

# 支鏈胺基酸在耐力性運動的應用

傅正思 中州技術學院

李淑玲 中州技術學院

## 摘要

耐力性運動的營養增補，過去的焦點大多放在醣類的補充，根據研究指出，長時間的耐力性運動，有 10~15% 的能量來源，是由葡萄糖-丙氨酸循環而來，所以運動員們實在不應忽視胺基酸所扮演的角色。本文透過支鏈胺基酸的結構與代謝途徑、在長時間耐力性運動中體內的變化情形、對中樞神經疲勞以及免疫功能之影響進行探討，期盼能夠提供運動員們在選擇營養增補劑上之參考。

**關鍵詞：支鏈胺基酸、耐力性運動**

## 壹、前言

運動員每天接受嚴厲的訓練，身體的負荷和一般坐式生活的人是無法比較的。為了增進運動表現，每天嚴厲的訓練，生理上的變化猶如不斷的破壞再建設，唯一的希望，就是期盼能建構出一個更強壯的個體，有更優異的成績表現……。所謂工欲善其事，必先利其器，運動員們除了每天辛苦的磨練外，充分的營養補充是很重要的，因此，營養增補劑在運動場上的使用，近年來已經成爲一種非常普遍的觀念。

耐力性運動的營養增補，過去的焦點大多放在醣類的補充，因爲運動時的主要能量來源不外乎醣類及脂肪，當從事的耐力性運動時間較長時，根據研究指出，有 10~15% 的能量來源，是由葡萄糖-丙氨酸循環而來 (McArdle, Katch, & Katch, 1991)，所以運動員們實在不應該忽視胺基酸所扮演的角色。

## 貳、支鏈胺基酸的結構與代謝途徑

自然界中所存在的胺基酸有 50 種以上，營養學上所討論並存於蛋白質中的有 22 種。這 22 種胺基酸有 8 種是身體無法自行製造的，稱之爲必需胺基酸，其它 14 種可由體內自行合成的胺基酸，稱爲非必需胺基酸。胺基酸如果以結構上

的不同來區分，可分為中性胺基酸、酸性胺基酸及鹼性胺基酸等三大類。白胺酸 (leucine)、異白胺酸 (isoleucine) 和纈胺酸 (valine) 這三種胺基酸在結構上除了碳骨架上的羧基 (-COOH) 及胺基 (-NH<sub>2</sub>) 兩種官能基外，其支鏈均含有分枝，因此將它稱為支鏈胺基酸 (branch chain amino acid, BCAA)，結構上是屬於中性胺基酸 (黃伯超、游素玲，1991)。

白胺酸和異白胺酸可藉由轉胺作用 (transamination, TA)，代謝成乙醯輔酶 A (acetoacetyl-CoA)，進入檸檬酸循環 (Citric acid cycle, TCA cycle)，以產生更多的能量提供工作肌使用。異白胺酸和纈胺酸可藉由轉胺作用形成  $\alpha$ -酮酸，代謝成琥珀醯基輔酶 A (succinyl-CoA)，轉化為蘋果酸 (malate) 然後丙酮酸 (pyruvate)，最後轉化為丙胺酸 (alanine)。當 BCAA 藉由上述途徑轉化為丙胺酸時，身體可經由血液將丙胺酸輸送到肝臟，將其轉化成丙酮酸後再轉化為葡萄糖，然後血液再將轉化的葡萄糖運送回肌肉，提供工作肌運動時的能量來源，這樣的轉化途徑，也就是我們所謂的葡萄糖-丙胺酸循環 (Lehninger, Nelson, & Cox, 1993)。BCAA 也可經由檸檬酸環的不同轉化途徑，轉化成為麩醯胺酸 (glutamine) (如圖 1)。

