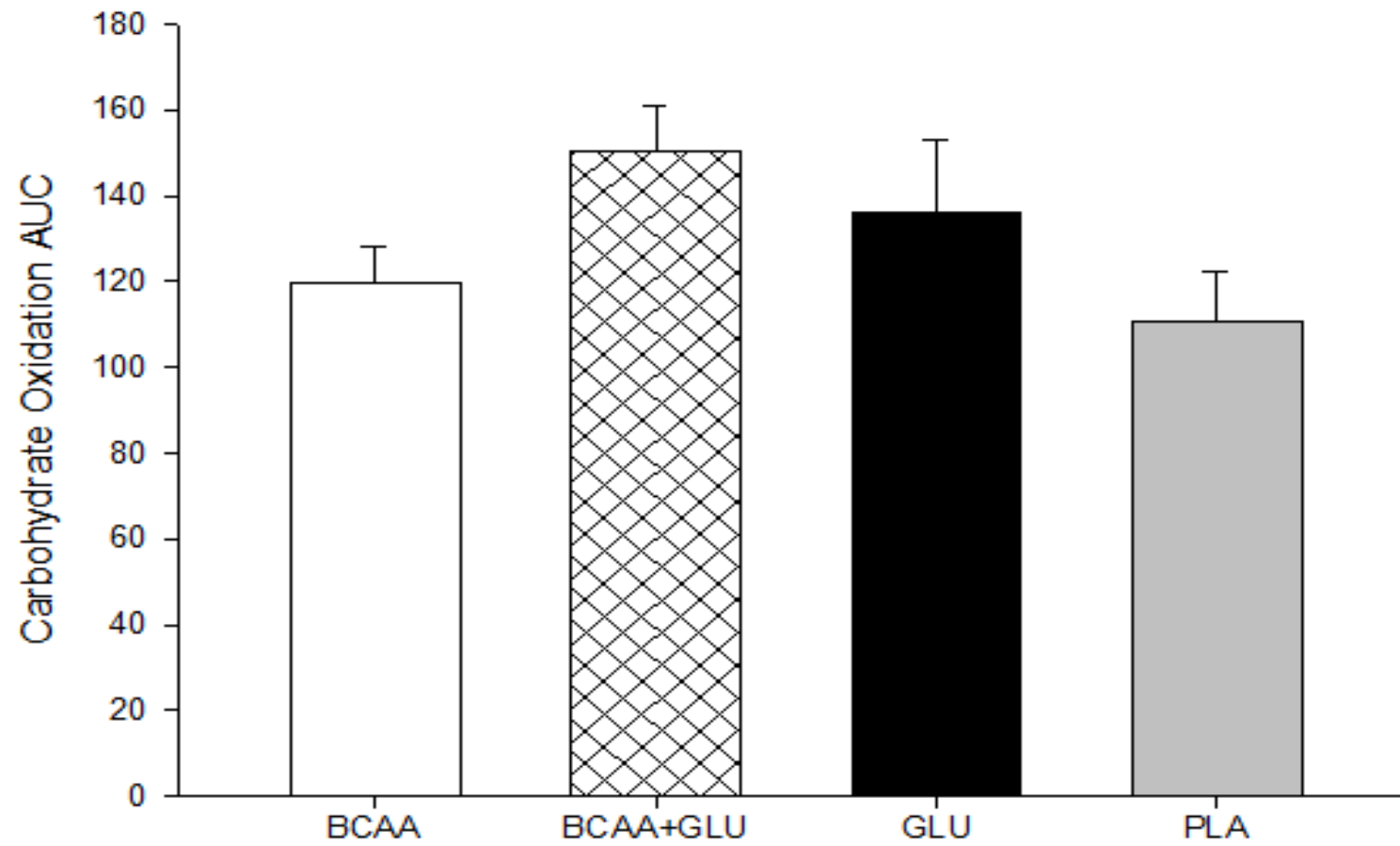


圖表 8、運動期間脂肪氧化率的曲線下面積

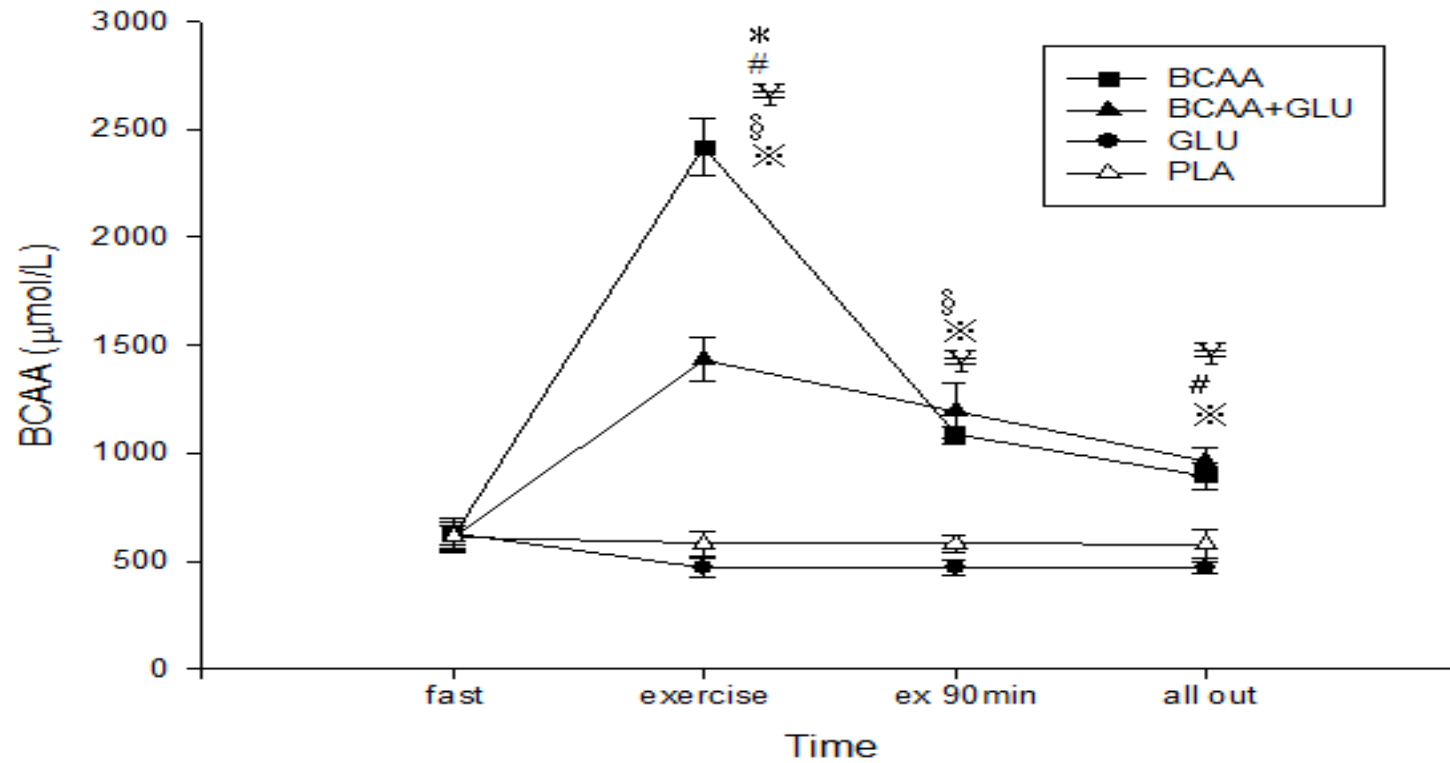


