

國立臺灣體育大學（臺中）

National Taiwan Sport University

運動健康科學學系碩士班

運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸在急性
低氧環境下耐力運動對於細胞激素之影響

**The influence of ingestion glucose and BCAA
before endurance exercise
on cytokine concentration in hypoxia
environment**



研究生：林漢斯 撰

指導教授：巫錦霖 副教授

共同指導：張振崗 教授

中華民國 98 年 6 月

誌 謝

碩士班兩年的日子轉眼間就過了，這兩年間我成長了很多，也了解了很多做研究的方法，從以前所有的知識都來自於課本，到現在才知道所看到的一切都是前人辛苦累積出來，在這過程中有太多的辛苦不為人知，比起前人的努力，我所做的一切實在太渺小了，但這過程只是個開始，也許有機會能繼續投身學術的殿堂，去探索其中的奧妙。

我的論文能夠完成，真的要感謝太多人的幫忙了，最要感謝的就是我的指導教授巫錦霖老師，認識老師已經不止兩年，從老師身上學到的東西，不僅僅在學術上面，在生活上以及態度上都給予我很多的指導，在私底下老師與我們就像是朋友，有任何困難，也總是盡力幫忙，有太多的感謝不知該如何表達。

其次就是要感謝我們運科中心的主任張振崗老師，感謝老師總是努力為我們爭取經費，以及提供一個完整的實驗空間與器材，也從老師身上看到不同的思維，讓我獲益良多。

也感謝程一雄老師撥空參與我的論文口試，給予我論文上的意見與指導，使我能加以改進自己的缺點。

同時也要感謝我運科的夥伴們，感謝佩玉學姊不吝指導我，常常很多不懂的，總是靠學姊的指導，也感謝維修和一凡學姊對於我實驗的協助，也謝謝我的好伙伴志暉的幫忙才能讓實驗順利進行，也感謝實驗室的易辰學長、洋蔥、玫瑰、家銘、冠邑、鴻鈞、韋靜、蛆、玫瑰、念庭，謝謝你們總是在實驗室陪伴我度過這兩年一起奮鬥的時光，也特別感謝勳哥，給予我們除了學術上的支援，也總是帶給我們歡樂。

也感謝我研究所的導師，怡雯老師，感謝老師總是關心我們的近況，給予我們意見，也感謝燕瑩學姊，很多地方都受到妳的照顧，也常常麻煩妳，也感謝我的同學們，韋均、琪雅、琬真、阿錢、小毓、蕭大哥、欣樺、小博、育廷給予我的幫忙，一起努力。

也感謝書寧、大頭，每當我困惑時總給予我支持，一起分享彼此的酸甜苦辣，也在我需要幫忙時伸出援手。

最後感謝我的家人，感謝他們支持我完成學業，使我能順利完成。

研究生：林 漢 斯

2009/08/10

論文名稱：運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸在急性低氧環境下耐力運動對於
細胞激素之影響

院校所組別：國立臺灣體育大學(臺中)運動健康科學學系

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

提要

研究生：林漢斯

運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸在急性低氧環境下耐力運動對 於細胞激素之影響

中文摘要

低氧環境下運動視為對身體的壓力來源，進而對身體的免疫系統產生影響。補充支鏈胺基酸(branched chain amino acid ,BCAA)與碳水化合物(carbohydrate)不僅被認為對於運動表現有所影響，也可能會影響免疫反應。七名平時有運動習慣的健康成年男性，年齡 25.5 ± 0.6 歲，身高 $168.4\pm 1.8\text{cm}$ ，體重 $69.86\pm 2.8\text{kg}$ ，最大攝氧量 $38.2\pm 1.8\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，隨機重覆四次實驗，分為 BCAA 組(攝取 BCAA 12g)、CHO (攝取 75g/250ml)組、BCAA+CHO (12g+75g/250ml)組、PLA(250ml)組，在低氧環境下(15% O₂)休息 60 分鐘後，開始 50%VO_{2max} 的強度 90 分鐘的腳踏車運動，再以 85%VO_{2max} 的強度直至衰竭，休息兩個小時。分析血液中介白素-6(IL-6)，白血球(white blood cell)、淋巴球(lymphocyte)、嗜中性白血球(neutrophil)，可體醇(cortisol)、胰島素(insulin)，血糖(glucose)之改變。IL-6、TNF- α 的濃度並無顯著改變，淋巴球在運動後 BCAA+glucose 組與 glucose 組顯著高於 BCAA 組 ($p = 0.019, 0.011$)。本研究顯示，短期的低氧運動刺激對於血液中細胞激素並無顯著的影響，在身體周邊的免疫相關的血球數量是有增加。

關鍵字：低氧、支鏈胺基酸、細胞激素

Abstract

Ingestion of carbohydrate (CHO) and branched-chain amino acids (BCAAs) before exercise might improve exercise performance. However the effects on exercise induced immune stress in hypoxia environment are still unclear. We recruited 7 health adult male(age: 25.5 ± 0.6 yrs, height: 168.4 ± 1.8 cm, weight: 69.86 ± 2.8 kg, VO_{2max} : 38.2 ± 1.8 ml \cdot min⁻¹ \cdot kg⁻¹) to participate in this study.

All subjects completed 4 experimental trials, BCAA (ingesting BCAAs 12g/250ml), CHO (ingesting glucose 75g/250ml), BCAA+CHO (ingesting BCAA+glucose 12g+ 75g/250ml), PLA(placebo 250ml) in a randomized order. After overnight fasting, subject were asked to ingested the test drinks and rest in the hypoxia chamber (O₂ 15%) for 60 mins before undertaking the exercise. Subjects exercised at 50%VO₂ max for 90mins on a cycle ergometer, then the intensity increased to 85% VO₂ max until volitional fatigue. After exercise, subjects were asked to rest for 2 hours in the hypoxia champer. Blood samples and saliva samples were collected before exercise, at 30min intervals during exercise, at fatigue, and every hour during post-exercise. Plasma samples were analyzed for IL-6 , TNF- α , cortisol, insulin, and glucose concentrations. White blood cell, lymphocyte, neturophil numbers were also measured. The results showed that there were no significant changes in plasma cytokines and saliva IgA during 4 trials. White blood cell, lymphocyte, and neturophil numbers were increased following exercise. The current results suggested ingesting CHO and BCAAs before exercise in acute hypoxia environment did not change cytokine secretion. However, the peripheral white blood cell were increased.

Key words: hypoxia, BCAAs, cytokine

目 錄

中文摘要.....	I
Abstract	II
目 錄.....	III
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究假設.....	3
第四節 名詞解釋.....	3
第五節 研究限制.....	3
第貳章 文獻探討	5
第一節 低氧環境下運動對於身體細胞激素的影響.....	5
第二節 低氧環境下耐力運動與碳水化合物補充之影響.....	11
第三節 低氧環境下耐力運動前攝取 BCAA 對於細胞激素的影響.....	14
第四節 總結.....	15
第參章 實驗步驟與研究方法	17
第一節 實驗對象.....	17
第二節 實驗設計與流程.....	17
第三節 分析方法.....	22
第四節 統計方法.....	22
第肆章 結果	23
第一節 受試者基本資料.....	23
第二節 攝取不同補充劑對於血液中生化值的影響.....	23
第三節 攝取不同補充劑對於唾液中免疫球蛋白的影響.....	25
第伍章 討論	26
引用文獻	29
中文文獻.....	29
英文文獻.....	29
圖表 1 實驗流程.....	36
圖表 2 四組中白血球的濃度變化.....	37
圖表 3 淋巴球的變化.....	38
圖表 4 淋巴球總白血球中所佔的百分比.....	39
圖表 5 四組中嗜中性白血球的濃度變化.....	40
圖表 6 嗜中性白血球在總白血球所佔的比例.....	41
圖表 7 四組間 cortisol 的濃度變化量.....	42
圖表 8 血液中血糖變化量.....	43
圖表 9 胰島素濃度的變化.....	44

圖表 10 唾液中 IgA 濃度	45
圖表 11 IL-6 在血液中濃度.....	46
圖表 12 TNF- α 在血液中濃度.....	47
附錄 1.....	48
附錄 2.....	49

圖目錄

圖表 1 實驗流程.....	36
圖表 2 四組中白血球的濃度變化.....	37
圖表 3 淋巴球的變化.....	38
圖表 4 淋巴球總白血球中所佔的百分比.....	39
圖表 5 四組中噬中性白血球的濃度變化.....	40
圖表 6 噬中性白血球在總白血球所佔的比例.....	41
圖表 7 四組間 cortisol 的濃度變化量.....	42
圖表 8 血液中血糖變化量.....	43
圖表 9 胰島素濃度的變化.....	44
圖表 10 唾液中 IgA 濃度.....	45
圖表 11 IL-6 在血液中濃度.....	46
圖表 12 TNF- α 在血液中濃度.....	47

附錄目錄

附錄 1	48
附錄 2	49

第壹章 緒論

第一節 研究背景

低氧環境的刺激是近幾年在運動科學與運動訓練中常被討論以及運用來改善運動表現的方法，有許多研究已經指出，低氧刺激有其效果，可以促進運動表現和產生生理變化。

藉由低氧的刺激會改變身體的恆定，造成體內不平衡的現象，所以身體會利用其他代償的方式來維持身體恆定，在這過程中就會使身體許多生理功能產生改變，這樣的改變對於身體的影響尚無固定說法，而免疫系統的變化是近二十年來被熱烈討論的一個研究方向，因為身體免疫能力與許多疾病皆有互相影響之關聯性，所以更受到重視，由於分子生物學門、生物化學學門的觀念與分析技術有大幅的進步，使得免疫學的發展更加熱絡。

在運動過程中身體免疫功能會因為運動強度的不同以及其他的外界因素而有所改變，如：氧氣濃度、溫度、營養補充品。

急性低氧的暴露對於身體造成極大的刺激，氧氣濃度急速減少，身體氧不足，使得呼吸頻率增加，身體為了獲得等量的氧氣，會加快心跳速率，增加血液的運送量，來維持體內恆定。

在低氧環境下運動會改變身體運送氧氣的能力，運動本身就是破壞體內恆定，會使體內產生一些壓力荷爾蒙，使身體的免疫反應產生改變，早期研究發現，從事高強度運動訓練的運動員在比賽後常常會引發上呼吸道感染 (upper

respiratory tract infection ,URTI) , 因為身體的免疫能力在高強度運動後會有所下降，但在低氧的刺激下從事高強度運動對於免疫反應的改變仍有不同的看法。低氧刺激也會去影響身體的壓力荷爾蒙如：可體醇(cortisol)的變化，而這些壓力荷爾蒙都會對於身體生理機制產生變化

