

食物的昇糖指數及其對耐力運動表現之影響

林依婷／國立體育學院

劉珍芬／臺北醫學大學

摘要

早期醣類主要利用結構及消化吸收情形區分為簡單醣類及複合醣類，經過加工製程可能會影響體內吸收的狀況，Jenkins 等人於 1981 年提出昇糖指數 (glycemic index, GI) 理論，主要在控制糖尿病患者的血糖，近幾年多運用在減重及運動。運動前攝取低 GI

體內醣類儲存量下降是限制耐力運動表現的一個主要因素，因此運動前補充醣類可提高運動耐力表現 (Schabort, Bosch, Weltan, & Noakes, 1999)，可能機制為運動前食用醣類提高肝醣儲存量，以保持血糖穩定 (Burke, Collier, & Hargreaves, 1998)，但每種食物引起血糖起伏並不一致，因此運動前不適當的醣類攝取，反而會影響運動表現。若在次最大強度運動前 45 分鐘攝取葡萄糖後會引起高胰島素反應，降低肝臟的醣質新生作用與肝醣分解作用，且增加肌肉吸收血中葡萄糖，造成運動過程低血糖，因而影響運動表現 (Stannard, Thompson, & Brand-Miller, 2000)，此現象與食物的昇糖指數 (glycemic index, GI) 有關。使用昇糖指數可以推估食物消化吸收後的血糖變化，所以在耐力運動比賽前後補充何種 GI 值的食物需要謹慎考慮。本文主要就食物之昇糖指數介紹及討論其對於耐力運動表現之影響。

貳、醣類對運動的重要性

血糖是維持生命系統必需的營養素，及運動中主要的供能物質之一。醣類在體內主要是以肝醣的形式儲存在肌肉與肝臟中，肌肉中的肝醣總量約為 250~400 公克，可提供 1000~1600 仟卡的能量，是肌肉能量代謝的直接來源；肝臟中肝醣量約為 70~90 克，可提供 280~360 仟卡的能量，用來補充血液中的葡萄糖（李寧遠，2004； Mathews, Van Holde, & Ahern, 2000）。

運動中醣類的利用取決於運動強度及持續時間，且跟運動前的飲食也有關，一般在短時間或間歇性高強度的運動，都不會引起明顯的肝醣耗損或低血糖狀況發生，但在中高強度運動（60%~80% $\dot{V}O_2 \max$ ），持續時間 40 分鐘以上時，就會使肌肉肝醣含量顯著地降低，而葡萄糖是腦及中樞神經能量供應主要來源，當血糖過低，便會發生頭昏、步態不穩等情況，亦會影響體力及耐力（Hargreaves, 1991）。因此運動前增加肝醣儲存或減低運動中肝醣消耗速率，可延緩中高強度運動中所引起的疲勞（李寧遠，2004）。

參、昇糖指數簡介

當人體攝取醣類之後，血糖就會上升，當攝取量愈多時，血糖上升的速度愈快，而促使胰臟 β -細胞分泌更多的胰島素。胰島素主要的功能是促使血液中過多的葡萄糖移至細胞中，這些過多的葡萄糖會以肝醣的形式儲存於人體的肝臟及肌肉。即使攝食等量醣類，代謝及吸收成爲血糖的速度並不完全相同，同時攝取等量的葡萄糖與果糖，葡萄糖會使人體血糖快速升高，果糖則上升較緩慢（Gropper, Smith, & Groff, 2005），因此加拿大營養學家 Jenkins 等（1981）首次提出昇糖指數理論，主要目的在於控制糖尿病患者的血糖，近幾年逐漸運用在肥胖患者的飲食與體重控制及運動選手的能量補充和運動表現方面。

昇糖指數的定義爲，攝食含 50 克醣類之試驗食物後，兩小時之內血糖升高之曲線下面積（area under the curve, AUC）對攝食含 50 克醣類之參考食物（如：純葡萄糖或白麵包，GI=100），之後所造成曲線下面積的比值（公式如下）：

$$GI = \frac{\text{食用含有 50 克的試驗食物引起血糖升高之曲線下面積}}{\text{食用含有 50 克的標準食物引起血糖升高之曲線下面積}} \times 100$$

根據攝取食物後血糖反應，將食物加以分類排序，分為高、中、低 GI 食物（表 1）。通常單一的食物能準確測出其 GI 值，而混合食物則難計算且較單一食物測出的值還低。