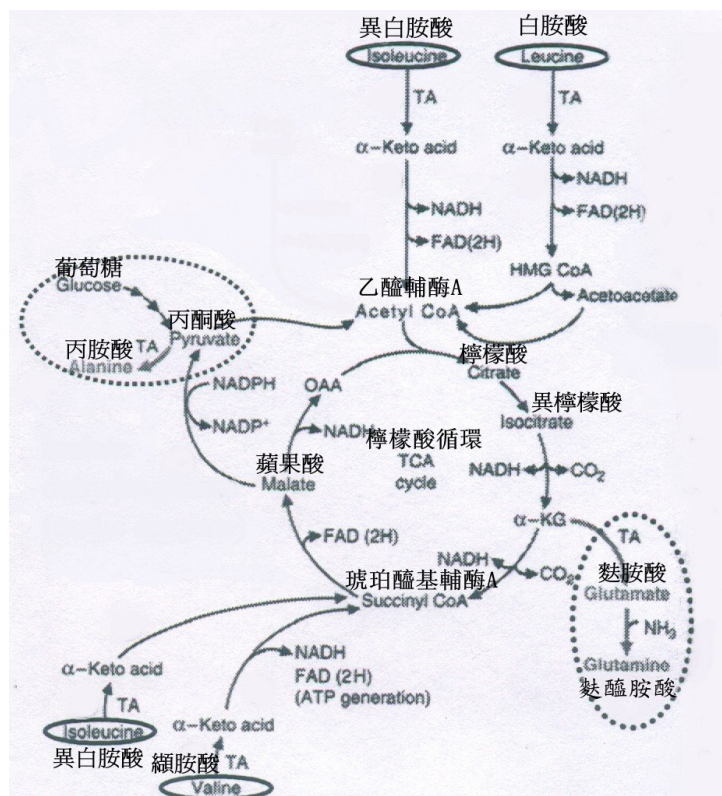


圖 1 支鏈胺基酸分解代謝途徑 (改編自 Lehninger et al., 1993)

### 叁、支鏈胺基酸在耐力性運動中的變化

Block 與 Buse (1990) 指出，運動會促進體內糖皮質類固醇 (Glucocorticoid) 的分泌增加，當糖皮質類固醇分泌增加時，將增進支鏈酮酸脫氫酶 (Branched-Chain  $\alpha$ -keto acid dehydrogenase, BCKAD) 的活化，支鏈酮酸脫氫酶為 BCAA 進行氧化之主要酵素，當它被活化後，相對的會加速 BCAA 的氧化。基於上述之原因，長時間的耐力運動，將促使支鏈酮酸脫氫酶的活化，進而加速 BCAA 進行氧化，使血液中的 BCAA 濃度明顯的下降 (Shimomura 等, 2006)。Shimomura 等 (2006) 更進一步指出，運動會增加 BCAA 的代謝，因此，如果能夠在運動前補充 BCAA，將可減緩肌肉蛋白的分解，增進骨骼肌肉蛋白的合成。

補充 BCAA 對耐力性運動究竟有何影響呢？Parry-Billings, Budgett, 與 Koutedakis (1992) 研究指出，以 47 位受試者，其中 23 位補充 BCAA，另外 24 位補充安慰劑的雙盲實驗設計中，分別在馬拉松賽中的 10.5、20.5、32.5 以及 37.5 公里處給予 4g/dl 的 BCAA 或安慰劑補充，賽後立即抽血分析血漿中之 BCAA 濃度，結果發現，BCAA 補充組賽後血漿中之 BCAA 濃度，有顯著增高 (pre-478  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , post-920  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 的趨勢，相較於安慰劑組，賽後則是明顯的下降 (pre-489  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , post-404  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

Tang, Lee, 與 Hsieh (1997) 以 19 位男性大學運動員，同樣是雙盲的實驗設計方式，分別將受試者隨機分配成安慰劑組及 BCAA 補充組，兩組均於空腹期攝取含高醣配方的飲食 (84%醣類、12%蛋白質、4%脂肪，13 大卡/公斤體重)，然後以膠囊方式補充安慰劑或 BCAA，1 小時後進行衰竭運動，血液樣本分別於實驗前 1 小時 (point 0)、高醣配方飲食後至實驗前 15 分鐘 (point 1)、運動開始後接近衰竭時 (point 2)、運動衰竭時 (point 3)、運動衰竭後 7 分鐘時 (point 4)、心跳恢復至休息狀態時 (point 5) 以及 24 小時 (point 6) 等 7 個時間點取樣，分析血液中 BCAA 濃度的變化情形，結果發現，體內 BCAA 濃度從補充後一直到心跳恢復至休息狀態時 (point 1~point 5) 的 5 個時間點期間，BCAA 組體內 BCAA 濃度均顯著高於安慰劑組，顯示 BCAA 的補充，可以有效的增進血液之 BCAA 濃度。