在運動前補充碳水化合物已被證實能延長運動時間，而補充支鏈胺基酸(Bassit et al., 2002)，能增加運動表現，對於耐力運動後期可能作為能量的來源，減緩運動時所產生的疲勞。有研究指出在運動前攝取碳水化合物，可以降低身體發炎反應的產生，對於免疫系統會有所改變。也有研究發現長時間訓練週期中攝取支鏈胺基酸，也會降低 TNF- α 的濃度，許多研究都發現 TNF- α 與發炎反應有相關。藉由不同的營養補充，在低氧下運動時，身體產生不同免疫反應，有助於運動營養學家將來在對低氧訓練下給予適當的營養補充，降低因過度訓練所造成的上呼吸道感染率(URTI)，維持訓練品質，以藉此提升運動員的運動表現。

第二節 研究目的

- 一、 本研究目的為探討在急性低氧環境下攝取 BCAA 與碳水化合物對於身體的細胞性免疫之影響。
- 二、 探討在急性低氧刺激下的運動訓練所產生的免疫反應改變可能的機轉。

第三節 研究假設

- 一、 急性低氧刺激下的耐力運動會使身體的免疫反應產生顯著的影響。
- 二、 攝取 BCAA 後在急性低氧刺激下運動能改變免疫反應
- 三、 急性低氧下刺激後，對於其最大攝氧量表現會有顯著增加。

第四節 名詞解釋

- 一、 急性低氧(acute hypoxia)：由常氧狀態進入低氧狀態，在 15% 的氧濃度下的空間，大約是海拔 2500m 的高度。
- 二、 支鏈胺基酸(BCAA, branched chain amino acid)：由 valine、leucine、isoleucine 所組成，主要由肌肉代謝，可以作為運動中的能量來源。
- 三、 IgA：免疫球蛋白的一種，主要分布在身體黏膜細胞
- 四、 細胞激素(cytokine)：各種生長因子的總稱，可以用來活化 B 細胞、毒殺型 T 細胞、巨噬細胞和其他參與免疫反應的細胞。

第五節 研究限制

- 一、 由於是在模擬高地的狀態，但在平地時氣壓與高地還是有所差別，故得到的實驗結果，實際應用在山地訓練上，也許會有所差異。

二、 得到的結果是否能反應在其它不同族群上，需要後續研究加以應證。

第貳章 文獻探討

行政院衛生署所提出的 333 運動，每週運動三次、每次 30 分鐘、心跳率達到 130 下以上，這是一個簡單的口號，但卻也是為了改善現代人坐式生活的生活型態，適度運動的好處在於能提高心跳率、基礎代謝率、促進新陳代謝，而適度運動也被認為能提高免疫能力(Nieman, Henson, Austin, & Brown, 2005)，依據運動型態不同，所使用的能量來源也不同，身體的免疫反應也會有所差異，也會因為運動頻率、時間與強度的不同，會產生不同的免疫反應。所以本章的第一節討論低氧環境下運動對於免疫能力的影響，先了解低氧下運動對於身體所產生的免疫系統的變化，第二節就針對低氧環境下耐力運動與碳水化合物補充之影響進行討論，了解攝取碳水化合物對於低氧下運動是否對身體的影響。第三節針對低氧環境下耐力運動前攝取 BCAA 對於免疫能力的影響加以討論，進一步了解在低氧下運動，同時攝取 BCAA，對於免疫系統所產生的影響。

第一節 低氧環境下運動對於身體細胞激素的影響

一、免疫系統的分類

身體的會針對外界所產生的病原體或外來物產生免疫反應，稱之為適應性免疫，身體會針對其外來的抗原產生反應，而這樣的反應是有專一性的，而這樣的反應需要時間來產生作用，例如身體施打疫苗，使身體產生抗體。

身體的適應性免疫反應主要分為兩大類，細胞性免疫與體液性免疫，而體液性免疫主要是由 B 細胞和抗原之間的交互作用，在這過程中抗體會尋找抗原加以包覆，使其抗原失去其作用，並藉由其他方式加以清除，這過程是有其專一性的(葉怡玲、孫昭玲、洪小芳，2004)。

細胞性免疫，利用抗原反應與 T 細胞的作用來清除病原體，T 細胞分為 2 類，T 輔助細胞(T helper cell)和 T 毒殺細胞(T cytotoxic cell)，T 輔助細胞會辨識抗原，進而分泌細胞激素(cytokine)，不同的細胞激素有不同的作用，可以活化 B 細胞、巨噬細胞、T 毒殺細胞、及其他參與免疫反應的細胞(葉怡玲、孫昭玲、洪小芳，2004)。

由於細胞激素種類繁多，也是發炎反應時，會大量出現的免疫指標，而且不同的細胞激素受到身體不同的荷爾蒙調控，對於生理反應的平衡有很大的影響，對於研究免疫反應的變化也是重要的指標(Nielsen & Pedersen, 2007)。

二、耐力運動對於細胞激素的影響

耐力運動可以有效提升心肺能力，能量來源主要由有氧系統來供應，可以維持較長的運動時間，長期耐力訓練可增加身體運用氧氣的能力，也可以增加最大攝氧量，提升脂肪的利用率會上升。

介白素-6(interleukin-6, IL-6)是一種廣效性的細胞激素，依據不同的環境壓力，會有不同的效果，因為不同組織所分泌的作用不同，既可以視為發炎的指標，也有抗發炎的效果，由於高強度運動會造成身體產生較大的免疫壓力，造

成發炎反應(Nielsen & Pedersen, 2007)。

長時間的運動已經被證實可以增加血漿 IL-6 中濃度(Pedersen, Steensberg, & Schjerling, 2001)，在運動過程中觀察到，骨骼肌的收縮，IL-6 會從肌肉組織中釋放出來，提高的血液中的 IL-6 濃度(Steensberg et al., 2000)。脂肪細胞也是分泌 IL-6 的重要角色，Mohamed-Ali 等人的研究發現，在休息時的脂肪細胞會提高血漿中 30% IL-6 濃度(Mohamed-Ali et al., 1997)，最近的研究也證實了脂肪細胞大量釋放 IL-6，是在運動後分泌而不是運動中(Lyngso, Simonsen, & Bulow, 2002)，而 IL-6 在身體主要由內皮細胞、巨噬細胞所分泌，用來促進 B 細胞的增生和抗體的分泌。IL-6 在運動過程中的產生認為是一種抗發炎的指標，它具有降低發炎反應的作用，而腫瘤壞死因子(TNF)是一種發炎指標，但只有在高強度的運動過程中，才會被刺激，濃度才會上升(Nielsen & Pedersen, 2007)，而 IL-6 會抑制 TNF- α 的產生，降低發炎反應。(Petersen & Pedersen, 2005; Starkie, Ostrowski, Jauffred, Febbraio, & Pedersen, 2003)。最近研究發現 TNF- α 濃度的增加會造成胰島素的阻抗，而運動後所產生的 IL-6 可以抑制 TNF- α 的生成(Petersen & Pedersen, 2005)，就可以降低胰島素阻抗的現象，這也可以說明為何運動有類胰島素的效果，可以控制血液中的血糖，增加身體對於碳水化合物利用的速率，這對於第二類型糖尿病患者有很大的幫助。

Nieman, Johanssen, Lee, & Arabatzis(1990)在馬拉松比賽的運動員身上發現到，常在比賽之後會有上呼吸道的感染(upper respiratory tract infection,URTI)，主要是因為身體的

免疫力下降(Nieman, Johanssen, Lee, & Arabatzis, 1990), Tiollier 等人(2005)的實驗中也發現,運動員在高強度的訓練週期後,唾液的 IgA 濃度會下降(Tiollier et al., 2005),罹患 URTI 風險增加,當身體遭受感染時,進而會影響到運動表現。

但是 Nieman, Henson, Austin & Brown (2005)的研究,以 15 位健康的女性,分別從事不同的中低強度的運動方式(每天運動約 30 分鐘),與不運動組作比較,結果發現運動組的總白血球數量(leukocytes)、自然殺手細胞(nature killer cells)、IL-6 在運動後皆有顯著的增加,而不運動組卻沒有任何改變,作者也認為強度約在 60%~65%VO_{2max} 運動是可以有效的提高免疫能力,降低 URTI 的發生率(Nieman et al., 2005)。根據 Matthews 等人(2002)的流行病學的調查,找了 547 位健康成人為對象,49%是女性,根據運動強度與時間和罹病率來做分析,發現適度運動者可以大幅降低罹患 URTI 的風險,適當的運動的確可以提高身體的免疫能力(Matthews et al., 2002)。

IgA 是一種免疫球蛋白,主要分泌在黏膜細胞上,會與病毒或細菌表面結合,避免病毒或細菌直接接觸到黏膜細胞,達到保護身體的作用。因為 IgA 是在唾液中含量較多的免疫球蛋白,對運動員而言,它的濃度高低也被認為與 URTI 的發生率有密切的關係。Neville, Gleeson & Folland (2008)的研究發現唾液中 IgA 濃度的升高,會降低 URTI 的罹患率,而降低會增加 URTI 的風險(Neville, Gleeson, & Folland, 2008)。IgA 濃度在唾液中即可取得,測驗方式也較為廉價,常被用來判定運動員有無過度訓練的依據,由結果來調整訓練量,避免因過度訓練使身體的免疫能力發生下降。身體的

免疫能力還是會依據所受到不同的環境壓力而有所調整，如何尋到最好的訓練方法維持訓練的品質與強度就是許多研究所想要去了解的。

三、低氧環境下運動對於細胞激素的影響

低氧訓練是現在最常被用來提高耐力運動員運動表現的訓練方法，長時間的間歇低氧訓練被證實可以有效增加有氧運動表現，也會改變無氧能量供應系統 (Meeuwsen, Hendriksen, & Holewijn, 2001)。也有研究指出，低氧下運動可以增加血液中的攜氧能力，長時間低氧環境刺激下，血漿中的紅血球生成素(erythropoietin, EPO)，促進血紅素生成，這對於耐力運動員的訓練有很大的幫助 (Levine & Stray-Gundersen, 1997)。