表 1 各類食物的昇糖指數

食物	高昇糖指數 (>70)		食物	中昇糖指數 (55~70)		食物	低昇糖指數 (<55)	
	GI (葡萄糖 =100)	GI (白麵包 =100)		GI (葡萄糖 =100)	GI (白麵包 =100)		GI (葡萄糖 =100)	GI (白麵包 =100)
葡萄糖	100	142	汽水	68	97	燕麥	49	70
運動飲料	95	136	快煮燕麥	66	94	蕃薯	48	68
糯米 (低直鏈澱粉)	88	126	馬芬蛋糕	62	88	義大利麵	41	59
蜂蜜	87	124	再來米 (高直鏈澱粉)	59	83	蘋果	39	56
全麥麵包	72	103	玉米	55	78	牛奶	34	49
白麵包	70	101	成熟香蕉	52	74	果糖	20	29

註：以葡萄糖為參考食物的 GI，要轉換成以白麵包為參考食物的 GI 時，必須乘上 1.42

資料來源：Foster-Powell, K., Holt, S. H., & Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal Clinical Nutrition*, 76, 5-56.

自從 1981 年 Jenkins 等發表 62 種不同 GI 值的食物後，國外對相關之各種食物進行測試，包括屬於較高 GI 值的馬鈴薯、麵包等傳統認為澱粉含量高者，包括低 GI 值的義式麵點、乳製品及蘋果與柑橘類水果等。然而一些含有單醣或雙醣類的食品，例如冰淇淋、蛋糕與巧克力製品等，其 GI 值並不高，因為含有脂質與果糖的關係，脂質會延長胃排空的時間，而果糖在腸道吸收的方式乃被動運輸，吸收較慢，因此血糖上升緩慢 (Gropper 等, 2005)。由此可見，食物的 GI 值除了食物醣類含量的多寡，受其天然組成、烹調方式及時間、加工方式、纖維素含量及是否添加其他成分（如：脂質）而有所影響 (Jenkins 等, 2002; Robertson, Henderson, Vist, & Rumsey, 2002)。

1997 年哈佛大學研究者提出醣類負荷 (glycemic load, GL)(Salmeron 等, 1997)，其計算方式是將該食物所含醣類總量乘上 GI 值，主要意義在於 GL 值是指食物含醣的量，而 GI 值則是食物含醣的質。若長期攝取高 GI、GL 值之飲食，可能會增加第二型糖尿病和心血管疾病的發生率 (Foster-Powell, Holt, & Brand-Miller, 2002)，然而本文僅著重於探討 GI 值與耐力運動表現之關係。

肆、昇糖指數對耐力運動表現之影響

一、運動前攝取不同 GI 值的食物對耐力運動表現的影響

Thomas, Brotherhood, 與 Brand (1991) 將昇糖指數理論應用到耐力運動員，其研究顯示，8 位自行車運動員在運動前 1 小時分別食用 1.0 公克/公斤體重的扁豆（低 GI）、馬鈴薯（高 GI）與葡萄糖（GI = 100）等 3 種不同 GI 值的食物及水（Control），接著以 65~70% $\dot{V}O_2$ max 的強度進行腳踏車運動至力竭（exhaustion），結果顯示，食用低 GI 食物者其血糖值及胰島素濃度均比高 GI 食物者穩定，且力竭時間延長了 20 分鐘，在運動過程中游離脂肪酸（free fatty acid, FFA）也維持較高濃度，因此 Thomas, Brotherhood, 與 Brand 認為運動前補充低 GI 食物能節省肝醣利用而有助於運動表現。DeMarco, Suher, Cisar, 與 Butterfield (1999) 也分別給予 10 名自行車運動員在運動前 30 分鐘食用一份低 GI 飲食（GI = 36）或中等 GI 飲食（GI = 69）（1.5 公克/公斤體重），進行 2 小時腳踏車固定負荷運動（強度 65~70% $\dot{V}O_2$ max）後，將強度調高至 100% $\dot{V}O_2$ max 直至力竭，結果顯示，在運動第 20 分鐘時，低 GI 組之血漿胰島素濃度較中 GI 組來的低，力竭時間延長了 59%，呼吸交換率亦較低，同時也發現低 GI 組運動員體內利用較多的脂肪做為運動時能量的來源而節省血糖利用。而 Wu, Nicholas, Williams, Took, 與 Hardy (2003) 則是以 9 名業餘長跑選手為受試者，在運動前 3 小時分別給予高 GI 餐（GI = 77.4）、低 GI 餐（GI = 36.9）及控制組（禁食），接著以 65% $\dot{V}O_2$ max 強度跑步 1 小時，結果發現，運動期間高 GI 組的血糖濃度及游離脂肪酸皆低於低 GI 組，顯示低 GI 組有較多的游離脂肪酸在運動時被利用達到節省肝醣的效果，有利於增進運動表現。Kirwan, Cyr-Campbell, Campbell, Scheiber, 與 Evans (2001) 給予 6 名健康受試者於運動前 45 分鐘分別食用不同 GI 值的早餐穀類，高 GI 組（puffed rice, GI = 82）、中 GI 組（rolled oats, GI = 61）及控制組（300 mL 水），接著以 60% $\dot{V}O_2$ peak 強度跑步至力竭，結果發現運動前 45 分鐘食用中 GI 組能顯著延長力竭時間。由上述研究顯示運動前食用中及低 GI 之食物，於運動中有節省肝醣的效果，因此有助於耐力運動表現。