圖表 9、運動期間碳水化合物氧化率變化

* 表示 BCAA+GLU 組 > BCAA 組



圖表 10、運動期間碳水化合物氧化率曲線下面積



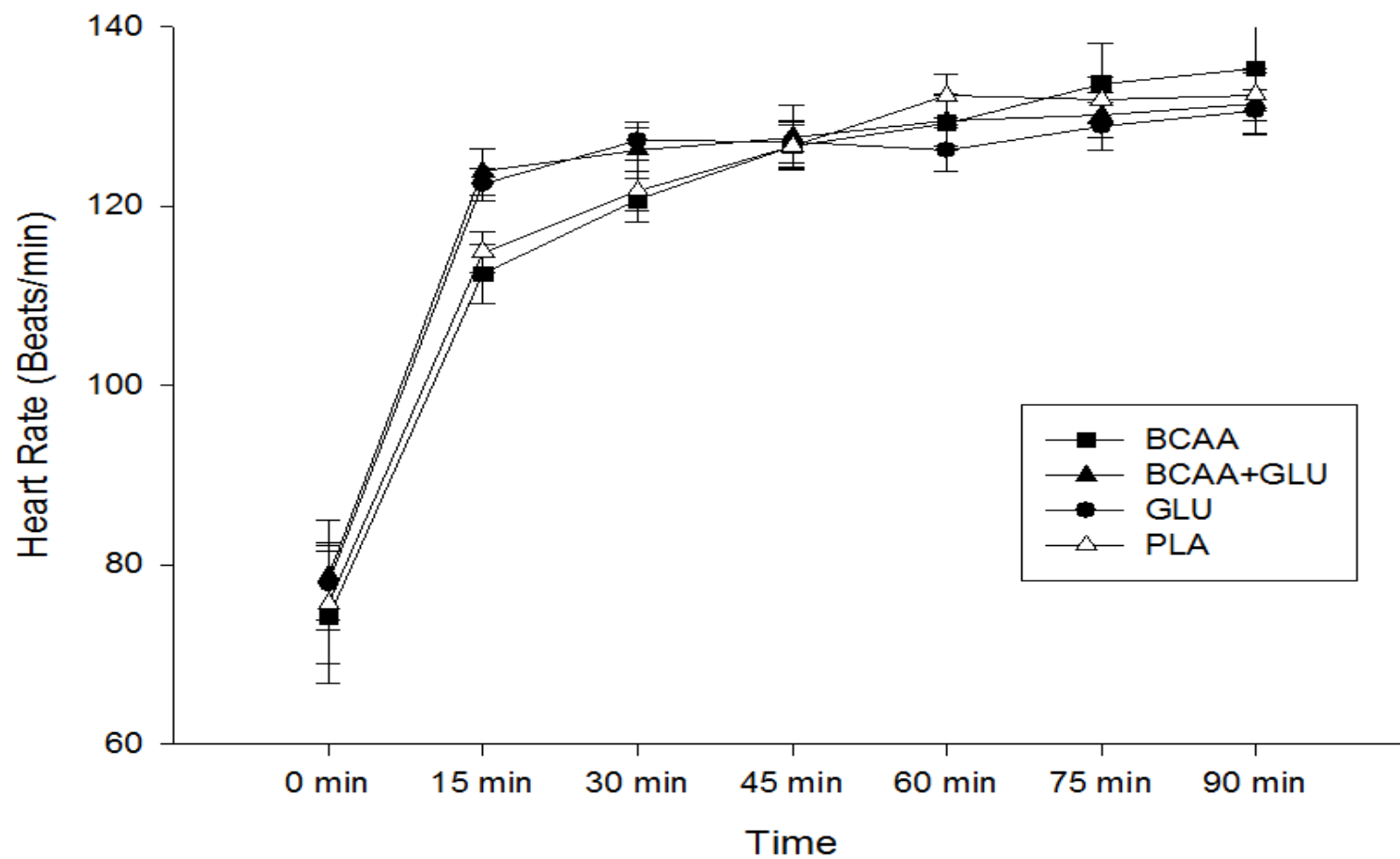
圖表 11、血漿中支鏈胺基酸濃度。

BCAA 組顯著大於 GLU($p=0.003$)及安慰劑組($p=0.004$)；