根據上述的研究顯示，BCAA 在血液中的濃度，雖然會隨著長時間的耐力性運動而下降，如果能夠適當的補充 BCAA，可以有效的增進並且維持血液中之 BCAA 濃度。

## 肆、支鏈胺基酸對中樞神經疲勞之影響

疲勞引起的成因，是非常複雜的，從各個不同的角度深入探討，都可能找到不同的原因。以代謝的角度來看，當肌肉中的磷酸肌酸 (phosphocreatine)、肝醣耗盡時，血液中葡萄糖濃度降低或激烈運動時肌肉快速代謝所產生的大量自由基，使細胞膜上的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  及 ATPase 無法維持穩定的濃度，進而使肌肉神經收縮產生阻礙等等，都可能引發疲勞 (溫鑫華、李寧遠，1997)。

中樞疲勞假說是由 Newsholme, Acworth, 與 Bloomstrand (1987) 所提出來的，中樞疲勞指的是由中樞神經系統因素所產生的疲勞。過去對這類型的疲勞所知甚少，近年來的研究則指出，中樞神經疲勞的成因似乎和一些特殊的胺基酸有關。當中樞神經疲勞產生時，腦內神經傳導物質 5 羥基色胺 (5-hydroxytryptamine, 5-HT) 的濃度，會有明顯上升的趨勢。Davis, Nathan, 與 Ralph (2000) 指出，5-HT 和運動表現有很高的關連，當腦內 5-HT 濃度較低時，對運動表現是有幫助的，它可以增加激發水準、增進動機以及促進神經肌肉間的協調；相反的，當 5-HT 濃度增高時，它會降低運動員的動機、讓人感覺昏睡疲勞、甚至神經的協調功能會降低。色胺酸 (tryptophan, TRP) 是 5-HT 的前生物質 (precursor)，腦中大量的 TRP 堆積將導致大量的 5-HT 形成，引起中樞神經疲勞。TRP 則可透過微血管和腦接觸之血腦障壁進入腦內。血液中的 TRP 和游離脂肪酸 (free fatty acid, FFA) 會和血液中的白蛋白 (albumin) 結合，兩者對白蛋白的親合力，以 FFA 較高，由於休息狀態時血液中的 FFA 含量少，所以 TRP 大部分和白蛋白結合，血液中游離態色胺酸 (f-TRP) 的含量並不高。TRP 經由血腦障壁進入腦內的速率快慢取決於血液中之 f-TRP/BCAA 比率，當 f-TRP/BCAA 的比率越高，TRP 進入腦內的速率也越快。長時間的耐力運動時，身體為了補充能量，血液中的 FFA 濃度會越來越高，FFA 對白蛋白的親合力高於 TRP，這時 FFA 會取代血液中 TRP 和白蛋白之結合，使得血液中 f-TRP 濃度增高，f-TRP 濃度增高的同時，f-TRP/BCAA 的比率也相對的升高，這時 f-TRP 進入腦內的速率加快，大量的 TRP 在腦內堆積的結果終將導致腦內之 5-HT 濃度升高造成疲勞產生 (Blomstrand, Celsing, & Newsholme, 2008)，這也就是所謂的中樞神經疲勞假說 (如圖 2)。

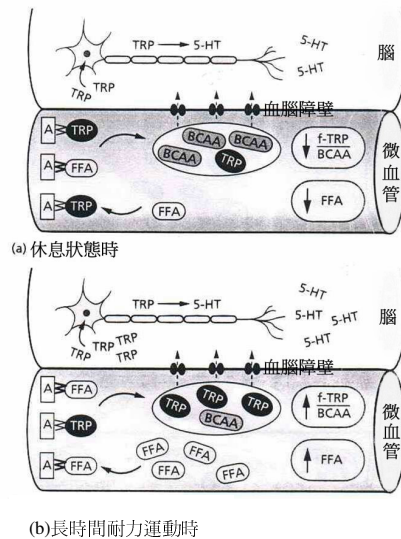


圖 2 中樞神經疲勞假說機轉 (摘自 Newsholme et al., 1987)