然而，亦有研究顯示中低 GI 食物對運動表現無顯著影響，如 Wee 及 Febbraio 發現運動前食用低 GI 食物對於運動表現沒有改變，因為實驗設計的不同，例如：運動前進食的時間、醣類供給量等，而有不同實驗結果（Febbraio, Chiu, Angus, Arkinstall, & Hawley, 2000; Wee, Williams, Gray, & Horabin, 1999），不過上述的研究（DeMarco 等, 1999; Thomas 等, 1991; Wu 等, 2003）指出運動前攝取中、低 GI

的單一食物或複合式飲食能夠維持較穩定的血糖，並且利用較多的脂肪，可以節省肌肉肝醣的使用，而有利於耐力運動表現。

二、運動中補充不同 GI 值的食物對運動表現的影響

運動期間攝取碳水化合物的目的為迅速補充能量、維持血糖濃度及增加醣類氧化以提供能量 (Costill & Hargreaves, 1992)，進而維持耐力運動表現與延緩疲勞的發生 (Wright, Sherman, & Dernbach, 1991)。運動員可選擇中至高 GI 的飲食，包括運動飲料或營養條 (sport energy bar) (王香生、陳應軍，2004)。另有學者證明，熱環境運動中攝取 8% 碳水化合物與電解質濃度的運動飲料較為合適，可以改善運動表現 (Millard-Stafford, Sparling, Roszkopf, & Snow, 2005)。

三、運動後補充不同 GI 值的食物對肝醣儲存的影響

耐力運動結束後恢復期為肝醣合成最快速的時機，此時給予碳水化合物補充運動時消耗的肝醣，加速運動員恢復體力，故常應用在賽程緊湊的運動員身上 (Burke, Collier, & Hargreaves, 1993)。Keins, Raben, Valeu A-K, 與 Richter (1990) 在運動員運動後立即補充高 GI 或低 GI 的食物，結果顯示，在恢復期的第 6 小時，食用高 GI 食物的運動員體內胰島素濃度明顯上升，且較食用低 GI 食物組的運動員有較高的肝醣儲存。Burke, Collier, 與 Hargreaves (1993) 於 5 位自行車選手經由 2 小時強度 75% $\dot{V}O_2$ max，再以 4 次全力衝刺消耗肝醣後，給予補充高 GI 或低 GI 的食物 (補充量為 1.0 公克/公斤體重)，經由肌肉穿刺切片觀察運動後 24 小時內肌肝醣恢復的情形，發現攝取高 GI 食物者肝醣儲存量較低 GI 組高，上述研究說明運動後給予高 GI 的食物，藉著葡萄糖與胰島素的反應有利於肝醣快速儲存 (Stevenson, Williams, & Biscoe, 2005)。

伍、結語

運動期間的飲食對訓練或比賽結果有決定的影響，適當的營養補充可以提升訓練效率及比賽成績，不適當的飲食則會限制運動表現或引起腸胃不適，無法表現出應有的水準。GI 飲食之選擇會因個人及運動狀況而有所不同，所以在日常訓練中便要自我觀察及評估個人對食物的接受度與耐受度。運動前攝取低 GI 食物能否增進運動表現，日後仍需有更進一步的相關研究來證實。運動過程則選擇如運動飲料等中至高 GI 食物以維持運動員耐力及延緩疲勞發生。運動後則建議補充高 GI 值的食物，如柳橙汁等，可以快速補充耗盡的肝醣並恢復體力。

目前國內鮮少將昇糖指數理論實際運用於運動員方面，因各國飲食文化、食物種類及製程的不同，國外的數據未必適合應用於國內運動員，所以日後研究可朝向建立國人本土性食物的昇糖指數之資料庫發展，並應用於國內運動員於賽季期間或比賽當天的飲食調整。