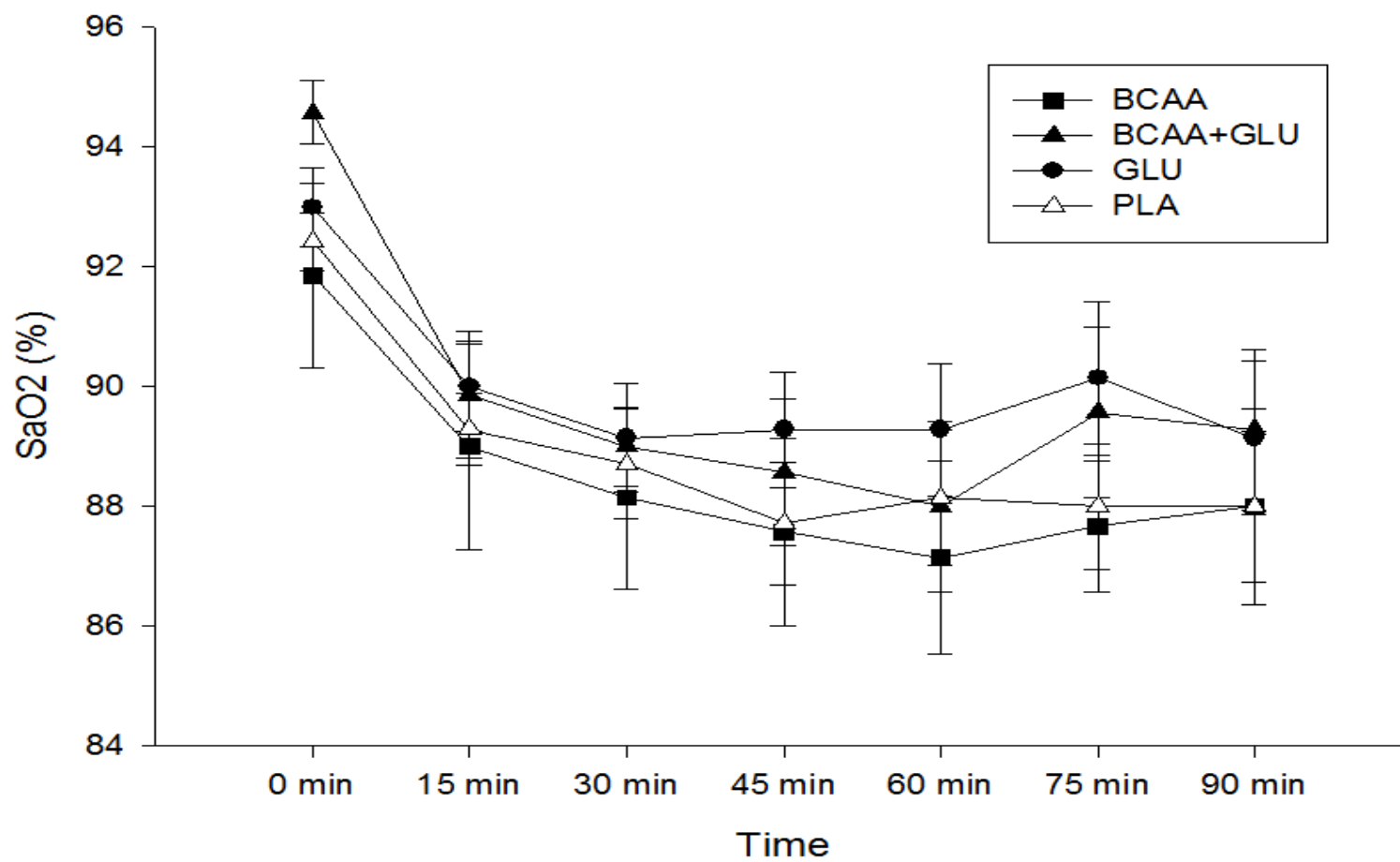
BCAA+GLU 組顯著大於 GLU($p=0.014$)及安慰劑組($p=0.04$)。