Levine & Stray-Gundersen (1997)以 39 位中長距離的運動員，分為三組：控制組、高住低練組(LHTL)、高住高練組(LHTH)，進行 13 週的訓練，其中暴露在低氧環境約 2500M 下只有 4 周，結果發現 LHTH 組和 LHTL 組經過四周的訓練後，紅血球數量、血紅素(hemoglobin)和 EPO 都有顯著的增加。Wehrlin, Zuest, Hallen, & Marti(2006)，也作了類似的實驗，17 位受測者，分為 2 組控制組與高住低練組，沿用 Levin(1997)的訓練方式，結果發現 EPO、紅血球數量和血紅素在長時間低氧刺激下的確會有顯著的增加，同時作者也發現只要身體暴露在低氧環境下 24 小時，血液中的 EPO 就會顯著上升 (Levine & Stray-Gundersen, 1997)。而長時間暴露在低氧下會造成生理上的其他改變，心跳率、心輸出量、每跳

輸出量，肌肉血流量、能量利用的轉換和粒線體的作用的改變(Mazzeo, 2008)。這可以用來說明適當的低氧刺激對於心肺適能的確是有好處的，也證明了短期的低氧刺激的確會給身體產生壓力。

在低氧環境下運動，血液中的 IL-6 會提升，IL-6 的增加會誘發血管內皮生長因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)作用而加速生成血管(Motro, Itin, Sachs, & Keshet, 1990)，IL-6 也會調控 EPO，當 IL-6 增加時血液中的 EPO 也會增加(Faquin, Schneider, & Goldberg, 1992)。

低氧環境對於身體免疫反應的改變，當暴露在低氧的時間越長，可體醇(cortisol)並不會有顯著的增加，而正腎上腺素會隨著時間增加，腎上腺素在低氧環境會增加但隨著身體適應了低氧環境後，就會隨著時間逐漸下降，Mazzeo 等人(2000)研究指出，兒茶酚胺會刺激細胞釋放 IL-6 到血漿之中，IL-6 與兒茶酚胺之間的關係，前文提到低氧刺激會增加 IL-6 的增加，給予 β -Adrenergic 時 IL-6 會停止增加，因為 β -Adrenergic 是用來阻斷腎上腺素的藥物，而 α -Adrenergic 是用來阻斷正腎上腺素的藥物，實驗結果發現正腎上腺素在後期會持續增加，當被 α -Adrenergic 所阻斷時，IL-6 也會停止增加，由此可證 IL-6 的釋放是受到兒茶酚胺的調控(Mazzeo, 2005)。

Wang, Lin, Cheng, & Wong (2007)的實驗，以 20 位健康的男性，分為 2 組，中高度組(15%O₂ 含量)與高高度組(12%O₂ 含量)，分別在低氧艙中給予訓練，每天一個小時，一週五天，連續八週，在進入與離開低氧艙前後皆採集血液及運動測試，結果發現無論是在低氧下運動或休息，八週後 IL-6 與

IL-10 的濃度均有顯著增加，在兩組中最大攝氧量亦顯著增加 (Wang, Lin, Cheng, & Wong, 2007)。所以低氧刺激的確會對身體造成壓力，進而使免疫系統產生變化，但也有研究發現在 4800m 的高地下運動 6~8 小時，身體所產生的高山症現象會更加劇烈 (Roach et al., 2000)，所以運動訓練並不建議在海拔過高的地點去從事訓練活動。

第二節 低氧環境下耐力運動與碳水化合物補充之影響

一、耐力運動與碳水化合物補充之關係

身體的主要能量來源，以碳水化合物、脂質、蛋白質為主，其中碳水化合物能最快速的提供能量，可以轉換成葡萄糖進入血液，提高身體的肌肉肝醣的存量，維持血糖的恒定，在運動過程中，肌肉會優先使用肌肉中的肝醣作為能量來源，在短時間的運動，身體為了應付環境的變化，會利用無氧的糖解作用，快速的產生能量，當時間延長時，氧氣的利用率提高，逐漸的進入有氧的能量循環產生較多的 ATP，脂肪隨後也與氧氣作用，加入提供能量的行列，也就是所謂的有氧系統。在運動過程中碳水化合物的能量提供與維持血糖恆定的觀點來看，的確是扮演相當重要的角色，尤其是對耐力運動的運動員而言，耐力運動需要大量的能量，來維持長時間的運動。

運動時補充碳水化合物變的格外重要，不同時間點補充碳水化合物對於身體有不同的影響，Achten (2003) 的實驗中發現，運動前 45 分鐘攝取 75g 的 glucose 可以有效的維持運

動中血液的血糖值 (Achten & Jeukendrup, 2003) , Brundle, Thayer & Taylor(2000)的實驗中, 17位受測者, 分別攝食碳水化合物(果糖或葡萄糖)與安慰劑組, 果糖與葡萄糖的劑量分別為 0.4g/kg 加入 250ml 的水中, 每個受試者皆要隨機測試 2 組, 安慰劑組與攝取醣類組, 運動前一小時攝取飲料和在運動中 20、50、90 分鐘攝取, 以 75% VO_{2max} 的腳踏車運動直至衰竭, 結果發現有攝取碳水化合物的兩組在運動時間上顯著高於安慰劑組, 顯示補充碳水化合物可以延長耐力運動時間 (Brundle, Thayer, & Taylor, 2000)。

二、低氧環境下耐力運動攝取碳水化合物對於細胞激素的影響

血糖的維持對於耐力運動的運動表扮演重要的角色, 但是對於免疫功能的影响也逐漸受到重視, 運動前補充碳水化合物可以有效提供血糖的維持 (Achten, 2003), 最近研究也發現使用高碳水化合物的食物, 可提升運動員的免疫能力 (Glesson et.al, 1998; Costa et.al, 2005), 有研究發現, 攝取碳水化合物可以減少身體對於 glutamine 的消耗, 可以調整身體的免疫反應, 降低 cortisol 的分泌 (Bacurau et.al, 2002), 在 Glesson 等人 (1998) 的研究中也發現, 若攝取低碳水化合物的食物, 會降低身體的免疫反應, 而且血漿中 cortisol 的濃度也會提高。但這樣的結果對於高強度耐力訓練的運動員是否適用, 卻仍在被討論。

Bishop 等人 (2001) 的研究, 以 12 位男性自行車運動員為對象, 在四天的實驗中, 第一天給予一個耗竭肝醣的一小

時中高強度運動，第二、三天分別隨機給予高(HIGH trial)、低碳水化合物(LOW trial)的飲食，第四天進行 1 個小時 60% W_{max} 的自行車運動，休息一週後交換飲食方式。結果發現運動後的 cortisol 濃度無論在第四天運動前 1 小時與運動後第 0、1、2 小時的時間點上，HIGH trial 皆低於 LOW trial (Bishop, Walsh, Haines, Richards, & Gleeson, 2001a)，在另一個實驗中沿用相同的方法去探討血漿中的細胞激素(cytokine)的反應，結果發現在第四天運動後 0、1、2 小時的時間點上，LOW trial 血漿中的 IL-6 濃度顯著高於 HIGH trial，但是作者認為補充碳水化合物對於血漿中 IL-6 的影響是有限的，兒茶酚胺(catecholamines)對於 IL-6 的影響是較為直接的 (Bishop, Walsh, Haines, Richards, & Gleeson, 2001b)。

Costa 等人(2005)以 32 位奧運級或三項鐵人的耐力型運動員為對象，分組給予不同的飲食，維持正常飲食與高碳水化合物 ($12gCHO\ kgbw^{-1}\ day^{-1}$) 餐，經過一週的訓練，發現正常飲食組在運動後的唾液中 cortisol 有顯著的增加，而唾液中的 IgA 濃度有下降的趨勢，而在攝取高碳水化合物的運動員，cortisol 顯著的下降，而唾液中的 IgA 則有顯著的上昇 (Costa, Jones, Lamb, Coleman, & Williams, 2005)。這樣的結果顯示，補充碳水化合物對於 cortisol 有直接或間接的抑制效果，而 IgA 的上昇可以降低耐力訓練後 URTI 的發生率。

但是以上這些實驗都是在常壓常氧下進行運動，在低氧下運動前攝取碳水化合物所產生的免疫變化，較少被討論，但是運動前攝取碳水化合物的確會對身體免疫能力有所影響，且低氧下運動由於氧氣濃度減少，加速糖解作用的反應，使碳水化合物的利用率提高，所以在身體的能量利用而言，

碳水化合物之補充是必要的 (Fulco et al., 2007)。但是免疫的變化需要進一步的討論。

第三節 低氧環境下耐力運動前攝取 BCAA 對於細胞激素的影響

BCAA 是 leucine、isoleucine、valine 的統稱，由於這三種胺基酸皆是必需胺基酸，身體並不會自行合成，Goldberg 和 Chang(1978)提出一個概念，他們發現到，除了脂質、碳水化合物之外，骨骼肌的能量來源也可以從 BCAA 獲得 (Chang & Goldberg, 1978)。BCAA 近年來成為一個重要的能量補充劑，人體所能儲存的碳水化合物是有限的，就算外援性的補充碳水化合物，每小時大約只能利用 70g(Achten & Jeukendrup, 2003)，而脂質的分解需要較多的時間與利用較多的氧氣，無法快速產生能量，而且儲存方式與碳水化合物是屬於不同的代謝路徑，所以 BCAA 的補充就成為一個新的研究課題。

身體的免疫細胞會利用蛋白質中的 BCAA，補充 Isoleucine 可以活化 lymphocyte(淋巴細胞)，也可以活化嗜酸性白血球 (eosinophil) 與 neutrophil (噬中性白血球)，isoleucine 會被 neutrophil 和 lymphocyte 氧化 (Burns, 1975)，在身體代謝中 leucine 吸收速率大於 isoleucine，遠大於 valine(Calder, 2006)，leucine 也被證實可以促進肌肉的再合成 (Wagenmakers, 1999)，在老鼠實驗中也發現給予不同劑量 leucine 和 valine 可以降低癌細胞的活性 (Calder, 2006)。