支持 BCAA 補充可以增進耐力運動表現的學者，根據中樞神經疲勞假說提出假設，如果藉由 BCAA 補充增進血液中 BCAA 濃度，以降低 f-TRP/BCAA 的比率，將可以延緩腦內之 5-HT 堆積，進而降低疲勞，增進耐力運動表現。然而，持反對意見的學者如 Ruth, Phil, 與 Ronald (2008) 的研究卻指出，BCAA 補充對耐力性腳踏車的運動表現，並無正面之功效。

## 伍、支鏈胺基酸對免疫功能之影響

日常生活飲食中之胺基酸，經由食道消化後，大部分藉由肝臟代謝轉化。和一般胺基酸不同，由於肝臟中的支鏈胺基酸轉化酶 (aminotransferase) 活性很低，大部分的支鏈胺基酸會藉由骨骼肌代謝。支鏈胺基酸在骨骼肌代謝轉化後，可轉換成丙胺酸或麩醯胺酸，Rowbottom, Keast, 與 Morton (1996) 指出，麩醯胺酸對於體內之免疫功能的影響很大，它對於器官之間氮的傳送以及氮的解毒作用、體內酸化過程中酸鹼平衡的維持、氮先驅物的分解作為核甘酸之合成、調節蛋白質的合成及降解、提供腸黏膜細胞以及免疫系統細胞能量的來源等，扮演著相當重要的角色。



運動訓練會影響體內麩醯胺酸的代謝。因此，在高強度的運動或超負荷訓練後，體內的麩醯胺酸濃度，將明顯的下降。另外，長期的過量訓練未獲充分休息時，將使體內的麩醯胺酸濃度降低，引起過度訓練症候群，同時造成內臟組織和免疫系統的傷害。

從流行病學的角度來看，長期參與高強度耐力運動訓練的運動員，罹患感染性疾病的機會較一般人高許多 (Brenner, Shek, & Shephard, 1994)，另外 Nieman, Johanssen, 與 Arabatzis (1990) 也指出，規律跑者冬季感染感冒的機率比非跑者高出將近六倍多。為什麼會有這樣的情形發生呢？根據實驗指出，可能和高強度運動訓練使免疫能力下降有關，相對的增加了運動員感染的機率。根據過去的研究指出，跑者罹患上呼吸道感染 (upper respiratory tract infection; URTI) 的比率，要比一般人高許多，分析原因主要和體內免疫球蛋白 A (IgA) 有關。當體內有較高的 IgA 濃度時，病毒侵襲上呼吸道的機率就會降低，運動員在經過高強度的運動訓練後，唾液中的 IgA 濃度明顯下降，造成體內呈現短暫的抗體缺乏，相對的增加了感染之機率 (Mackinnon & Hooper, 1994)。

支鏈胺基酸可經由代謝途徑轉換成麩醯胺酸，許多學者因此假設補充 BCAA 對免疫能力的提升有正面之功效。Reinaldo, Leticia, Reury, Francisco, 與 Luis (2000) 的研究指出，19 名受試者分成 10 名 BCAA 補充組及 9 名安慰劑組，比賽前 30 天開始補充 BCAA 或安慰劑，然後以問卷調查方式比較兩組在補充前以及補充後之上呼吸道感染情形，問卷內容包括發燒、喉嚨灼熱疼痛、咳嗽、流鼻水、喉嚨黏膜炎、鼻炎、流行性感冒、舌炎、鵝口瘡、耳炎……等上呼吸道感染症狀，調查的結果發現，BCAA 補充組罹患上呼吸道感染的比率要比安慰劑組低 33.84%，BCAA 補充顯著的降低了上呼吸道的感染機率。