†表示 BCAA+GLU 組 > GLU 組；#表示 BCAA+GLU 組 > 安慰劑組

‡表示 BCAA 組 > GLU 組；§表示 BCAA 組 > 安慰劑組



圖表 12、運動期間的心跳率變化



圖表 13、運動期間的血氧飽合度變化

第陸章、參考文獻

- 陳香吟 (2005)。中樞疲勞機制中支鏈胺基酸的角色。《運動生理暨體能學報》，2，45-53。
- Ahlborg, B. G., Bergström, J., Brohult, J., Ekelund, L. G., Hultman, E., & Maschio, G. (1967). Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise at different diets. *Forsvarsmedicin*, 3, 85-99.
- Angus, D. J., Greaves, M. H., Dancy, J., & Febbraio, M. A. (2000). Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *Journal of Applied Physiology*, 88, 113-119.
- Arkinstall, M. J., Bruce, C. R., Nikolopoulos, V., Garnham, A. P., & Hawley, J. A. (2001). Effect of carbohydrate ingestion on metabolism during running and cycling. *Journal of Applied Physiology*, 91(5), 2125-2134.
- Bailey, S. P., Davis, J. M., & Ahlborn, E. N. (1993). Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 3006-3012.
- Bigard, A. X., Satabin, P., Lavier, P., Canon, F., Taillandier, D., & Guezennec, C. Y. (1993). Effects of protein supplementation during prolonged exercise at moderate altitude on performance and plasma amino acid pattern. *European Journal of Applied Physiology*, 66(1), 5-10.
- 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., 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.
- Blomstrand, E., Andersson, S., Hassmén, 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 Physiologica Scandinavica*, *153*(2), 87-96.
- Blomstrand, E. (2005). Branched-Chain Amino Acids in Exercise. *The Journal of Nutrition*, *17*, 544s-577s
- Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Wolfel, R. R., Groves, B. M., Mazzeo, R. S., Sutton, J. R., Wolfel, E. E., & Reeves, J. T. (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m. *Journal of Applied Physiology*, *70*(2), 919–927.
- Calders, P., Matthys, D., Derave, W., & Pannier, J. L. (1999). Effect of branched-chain amino acids (BCAA), glucose, and glucose plus BCAA on endurance performance in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *31*(4), 583-587.
- Calders, P., Pannier, J. L., Matthys, D., & Lacroix, E. M. (1997). Pre-exercise branched-chain amino acid administration increases endurance performance in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *29*(9), 1182-1186.
- Chevront, S. N., Robert, C., 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*, 1275–1282.
- Clark, V. R., Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (2000). Placebo effect of carbohydrate feedings during a 40-km cycling time trial. *Medicine and Science*

- in Sports and Exercise*, 32(9), 1642-1647.
- Colker, C. M., Swain, M. A., Fabrucini, B., Shi, Q., & Kaiman, D. S. (2000). Effects of supplemental protein on body composition and muscular strength in healthy athletic male adults. *Current Therapeutic Research*, 61(1), 19-28.
- Coombes, J. S., McNaughton, L. R. (2000). Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(3), 240-246.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165-172.
- Coyle, E. F., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 55(1), 230-235.
- Davis, J. M., Bailey, S. P., Woods, J. A., Galiano, F. J., Hamilton, M. T., & Bartoli, W. P. (2004). Effects of carbohydrate feedings on plasma free tryptophan and branched-chain amino acids during prolonged cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 65(6), 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, M. J., 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, 309-314.
- 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.