Bassit 等人 (2002) 以 12 位三項鐵人運動員和 24 位長跑

運動員為對象，分別在 30 天與 15 天的訓練中，平均分為 2 組，安慰劑組與 BCAA 組，給予飲食的介入，最後發現訓練後的 BCAA 組血液中的 TNF- α 、IL-1 和 IL-4 的濃度都降低，而血液中的 IFN- γ 濃度增加，身體的發炎反應被抑制 (Bassit et al., 2002)。IFN- γ 可以活化巨噬細胞 (macrophage)，也可以增加抗原的呈現，當 IFN- γ 濃度上升時是有利於提升免疫能力。而 TNF- α 、IL-1 和 IL-4 在體內則是發炎時所產生的細胞激素，當濃度降低時，代表發炎反應是被抑制的。

有研究指出同時攝取碳水化合物與 BCAA 能有效提升運動表現，9 位自行車運動員，給予 CHO 與 BCAA 的補充，發現攝取兩種的組別運動表現有顯著的增加 (Madsen, MacLean, Kiens, & Christensen, 1996)。但是對於免疫反應的改變，並無太多研究去加以探討，攝取碳水化合物或 BCAA 對於身體免疫能力皆有影響，當兩者合併使用，對於免疫能力的改變是否有加乘作用，仍有待進一步的研究。

第四節 總結

如先前所述，IL-6 會抑制 TNF- α 的濃度，降低發炎反應，根據 Wang, Lin, Cheng, & Wong (2007) 的實驗，結果發現長時間間歇低氧的環境下運動後，IL-6 的濃度會提升，而 TNF- α 會下降。TNF- α 會增加胰島素的阻抗，IL-6 則會抑制，進而降低胰島素阻抗。依據這樣的結果我們推論在低氧刺激下運動可以增加胰島素的敏感度，但之前實驗多是以長時間的間歇低氧刺激才產生改變，但對於短期急性低氧下的運動刺激仍未加以討論，這就是本實驗所要探討的其中一個環節。

但是在急性低氧環境下的刺激，對於身體的運動表現會有影響，BCAA 的補充在運動中被認為可以幫助肌肉恢復和調控身體免疫能力 (Negro, Giardina, Marzani, & Marzatico, 2008)，在低氧下攝取 BCAA 的研究中較少探討免疫能力，若能搭配補充 CHO 與 BCAA，來增加其免疫能力，也可以避免因過度訓練所造成 URTI 的狀況，可以降低發炎反應的細胞激素，使身體發炎狀況趨緩，但是這樣的推論仍需實驗來證明。

第叁章 實驗步驟與研究方法

第一節 實驗對象

本研究以 7 位健康的大學生為實驗對象，平常有固定運動習慣，每週至少運動兩次，每次 30 分鐘以上，實驗前禁食 10 小時，實驗前 24 小時避免從事任何劇烈運動，過去 4 周內並無感染任何疾病，實驗期間沒有服用任何藥物，經過健康問卷調查，並充分瞭解實驗過程與內容，簽署同意書並願意配合本次研究。本實驗設計通過台灣體育大學人體試驗委員會核准。

第二節 實驗設計與流程

為了瞭解低氧環境下運動攝取 BCAA 和 glucose 對於免疫能力的影響，本實驗採取雙盲設計，受試者在實驗前一星期會先接受最大攝氧量 (VO_{2max})，以便訂定在實驗中的運動強度。利用腳踏測功機，由 75W 的強度開始，每 3 分鐘增加 25W，直至衰竭，過程中利用氣體分析儀 (CORTEX, METAMAX 3B, Leipzig, Germany) 來測量低氧環境下最大攝氧量 (VO_{2max})。

每個受試者皆要完成 4 組測試，安慰劑組、glucose 組、BCAA 組、BCAA + glucose 組。運動前空腹 10 小時，運動前紀錄其安靜時心跳率，身高、體重等基本資料。組與組之

間間隔一個星期，紀錄受試者前三天的飲食，避免攝取含有咖啡因或酒精的食物，測試前一天避免從事任何運動。

一、營養介入方式：

(一)安慰劑組：給予受測者安慰劑(250ml H₂O)後，從事運動測試。

(二)碳水化合物組：給予受測者含有 75g/250ml 的葡萄糖水，從事運動測試，葡萄糖(購自 Wako Pure Chemical Industries, Ltd, Osaka Japan.)

(三)BCAA 組：給予受測者含有 BCAA (購自 Optimum BCAA Powder, Aurora, USA.)(每 5.6 g 含有 L-Leucine 2.5g, L-isoleucine 1.25g, L-valine 1.25g)12g，250ml 的飲料，從事運動測試。

(四)BCAA+glucose 組：給予受測者含有 BCAA12g 和 75g glucose/250ml 的飲料，從事運動測試。

二、運動的介入方式：

實驗開始後以腳踏測功機訓練，以 50% VO_{2max} 所換算的強度持續 90 分鐘的運動，再以 85%VO_{2max} 的運動直到衰竭，紀錄至衰竭的時間。低氧艙內，設定高度為 2300m (低氧氣濃度為 15%)。

三、實驗流程說明(圖 1)：

(一)禁食期：到達實驗室測量體重，蒐集口水 2 分鐘，採集血液，埋入滯留針。

(二)以隨機分配的組別來決定受測者所接受的喝下飲料後，

進入低氧艙，休息 1h，收集血液與氣體及口水。在進入低氧艙之後，要隨時記錄其血氧飽和濃度，確保受試者的狀態與安全性。

(三)運動期：休息 1h 後，開始以 50% $VO_{2\max}$ 的強度踩腳踏車，踩 90 分鐘後，在運動過程中每 15 分鐘給水 $2\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，持續以 85% $VO_{2\max}$ 運動直至衰竭。在運動過程中每 15 分鐘採集一次血液與氣體。

(四)休息恢復期：運動後計時 2h，每一個小時採集口水、血液與氣體。

(五)實驗結束：確認受試者身體狀況，有無不適的情況。

第三節 分析方式

一、樣本取樣：

血液的取樣：於肘靜脈埋入滯留針後，採取 10ml 的血液置入含有抗凝固劑(EDTA)的真空採血管中，輕輕搖晃均勻，避免產生血液凝固現象，立即將血液放置在自動血球計數器上偵測血液中血球濃度，之後置入離心機中，以 1500g 的轉速離心 15 分鐘，取其上清液，置入 -70°C 冰箱儲藏。

唾液的取樣：取閃爍計數瓶，使受測者嘴唇沿著瓶壁，使口水自然流下，採集 2 分鐘，在測試前先量瓶身重量，結束後也要秤重，用來作為流量校正的依據，將樣本保存於 -20°C 冰箱。

二、樣本分析方法：

(一) 口水中 IgA 濃度分析：

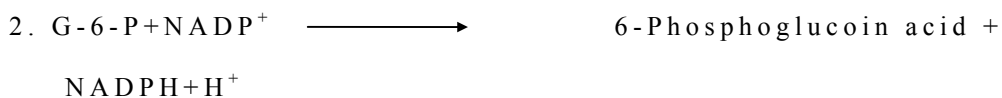
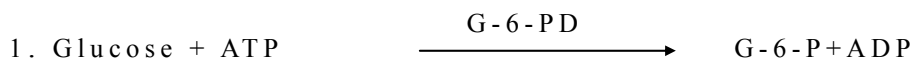
將收集到的口水離心 2 分鐘 10000 轉，取其上清液，用酵素免疫分析法 (Enzyme-linked immunoassay, ELISA) 來分析其濃度。

(二) 血液中的細胞激素分析：

IL-6、TNF- α : 將血液離心分出血漿，利用酵素免疫分析法 (Enzyme-linked immunoassay, ELISA) (eBioscience, San Diego, USA) 讀取吸光值來測定濃度。

(三) 葡萄糖 glucose 濃度血液生化值

血漿中葡萄糖濃度採用 Quick Auto Neo Glu-HK 商業試劑組 (SHINO, Tokyo, Japan)，以自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Hitachi Science systems, Ltd, Lbaranki, Japan) 分析，吸光值波長 340 nm，副波長 450 nm，化學反應原理如下：



(四) 胰島素濃度血液生化值

血漿中胰島素濃度採用商業試劑組 (Roche Diagnostics, Mannheim, Germany)，使用 Streptavidin 的微粒子與 Anti-insulin AB-biotin、Anti-insulin

AB-Ru(bpy)₃²⁺，產生化學冷光，使用電子化學發光免疫分析儀 (Roche Elecsys 1010/2010, Roche Diagnostics, Mannheim, Germany)。

(五) 血液中 Cortisol 的分析：

利用電化學發光免疫分析 (Electrochemiluminescence immunoassay, ECLIA)，於 Roche Elecsys 2010 免疫分析儀器檢測。

Elecsys Cortisol 的試驗原理為競爭原理，利用 Cortisol 特異性的多株抗體進行。檢體內的 Cortisol 因 Danazol 的作用而從結合蛋白上釋出，和試驗中外加的 Cortisol 衍生物一起競爭生物素化抗體上的結合位置，而外加的 Cortisol 衍生物已經先以鈦化物標記。Elecsys Cortisol 試劑。(Cat.No.11875116) 可進行 100 次反應。

- R1：Anti-cortisol-Ab~biotin(灰蓋)1 瓶 9ml：生物素化 Anti-cortisol 多株抗體(羊)90ng/ml；MES 緩衝液 100 mmol/l，PH6.0；保存劑。
- R2：Cortisol-peptide~Ru(bpy)₃²⁺；(黑蓋)1 瓶 9 ml：以鈦化物標記 Cortisol 衍生物(合成)，25 ng/ml；danazol20 μg/ml；MES 緩衝液 100 mmol/l，PH 6.0；保存劑。

(六) 血液中血球的分析

以 Sysmax KX-21N (KOBE,JAPAN) 自動血球計數器，計算血液中白血球、嗜中性白血球、淋巴球數量。

第四節 統計方法

本研究之數據以平均數±標準誤的方式呈現，各組間的比較以雙因子重複量數變異數分析(two-way ANOVA)來比較，各個免疫指標在4組之間的差異。各組不同時間點的各自比較利用單因子變異數分析(one-way ANOVA)進行分析，顯著水準定為 $P < 0.05$ ，利用 Bonferroni 法進行事後比較。