Reinaldo 等人同時檢查這 19 名受試者在鐵人三項比賽前後血液中之麩醯胺酸濃度的變化情形，結果發現 BCAA 補充組於比賽前後血液中麩醯胺酸含量，維持著較穩定的狀況 (pre-902.9  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , post-892.1  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )，相較於安慰劑組，比賽後則明顯的下降 (pre-877.6  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , post-676.9  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 許多，根據上述的研究推論，補充 BCAA 可以有效的增進血液中之麩醯胺酸濃度，對於罹患 URTI 的比率，明顯的降低許多。

## 陸、結語

BCAA 在長時間耐力運動訓練上的應用，主要的功效在於增進耐力運動表現以及提高個人的免疫力。目前對於 BCAA 增進耐力運動表現的研究，仍具有許多的爭議，不過，就能量供給的觀點來看，當長時間的耐力性運動，醣類及脂肪大量消耗時，BCAA 提供體內一個較充裕的胺基酸池 (amino acid pool) 環境，對整體能量的供給面來看，是值得肯定的，況且，它在免疫力的提升，對於那些必須經常接受高強度耐力運動訓練的選手，不啻提供了一種不錯的營養增補選擇。再者，Shimomura 等 (2006) 的研究指出，蹲舉運動前補充 BCAA 可以減緩延遲性肌肉酸痛 (Delayed onset muscle soreness, DOMS) 及疲勞等現象，未來的研究方向，或許可針對 BCAA 補充與肌肉損傷之間的關係做更進一步之探討。

## 引用文獻

- 黃伯超、游素玲 (1991)。《營養學精要》。臺北市：健康文化事業股份有限公司。
- 溫鑫華、李寧遠 (1997)。支鏈胺基酸在運動疲勞形成所扮演的角色。《體育與運動》，103，58-62。
- Block, K. P., & Buse, M. G. (1990). Glucocorticoid regulation of muscle branched-chain amino acid metabolism. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (3), 316-324.
- Blomstrand, E., Celsing, F., & Newsholme, E. A. (2008). 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.
- Brenner, I. K. M., Shek, P. N., & Shephard, R. J. (1994). Infection in athletes. *Sports Medicine*, 17, 86-107.
- Davis, J. M., Nathan, L. A., & Ralph, S. W. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 573-578.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (1993). *Principles of biochemistry* (2nd ed.). New York : Worth Publishers.

- Mackinnon, L. T., & Hooper, S. (1994). Mucosal (secretory) immune system responses to exercise of varying intensity and during overtraining. *International Journal of Sports Medicine, 15*, 179-183.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1991). *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance* (3rd ed). Philadelphia: Lea & Febiger.
- Newsholme, E. A., Acworth, I. N., & Bloomstrand, E. (1987). Amino acids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise. *Advances in Myochemistry, 127-133*.
- Nieman, D. C., Johanssen, L. M., Lee, J. W., & Arabatzis, K. (1990). Infections episodes in runners before and after the Los Angeles marathon. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 30*, 316-328.
- Parry-Billings, M., R. Budgett, & Y. Koutedakis. (1992). Plasma amino acid concentrations in the overtraining syndrome: possible effects on the immune system. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 24*, 1353-1358.
- Reinaldo, A. B., Leticia, A. S., Reury, F. P. B., Francisco, N., & Luis, F. B. P. (2000). The effect of BCAA supplementation upon the immune response of triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32* (7), 1214-1219.
- Rowbottom, D. G., Keast, D., & Morton, A. R. (1996). The emerging role of glutamine as an indicator of exercise stress and overtraining. *Sports Medicine, 21*, 80-97.
- Ruth, H., Phil, W., & Ronald, M. (2008). Branched-chain amino acid supplementation does not affect endurance exercise capacity in man [Abstract]. *Book of Abstracts* (p. E372). Proceedings of the Nutrition Society.
- Shimomura, Y., Yamamoto, Y., Bajotto, G., Sato, J., Murakami, T., Shimomura, N., Kobayashi, H., & Mawatari, K. (2006). Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *Journal of Nutrition, 136* (2), 529S-532S.
- Tang, F. C., Lee, C. W., & Hsieh, S. Y. (1997). Physiological and performance effects of adding branched-chain amino acids to a high carbohydrate formula diet during exercise. *Journal of Nutritional Science, 22* (4), 361-371.