- Desbrow, B., Anderson, S., Barrett, J., Rao, E., & Hargreaves, M. (2004). Carbohydrate-Electrolyte Feedings and 1h Time Trial Cycling Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14, 541-549.
- EL-Sated, M. S., Balmer, J., & Rattu, A. J. M. (1997). Carbohydrate ingestion improves endurance performance during a 1 h simulated cycling time trial. *Journal of Sports Sciences*, 15, 223-230.
- Febbraio, M. A., Chiu, A., Angus, D. J. (2000). Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *Journal of Applied Physiology*, 89, 2220-2226.
- Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, J. H., Lee, S., Martin, J. C., & Coyle, E. F. (2000). Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *Journal of Applied Physiology*, 88(2), 730-737.
- Fulco, C. S., Zupan, M., Muza, S. R., Rock, P.B., Kambis, K., Payn, T., Hannon, M., Glickman, E., & Cymerman, A. (2006). Carbohydrate Supplementation and Endurance Performance of Moderate Altitude Residents at 4300 m. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 1-7.
- Fulco, C. S., Kambis, K. W., Friedlander, A. L., Rock, P. B., Muza, S. R., & Cymerman, A. (2005). Carbohydrate supplementation improves time-trial cycle performance during energy deficit at 4,300-m altitude. *Journal of Applied Physiology*, 99, 867-876.
- Hall, G., Raaymakers, J. S. H., Saris, W. H. M. & Wagenmakers, A. J. M. (1995). Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. *Journal of Physiology*, 486(3), 789-794.
- Hargreaves, M., Costill, D. L., Coggan, A., Fink, W. J., & Nishibata, I. (1984). Effect of carbohydrate feedings on muscle glycogen utilization and exercise performance.

- Medicine & Science in Sports & Exercise*, 16(3), 219-222.
- Hassmén, 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), 427-428.
- Ikai, M., & Yabe, k. (1969). Training effect of muscular endurance by means of voluntary and electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, 28(1), 55-60.
- Jeukendrup, A., Brouns, ., Wagenmakers, A. J., & Saris, W. H. (1997). Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 18(2), 125-129.
- Jeukendrup, A. E., Raben, A., Gijzen, A., Stegen, J. H. C. H., Brouns, F., Saris, W. H. M., & Wagenmakers, A. J. M. (1999). Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *Journal of Physiology*, 515(2), 579-589.
- Jeukendrup, A., Brouns, F., Wagenmakers, A. J., & Saris, W. H. (2000). Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*, 18(2), 125-129.
- Kuipers, H., Costill, D. L., Porter, D. A., Fink, W. J. & Morse, W. M. (1986). Glucose feeding and exercise in trained rats: mechanisms for glycogen sparing. *Journal of Applied Physiology*, 61(3), 859-863.
- Kuipers, H., Keizer, H. A., Brouns, F., & Saris, W. H. M. (1987). Carbohydrate feeding and glycogen synthesis during exercise in man. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 410(6), 652-656.
- Lundby, C., & Vanhall, G. (2002). Substrate utilization in sea level residents during exercise in acute hypoxia and after 4 weeks of acclimatization. *Acta Physiologica Scand*, 176, 195-201.

- 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*(6), 2644-2650.
- Mazzeo, R. S. (2005). Altitude, exercise and immune function. *Exerc Immunol Rev*, *11*, 6-16.
- McMenamy, R. H., & Oncley, J. L. (1958). The specific binding of L-tryptophan to serum albumin. *Journal of Biochemistry*, *233*, 1436-1447.
- 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.
- Mitchell, J. B., Costill, D. L., Houmard, J. A., Flynn, M. G., Fink, W. J., & Beltz, J. D. (1988). Effects of carbohydrate ingestion on gastric emptying and exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *20*(2), 110-115.
- Mourier, A., Bigard, A. X., 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.
- Neufer, P. D., Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Mitchell, J. B., & Houmard, J. (1987). Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feedings and diet. *Journal of Applied Physiology*, *62* (3), 983-988.
- Neufer, P. D., Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Mitchell, J. B., & Houmard, J. (1987). Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feedings and diet. *Journal of Applied Physiology*, *62*(3), 983-988.
- Péronnet, F., Rhéaume, N., Lavoie, C., Hillaire-Marcel, C., & Massicotte, D. (1998). Oral [¹³C]glucose oxidation during prolonged exercise after high- and low-carbohydrate diets. *Journal of Applied Physiology*, *85*(2), 723-730.