第肆章 結果

本章呈現出受試者經由四次隨機的實驗測試，所得到的受試者基本資料，以及實驗過程中所採集到的血液與唾液，生化分析的結果。這些數據經統計分析後，將分為一、受試者基本資料；二、攝取不同補充劑對於血液中生化值的影響；三、攝取不同補充劑對於唾液中免疫球蛋白的影響，利用這些資料加以進行討論。

第一節 受試者基本資料

本次實驗有七位男性受試者，年齡 25.5 ± 0.6 ，身高 168.4 ± 1.8 cm，體重 69.86 ± 2.8 kg，最大攝氧量 38.2 ± 1.8 ml · min⁻¹ · kg⁻¹，皆完成四次實驗，在實驗過程者並無其他不適之狀態。

第二節 攝取不同補充劑對於血液中生化值的影響

一、血球變化量

在白血球 (white blood cell) 數量方面，如 (圖 2) 各組間的白血球並無顯著的變化。

淋巴球 (lymphocyte) (圖 3) 的數量在各組間在運動中 60 分鐘時，BCAA+glucose 組顯著低於 placebo 組 ($p=0.04$)，在血液中淋巴球的百分比 (圖 4)，運動後 BCAA 組與 glucose 組有顯著差異 ($p=0.019$)，BCAA 組與 BCAA+glucose 組也有顯著的差異 ($p=0.017$)，運動後一小時 glucose 組分別與其他三組皆有顯著差異 BCAA ($p=0.00$)、BCAA+glucose ($p=0.002$)、placebo ($p=0.013$)。

噬中性白血球 (neutrophil) (圖 5) 的數量上各組間也無顯著的變化，在不同時間點也無顯著的增加，但是在噬中性白血球在血液中的百分比 (圖 6) 在運動後的時間點，BCAA 組顯著高於 BCAA+glucose 組 ($p=0.025$) 與 glucose 組 ($p=0.027$)

二、壓力賀爾蒙與細胞激素的變化

血液中的可體醇 (cortisol) (圖 7)，在運動前顯著低於 baseline ($p=0.023$)，運動後休息兩小時顯著低於運動後 ($p=0.005$)。在各組之間並無顯著差異。

血液中的血糖濃度 (圖 8)，在運動前三十分鐘時 BCAA 組顯著低於於 CHO 組 ($p=0.028$) 與 BCAA+CHO 組 ($p=0.005$)，安慰劑組也顯著低於 CHO 組 ($p=0.036$) 與 BCAA+CHO 組 ($p=0.013$)，運動前 BCAA 組顯著低於於 CHO 組 ($p=0.039$) 與 BCAA+CHO 組 ($p=0.031$) PLA ($p=0.029$)，其他時間點並無顯著差異，組間的比較也無顯著的差異。

胰島素 (insulin) 濃度 (圖 9)，在組間比較發現運動開始前 BCAA+CHO 與 CHO 組皆顯著高於 PLA 組 ($p=0.005$ 、 $p=0.021$)，BCAA+CHO 與 CHO 組皆顯著高於 BCAA 組 ($p=0.007$ 、 $p=0.028$) 運動後四組的胰島素濃度顯著低於 baseline ($p=0.045$)。

血液中的 IL-6 (圖 11) 在四組中各時間點的相互比較並無顯著差異，組間與組間的比較也無顯著差異。

血液中的 TNF- α (圖 12) 在四組中各時間點的相互比較並無顯著差異，組間與組間的比較也無顯著差異。

第三節 攝取不同補充劑對於唾液中免疫球蛋白的影響

從(圖 10)可以發現唾液中的免疫球蛋白 A(IgA)在各組間與不同時間點都無顯著的變化。

第五章 討論

本研究主要發現短時間的低氧刺激對於唾液中 IgA 濃度的影響並不大，在攝取 BCAA 或 glucose 對於運動後血液中噬中性白血球與淋巴球的比例是有所影響的。低氧下運動前攝取碳水化合物血液中的 cortisol 濃度在運動後會增加，進一步會去影響身體噬中性白血球的活性與其他身體機能的調控。

從本研究中也發現運動後對於噬中性白血球、淋巴球和白血球的數量皆有增加，雖然在運動後回復時間的情況依細胞種類、功能與調控的外在因素而有所不同。長時間的耐力運動會影響血液中的自然殺手細胞，淋巴球等血球的活性與數量 (Rohde, MacLean, Hartkopp, & Pedersen, 1996)，運動後加速血液循環，也會造成身體的血球在循環系統中再分配，對於血液中淋巴球、噬中性白血球的數量與活性有所影響 (McCarthy & Dale, 1988)，在低氧環境下運動，身體產生較大的壓力，運動前補充 CHO 或 BCAA 對於運動中淋巴球和嗜中性白血球數量並無顯著的影響，運動後噬中性白血球的比例與數量皆有增加的趨勢，主要可能受到 cortisol 的調控所影響，先前的研究指出運動前攝取 CHO 可以有效降低血液中 cortisol 的濃度 (Mitchell et al., 1998)，但是在本研究中卻發現攝取 CHO 運動後 cortisol 的濃度是短暫增加的，可能是低氧下運動會加速糖質新生作用的反應，加速肝醣的利用率，從血糖的資料中發現，有攝取 glucose 的兩組，運動後的 glucose 濃度都是偏低的，當血液中 glucose 下降時，會刺激腦下垂體和交感神經，分泌糖類皮質醇 (Mitchell et al.,

1990)，cortisol 的增加會間接降低運動後所產生的噬中性球增生與淋巴球增生的現象 (Pedersen, Rohde, & Ostrowski, 1998)，在本研究嗜中性白血球與淋巴球的趨勢與 Li & Cheng, (2007) 的研究類似，雖然攝取 CHO 後噬中性白血球的濃度在運動後兩個小時還是偏高，是受到 cortisol 的調控，當運動後時有攝取 CHO 組的兩組噬中性白血球的數量是低於其他兩組的，而在休息期時，兩組卻是有增加的趨勢，這或許是因為受到 cortisol 的調控，cortisol 的半衰期較長，所以對於噬中性白血球的影響時間較長 (Li & Cheng, 2007)。

由本研究也發現到唾液中的 IgA 在短期的低氧暴露下從事長時間的耐力運動是不會受到影響的，以往的研究都發現長時間運動的 IgA 濃度是會隨著運動強度與時間而有所影響的，而這次實驗的結果發現到 IgA 的濃度變化需要較長時間的影響，這也與我們實驗室先前的研究吻合，低氧環境下漸增式運動前補充 CHO 對於唾液中的 IgA 濃度也是沒有顯著的改變 (Wu et al., 2009)，長時間的運動與壓力可能才是造成唾液中 IgA 濃度改變的主要因素。所以單次短時間的長時間運動對於身體的免疫能力影響是有限的，補充 BCAA 或 glucose 對於唾液中 IgA 濃度的影響並不大。

先前的研究對於 IL-6 都是以長期的運動 (Wang et al., 2007) 或外界的刺激去觀察 (Starkie et al., 2003)，其他研究也發現到長期的運動補充碳水化合物或 BCAA 對於細胞激素是有影響的 (Bassit et al., 2002)，但是單次的運動前有無攝取 CHO 對於血液中的 IL-6 是沒有顯著的差異 (Lancaster, Jentjens, Moseley, Jeukendrup, & Gleeson, 2003)，而 TNF- α 也看到類似的情況，雖然在運動後四組皆有增加的趨勢，是

因為長時間耐力運動後所造成的短暫刺激，在各組間也沒有明顯的差異性，可能是在短期的低氧下運動對於身體的刺激可能還不足以使身體產生立即性的變化。

這次實驗發現在低氧下單次耐力運動對於 IgA 和 IL-6 並不會有顯著的影響，在本研究中短時間的低氧刺激之後對於細胞激素和唾液中的免疫球蛋白並無看見顯著的改變，但是在身體周邊血液中的白血球與淋巴球的數量有發生變化，而細胞激素的分泌是由身體不同組織之細胞所分泌(Lyngso et al., 2002)，也會受到賀爾蒙的調控，或許延長休息觀察的時間或許可以看到一些改變。

引用文獻

中文文獻

葉怡玲、孫昭玲、洪小芳 (譯)(2004) 免疫學 第五版。
台北市：九州圖書。

英文文獻

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *Journal of Sports Sciences*, 21, (12), 1017-1024.
- Bacurau, R. F., Bassit, R. A., Sawada, L., Navarro, F., Martins, E., Jr., & Costa Rosa, L. F. (2002). Carbohydrate supplementation during intense exercise and the immune response of cyclists. *Clinical Nutrition*, 21(5), 423-429.
- Bassit, R. A., Sawada, L. A., Bacurau, R. F., Navarro, F., Martins, E., Jr., Santos, R. V., et al. (2002). Branched-chain amino acid supplementation and the immune response of long-distance athletes. *Nutrition*, 18(5), 376-379.
- Bishop, N. C., Walsh, N. P., Haines, D. L., Richards, E. E., & Gleeson, M. (2001a). Pre-exercise carbohydrate status and immune responses to prolonged cycling: I. Effect on neutrophil degranulation. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11(4), 490-502.
- Bishop, N. C., Walsh, N. P., Haines, D. L., Richards, E. E., &

- Gleeson, M. (2001b). Pre-exercise carbohydrate status and immune responses to prolonged cycling: II. Effect on plasma cytokine concentration. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11(4), 503-512.
- Brundle, S., Thayer, R., & Taylor, A. W. (2000). Comparison of fructose and glucose ingestion before and during endurance cycling to exhaustion. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(4), 343-349.
- Burns, C. P. (1975). Isoleucine metabolism by leukemic and normal human leukocytes in relation to cell maturity and type. *Blood*, 45(5), 643-651.
- Calder, P. C. (2006). Branched-chain amino acids and immunity. *The Journal of Nutrition*, 136(1 Suppl), 288S-293S.
- Chang, T. W., & Goldberg, A. L. (1978). Leucine inhibits oxidation of glucose and pyruvate in skeletal muscles during fasting. *The Journal of Biological Chemistry*, 253(10), 3696-3701.
- Costa, R. J., Jones, G. E., Lamb, K. L., Coleman, R., & Williams, J. H. (2005). The effects of a high carbohydrate diet on cortisol and salivary immunoglobulin A (s-IgA) during a period of increase exercise workload amongst Olympic and Ironman triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 880-885.
- Faquin, W. C., Schneider, T. J., & Goldberg, M. A. (1992).