引用文獻

- 王香生、陳應軍 (2004)：血糖指數及其在運動營養實踐中的應用。《中國運動醫學雜誌》，23 (3)，291-296。
- 李寧遠 (2004)。《運動營養學》。臺北市：華香園。
- Burke, L. M., Collier, G. R., & Hargreaves, M. (1993). Muscle glycogen storage after prolonged exercise: Effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *Journal of Applied Physiology*, 75, 1019-1023.
- Burke, L. M., Collier, G. R., & Hargreaves, M. (1998). Glycemic index-A new tool in sport nutrition? *International Journal of Sport Nutrition*, 8, 401-415.
- Costill, D. L., & Hargreaves, M. (1992). Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Medicine*, 13, 86-92.
- DeMarco, H. M., Sucher, K. P., Cisar, C. J., & Butterfield, G. E. (1999). Preexercise carbohydrate meals: Application of glycemic index. *Medicine Science and Sports Exercise*, 31, 164-170.
- Febbraio, M. A., Chiu, A., Angus, D. J., Arkinstall, M. J., & Hawley, J. A. (2000). Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2220-2226.
- Foster-Powell, K., Holt, S. H., & Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal Clinical Nutrition*, 76, 5-56.
- Gropper, S. S., Smith, J. L., & Groff, J. L. (2005). *Advanced nutrition and human metabolism* (4th ed.). pp.79-80. Belmont, CA: Thomson.
- Hargreaves, M. (1991). Carbohydrates and exercise. *Journal of Sports Sciences*, 9, 17-28.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., et al. (1981). Glycaemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *American Journal Clinical Nutrition*, 34, 362-366.

- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., et al. (2002). Glycemic index: Overview of implications in health and disease. *American Journal Clinical Nutrition*, 76, 266S-273S.
- Keins, B., Raben, A. B., Valeur, A-K., & Richter, E. A. (1990). Benefit of dietary simple carbohydrates on the early post exercise muscle glycogen repletion in male athletes. *Medicine Science and Sports Exercise*, 22, S88.
- Kirwan, J. P., Cyr-Campbell, D., Campbell, W. W., Scheiber, J., & Evans, W. J. (2001). Effects of moderate and high glycemic index meals on metabolism and exercise performance. *Metabolism*, 50(7), 849-855.
- Mathews, C. K., Van Holde, K. E., & Ahern, K. G. (2000). *Biochemistry* (3rd ed.). pp. 577. San Francisco, CA: Addison Wesley Longman.
- Millard-Stafford, M. L., Sparling, P. B., Roszkopf, L. B., & Snow, T. K. (2005) Should carbohydrate concentration of a sports drink be less than 8% during exercise in the heat? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 15(2), 117-130.
- Robertson, M. D., Henderson, R. A., Vist, G. E., & Rumsey, R. D. (2002). Extended effects of evening meal carbohydrate- to-fat ratio on fasting and postprandial substrate metabolism. *American Journal Clinical Nutrition*, 75(3), 505-510.
- Salmeron, J., MaSalmeron, J., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Wing, A. L., et al. (1997). Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulindependent diabetes mellitus in women. *The Journal of the American Medical Association*, 277(6), 472-477.
- Schabort, E. J., Bosch, A. N., Weltan, S. M., & Noakes, T. D. (1999). The effect of a preexercise meal on time to fatigue during prolonged cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(3), 464-471.
- Stannard, S. R., Thompson, M. W., & Brand-Miller, J. C. (2000). The effect of glycemic index on plasma glucose and lactate levels during incremental exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 10, 51-61.
- Stevenson, E., Williams, C., & Biscoe, H. (2005). The metabolic responses to high carbohydrate meals with different glycemic indices consumed during recovery from prolonged strenuous exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 15(3), 291-307.
- Thomas, D. E., Brotherhood, J. R., & Brand, J. C. (1991). Carbohydrate feeding

before exercise: effect of glycemic index. *International Journal of Sport Medicine*, 12, 180-186.

Wee, S. L., Williams, C., Gray, S., & Horabin, J. (1999). Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Medicine Science and Sports Exercise*, 31, 393-399.

Wright, D. A., Sherman, W. M., & Dernbach, A. R. (1991). Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1082-1088.

Wu, C. L., Nicholas, C., Williams, C., Took, A., & Hardy, L. (2003). The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during subsequent exercise. *British Journal of Nutrition*, 90, 1049-1056.