- Roberts, A. C., Butterfield, G. E., Cymerman, A., Reeves, J. T., Wolfel, E. E., & Brooks, G. A. (1996). Acclimatization to 4,300-m altitude decreases reliance on fat as a substrate. *Journal of Applied Physiology*, *81*(4), 1762-1771.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *The American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *265*, E380-E391.
- Schena, F., Guerrini, F., Tregnaghi, P., & Kayser, B. (1992). Branched-chain amino acid supplementation during trekking at high altitude. *European Journal of Applied Physiology*, *65*(5), 394-398.
- Tsintzas, K., Liu, R., Williams, C., Campbell, I., & Gaitanos, G. (1993). The effect of carbohydrate ingestion on performance during a 30-km race. *International Journal of Sport Nutrition*, *3*(2), 127-139.
- Tsintzas, K., Liu, R., Williams, C., Campbell, I., & Gaitanos, G. (1993). The effect of carbohydrate ingestion on performance during a 30-km race. *International Journal of Sport Nutrition*, *3*(2), 127-139.
- Wagenmakers, A. J. (1992). Amino acid metabolism, muscular fatigue and muscle wasting. Speculations on adaptations at high altitude. *International Journal of Sports Medicine*, *13*(1), 110-113.
- 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.

附錄二

受試者同意書

研究題目：在運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸對於急性低氧環境下耐力表現之影響

研究單位：國立台灣體育大學運動科學中心

研究人員：競碩二 A 邱志暉

補充碳水化合物及支鏈胺基酸皆有研究指出可以提升運動表現。本研究目的為是否在急性低氧環境下補充碳水化合物及 BCAA 依然可以提升耐力的運動表現，並且是否可以藉此提升選手在低氧環境下進行訓練時的訓練品質。本研究預計招募健康自願的青年男性為受測者 8-12 人，參與本實驗。本研究含三個實驗組、一個控制組，每組實驗飲用不同的水溶液或安慰劑 250 ml，並於休息 30 分鐘後進行一個半小時的運動介入。參與的受試者接受前三天的飲食控制，每次實驗前三天的飲食內容需相近，並於實驗前 12 小時禁止食用任何食品。參與者在三天的自我飲食控制後，第四天為實驗日，實施不同補充劑水溶液測試。參與者在食用完不同碳水化合物水溶液測試後，安靜休息 30 分鐘後進行一個半小時運動介入，結束後隨後進行 85%VO_{2max} 的運動直到衰竭。在喝飲料前、運動開始後的每半小時、85%VO_{2max} 的每五分鐘及運動結束後的兩個小時採集十毫升的血液。每次實驗期需間隔至少一周以上，受測者在兩個實驗期內，維持相同的生活型態。經由您的參與本研究，您可以了解個人的各項生理生化資料，並且提供重要的運動科學資訊。您參與本研究所得的任何資料，都將接受資料保密的政策所保護，除了供給本研究者做為學術上的研究之外，不會對外洩露。

在此感謝您的參與本研究，在實驗期間，若您想退出本研究，您可以隨時告知，即可退出本研究，本研究者將不會有任何的異議。在此我同次參與本研究，並配合研究者的要求。

同意人：_____（簽名）日期：_____

法定代理人：_____

住址：_____

聯絡電話：_____

見證人：_____