- Effect of inflammatory cytokines on hypoxia-induced erythropoietin production. *Blood*, 79(8), 1987-1994.
- Fulco, C. S., Zupan, M., Muza, S. R., Rock, P. B., Kambis, K., Payn, T., et al. (2007). Carbohydrate supplementation and endurance performance of moderate altitude residents at 4300 m. *International Journal of Sports Medicine*, 28(5), 437-443.
- Lancaster, G. I., Jentjens, R. L., Moseley, L., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M. (2003). Effect of pre-exercise carbohydrate ingestion on plasma cytokine, stress hormone, and neutrophil degranulation responses to continuous, high-intensity exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13(4), 436-453.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102-112.
- Li, T. L., & Cheng, P. Y. (2007). Alterations of immunoendocrine responses during the recovery period after acute prolonged cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 101(5), 539-546.
- Lyngso, D., Simonsen, L., & Bulow, J. (2002). Metabolic effects of interleukin-6 in human splanchnic and adipose tissue. *The Journal of Physiology*, 543(Pt 1), 379-386.

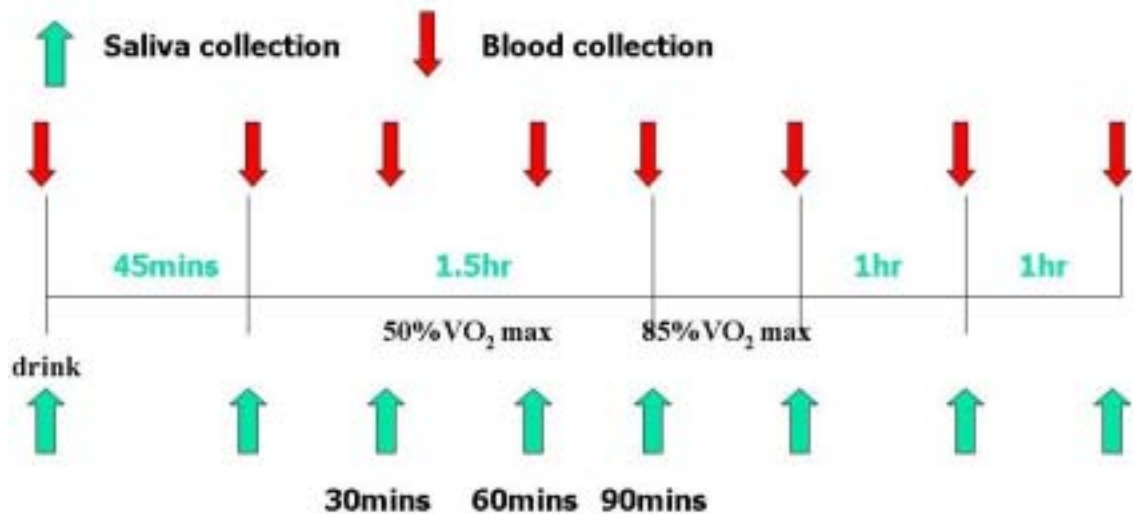
- Madsen, K., MacLean, D. A., Kiens, B., & Christensen, D. (1996). Effects of glucose, glucose plus branched-chain amino acids, or placebo on bike performance over 100 km. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2644-2650.
- Matthews, C. E., Ockene, I. S., Freedson, P. S., Rosal, M. C., Merriam, P. A., & Hebert, J. R. (2002). Moderate to vigorous physical activity and risk of upper-respiratory tract infection. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1242-1248.
- Mazzeo, R. S. (2005). Altitude, exercise and immune function. *Exercise. Immunology Review*, 11, 6-16.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude : an update. *Sports medicine*, 38(1), 1-8.
- McCarthy, D. A., & Dale, M. M. (1988). The leucocytosis of exercise. A review and model. *Sports Medicine*, 6(6), 333-363.
- Meeuwssen, T., Hendriksen, I. J., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 84(4), 283-290.
- Mitchell, J. B., Costill, D. L., Houmard, J. A., Flynn, M. G., Fink, W. J., & Beltz, J. D. (1990). Influence of carbohydrate ingestion on counterregulatory hormones during prolonged exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 11(1), 33-36.
- Mitchell, J. B., Pizza, F. X., Paquet, A., Davis, B. J., Forrest,

- M. B., & Braun, W. A. (1998). Influence of carbohydrate status on immune responses before and after endurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 84(6), 1917-1925.
- Mohamed-Ali, V., Goodrick, S., Rawesh, A., Katz, D. R., Miles, J. M., Yudkin, J. S., et al. (1997). Subcutaneous adipose tissue releases interleukin-6, but not tumor necrosis factor-alpha, in vivo. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 82(12), 4196-4200.
- Motro, B., Itin, A., Sachs, L., & Keshet, E. (1990). Pattern of interleukin 6 gene expression in vivo suggests a role for this cytokine in angiogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 87(8), 3092-3096.
- Negro, M., Giardina, S., Marzani, B., & Marzatico, F. (2008). Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(3), 347-351.
- Neville, V., Gleeson, M., & Folland, J. P. (2008). Salivary IgA as a risk factor for upper respiratory infections in elite professional athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), 1228-1236.
- Nielsen, A. R., & Pedersen, B. K. (2007). The biological roles of exercise-induced cytokines: IL-6, IL-8, and IL-15. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 32(5),

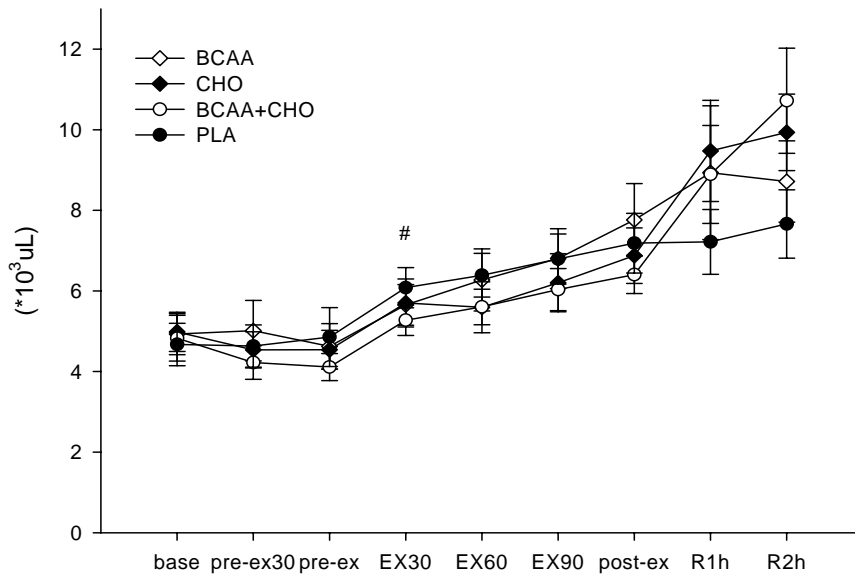
833-839.

- Nieman, D. C., Henson, D. A., Austin, M. D., & Brown, V. A. (2005). Immune response to a 30-minute walk. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(1), 57-62.
- Nieman, D. C., Johanssen, L. M., Lee, J. W., & Arabatzis, K. (1990). Infectious episodes in runners before and after the Los Angeles Marathon. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30(3), 316-328.
- Pedersen, B. K., Rohde, T., & Ostrowski, K. (1998). Recovery of the immune system after exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 325-332.
- Pedersen, B. K., Steensberg, A., & Schjerling, P. (2001). Muscle-derived interleukin-6: possible biological effects. *The Journal of Physiology*, 536(Pt 2), 329-337.
- Petersen, A. M., & Pedersen, B. K. (2005). The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 98(4), 1154-1162.
- Roach, R. C., Maes, D., Sandoval, D., Robergs, R. A., Icenogle, M., Hinghofer-Szalkay, H., et al. (2000). Exercise exacerbates acute mountain sickness at simulated high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 88(2), 581-585.
- Rohde, T., MacLean, D. A., Hartkopp, A., & Pedersen, B. K. (1996). The immune system and serum glutamine during a triathlon. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(5), 428-434.

- Starkie, R., Ostrowski, S. R., Jauffred, S., Febbraio, M., & Pedersen, B. K. (2003). Exercise and IL-6 infusion inhibit endotoxin-induced TNF- α production in humans. *FASEB Journal*, *17*(8), 884-886.
- Steensberg, A., van Hall, G., Osada, T., Sacchetti, M., Saltin, B., & Klarlund Pedersen, B. (2000). Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *Journal of Physiology*, *529 Pt 1*, 237-242.
- Tiollier, E., Gomez-Merino, D., Burnat, P., Jouanin, J. C., Bourrilhon, C., Filaire, E., et al. (2005). Intense training: mucosal immunity and incidence of respiratory infections. *European Journal of Applied Physiology*, *93*(4), 421-428.
- Wagenmakers, A. J. (1999). Amino acid supplements to improve athletic performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, *2*(6), 539-544.
- Wang, J. S., Lin, H. Y., Cheng, M. L., & Wong, M. K. (2007). Chronic intermittent hypoxia modulates eosinophil- and neutrophil-platelet aggregation and inflammatory cytokine secretion caused by strenuous exercise in men. *Journal of Applied Physiology*, *103*(1), 305-314.

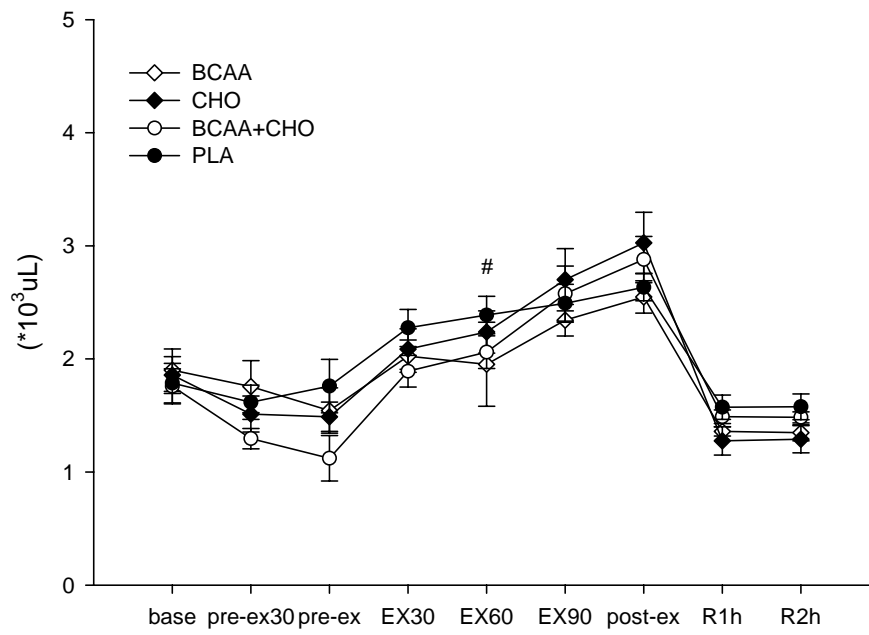


圖表 1 實驗流程



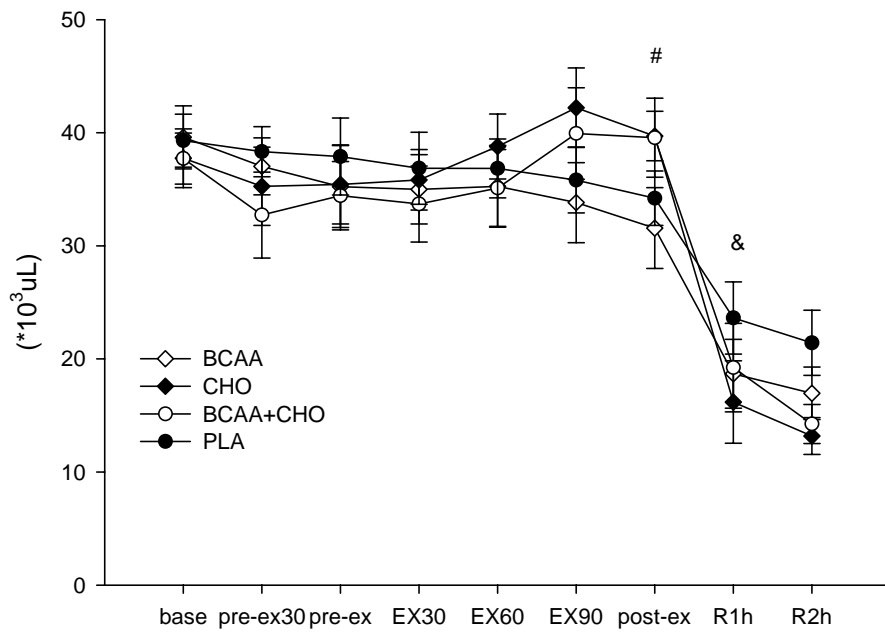
圖表 2 四組中白血球的濃度變化

CHO 顯著大於 BCAA，# P<.05。



圖表 3 淋巴球的變化

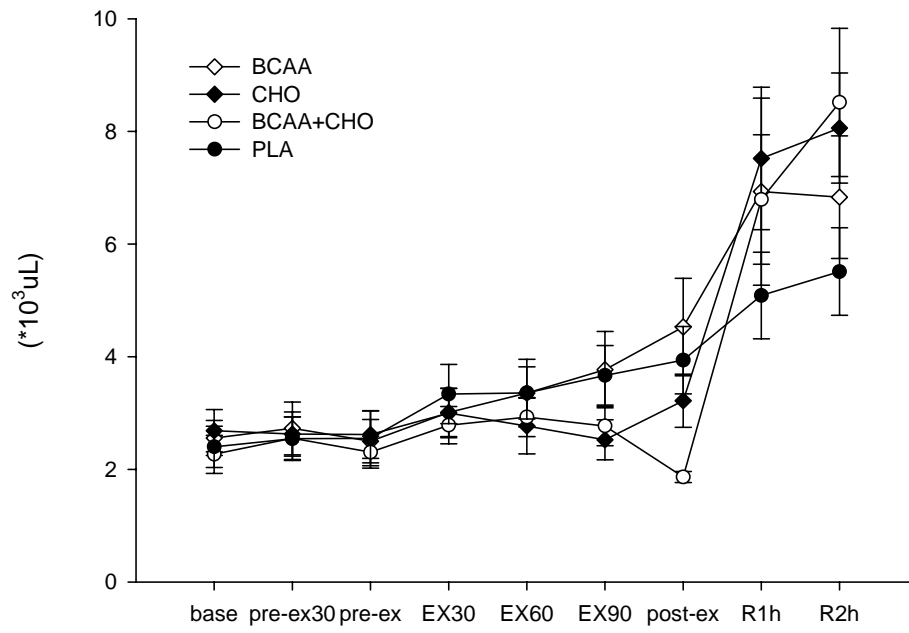
placebo 顯著高於 BCAA+CHO，#P<.05。



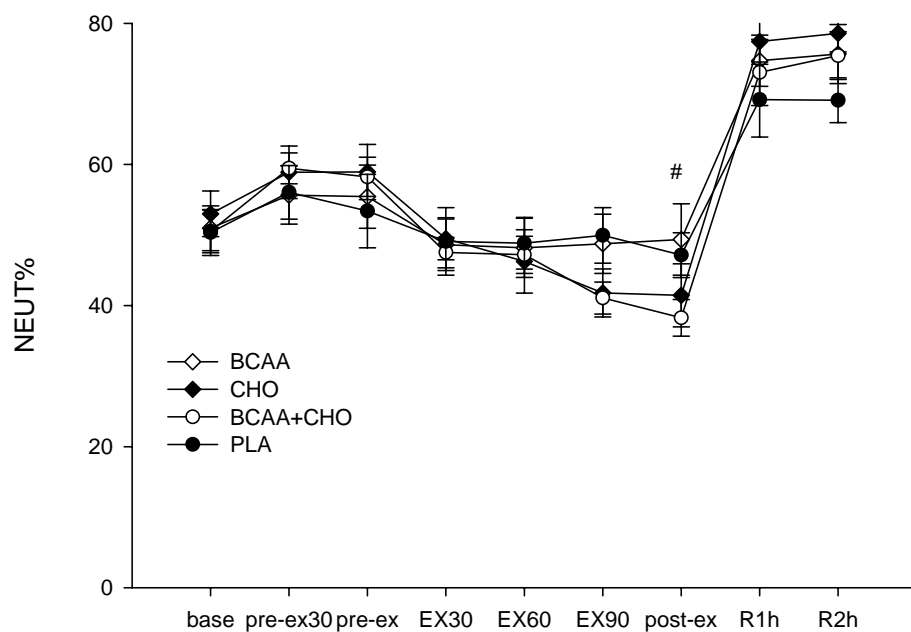
圖表 4 淋巴球總白血球中所佔的百分比

BCAA 組顯著低於 CHO 組、BCAA+CHO 組，# $P < .05$ 。

CHO 組與其他三組皆有顯著差異，& $P < .05$ 。

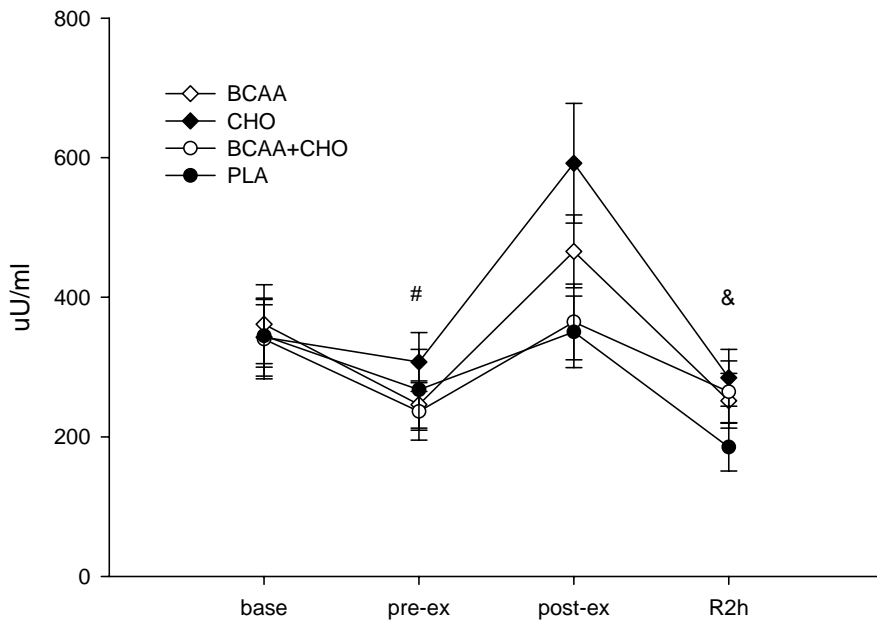


圖表 5 四組中噬中性白血球的濃度變化



圖表 6 噬中性白血球在總白血球所佔的比例

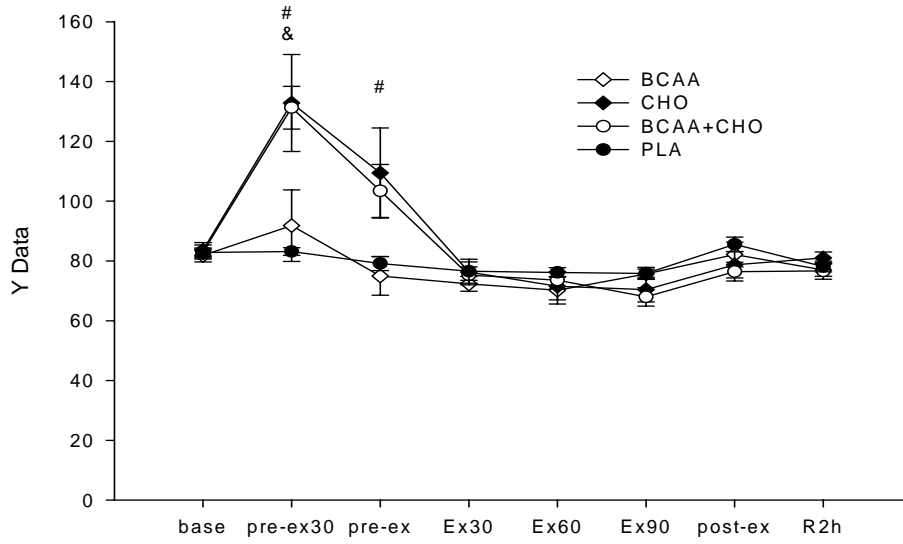
BCAA 組有顯著低於 CHO 組、BCAA+CHO 組，#P<.05。



圖表 7 四組間 cortisol 的濃度變化量

在 base 顯著高於 pre-ex，# $P < .05$

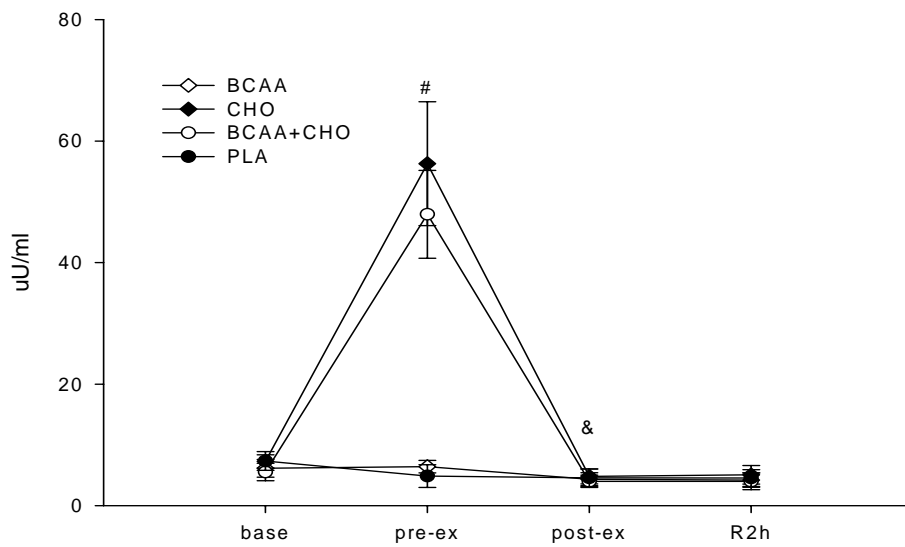
在 post-ex 顯著高於 R2h，& $P < .05$



圖表 8 血液中血糖變化量

BCAA 顯著低於 CHO 組與 CHO+BCAA 組，# $P < .05$ 。

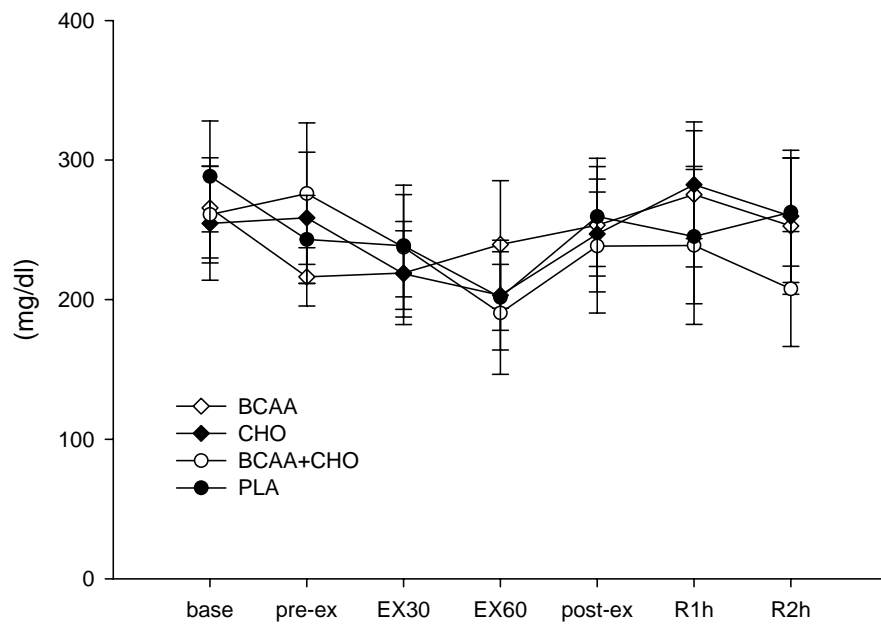
PLA 顯著低於 CHO 組與 CHO+BCAA 組，& $P < .05$ 。



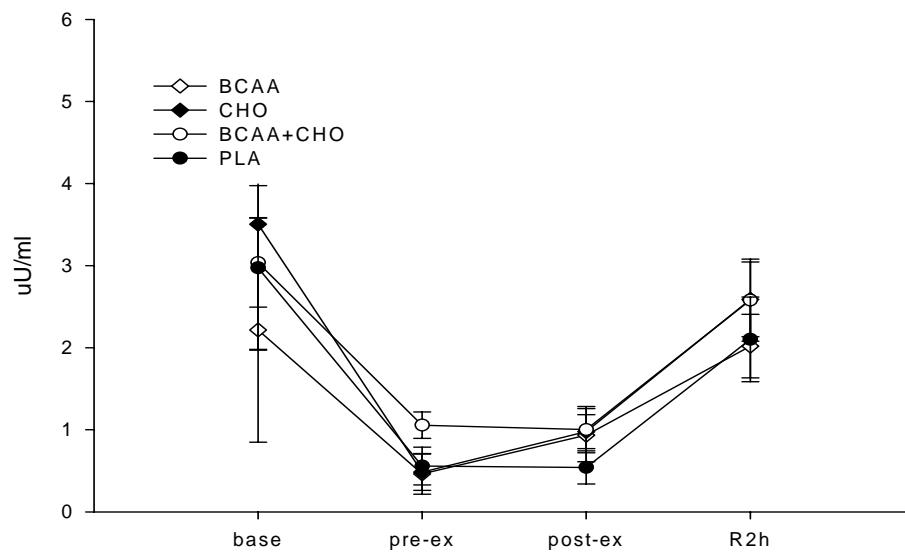
圖表 9 胰島素濃度的變化

PLA、BCAA 組皆顯著低於 CHO、CHO+BCAA，# $P < .05$ 。

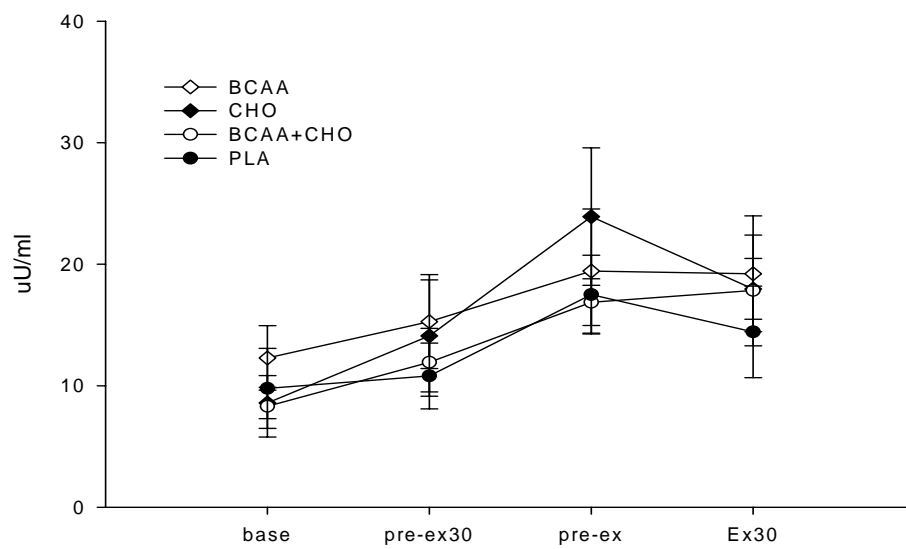
post-ex 皆顯著低於 base，& $P < .05$ 。



圖表 10 唾液中 IgA 濃度



圖表 11 IL-6 在血液中濃度



圖表 12 TNF- α 在血液中濃度

受試者同意書

研究題目：運動前補充碳水化合物及支鏈胺基酸在急性低氧環境下耐力運動對於細胞激素之影響

研究單位：國立臺灣體育大學(臺中)運動科學中心

研究人員：健碩二 A 林漢斯

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 對於免疫能力的影響。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。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：_____

健康問卷調查表

● 基本資料

姓名：_____ 系所及班級：_____
性別：男 女 填寫日期：民國_____年_____月_____日
出生年月日：民國_____年_____月_____日
身高(cm)/體重(kg)：_____ / _____

● 過去及家族病史，(若有請於框框內打勾)並於空白處填上親屬關係

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 心臟病 | <input type="checkbox"/> 高血壓 |
| <input type="checkbox"/> 糖尿病 | <input type="checkbox"/> 血友病 |
| <input type="checkbox"/> 氣喘 | <input type="checkbox"/> 蠶豆症 |
| <input type="checkbox"/> 呼吸系統疾病 | <input type="checkbox"/> 神經系統疾病 |
| <input type="checkbox"/> 消化系統疾病 | <input type="checkbox"/> 內分泌疾病 |
| <input type="checkbox"/> 泌尿疾病 | <input type="checkbox"/> 骨折 |
| <input type="checkbox"/> 過敏 | <input type="checkbox"/> 貧血 |
| <input type="checkbox"/> 癌症 | <input type="checkbox"/> 其它 |

● 生活習慣

抽煙 常常 偶爾 少許 未曾
喝酒 常常 偶爾 少許 未曾
熬夜(超過半夜一點)，每週約_____天或每月約_____天
運動習慣，有 無 (若有請填寫下列空格)
運動項目_____，每週約_____次或每月約_____次，每次約_____分鐘
其它_____

● 是否有長期服用藥物之習慣 是 否，藥物名稱：

● 自覺症狀(若有請於框框內打勾)

- | | |
|------|-------------------------------|
| 頭痛 | <input type="checkbox"/> 失眠 |
| 心悸 | <input type="checkbox"/> 手指顫抖 |
| 腸胃炎 | <input type="checkbox"/> 黏膜炎 |
| 胸悶 | <input type="checkbox"/> 胸痛 |
| 肌肉酸痛 | <input type="checkbox"/> 便秘 |
| 腹痛 | <input type="checkbox"/> 皮膚問題 |
| 其它 | |

以上您填寫的資料皆屬實，並經檢測人員解說後瞭解檢測內容及步驟，並同意參加本次實驗。

受測者簽名：_____