

# 運動營養學—— 運動營養補充建議

臺大醫院家庭醫學部 何忠祐 林嘉俊 蘇柏維 邱凱楠 江建勳

## 前言

根據國民健康署統計，國人的三高盛行率逐年攀升。生活型態調整(lifestyle modification)在美國心臟協會的高血壓照護指引、美國糖尿病協會的糖尿病照護指引等治療準則中，皆被列為首要的治療方法<sup>1,2</sup>。生活型態調整可分為飲食與運動兩個項目；飲食控制與運動習慣兩者皆有減重、降低心血管疾病風險、改善血壓、血脂、血糖等作用。運動時，人體會消耗能量與糖原(glycogen)；運動後也需要攝取營養，補充糖原、修復肌肉，透過適當的安排飲食的內容與進食的時間點，可以提高運動表現，達到更好的增肌減脂、健康促進的成效。本文整理人體必需的三大營養素功能、每日攝取建議，以及運動前中後的營養補充建議，為醫療人員在執行飲食與運動衛教時提供參考依據。

## 運動能量系統

人體的活動依靠三種主要的能量系統，包含：(1)三磷酸腺苷(ATP)－磷酸肌酸(phosphocreatine, PC)系統，使用儲存在肌肉

細胞內的三磷酸腺苷與磷酸肌酸產生能量，主要作用在產生爆發力與最大肌力時，約可維持6秒鐘的時間，此後可供應的能量急速下降，需要依靠其他能量系統；(2)無氧糖解與乳酸系統，肌肉中的糖原分解為葡萄糖，每個葡萄糖分子在沒有氧氣的狀況下快速分解，可產生兩個ATP分子，能夠快速因應高強度體能活動的能量需求，約可持續提供90秒至兩分鐘的能量；(3)有氧糖解系統，大部分提供有氧糖解的碳水化合物來自於肌肉糖原，一個葡萄糖分子能產生38個ATP分子。中強度運動達到15分鐘之後，有氧系統成為主要的能量來源。肌肉糖原在持續運動一小時後濃度下降，有氧糖解系統的能量來源開始仰賴血液輸送的葡萄糖以及脂肪糖質新生後產生的葡萄糖，這時開始產生所謂的燃脂作用。

## 每日能量需求

為個案或病患制定詳細飲食計畫時，首先需了解其每日能量需求，以此設定碳水化合物、蛋白質、脂肪的攝取量，並根據運動時間安排攝取量與攝取時間。估算每日能量需求(total daily energy expenditure, TDEE)的黃金準則為全室卡路里偵測儀(whole room calorimeter)，然而無法廣泛運用於臨床實務上。取而代之的，可藉由計算基礎代謝率(resting metabolic rate, RMR)乘以身體活動量參數(physical activity level, PAL)，估算出每日能量需求。估算基礎代謝率，可使用Mifflin-St Jeor (MJ)公式<sup>4</sup>。身體活動量參數目前通用的參考準則來自於Doubly-labelled water (DLW)

表一 運動能量系統<sup>3</sup>

| 運動類型          | 主要能量系統                |
|---------------|-----------------------|
| 少於6秒的爆發性運動    | ATP－PC系統              |
| 2分鐘內的高強度運動    | ATP－PC系統<br>無氧糖解與乳酸系統 |
| 2-15分鐘中高強度運動  | 無氧糖解與乳酸系統<br>有氧系統     |
| 15分鐘以上的中高強度運動 | 有氧系統                  |

表二 身體活動量參數

| 活動量             | 參數    |
|-----------------|-------|
| 活動量少或是久坐生活型態    | 1.2   |
| 輕度活動量（每周運動1-3天） | 1.375 |
| 中度活動量（每周運動3-5天） | 1.55  |
| 高度活動量（每周運動5-6天） | 1.725 |
| 非常高度活動量（每天運動）   | 1.9   |

研究，如表二所述<sup>5</sup>。

每日能量需求(TDEE)=基礎代謝率(RMR)  
×身體活動量參數(PAL)

估算基礎代謝率(RMR)的Mifflin-St Jeor (MJ) 公式：<sup>3</sup>

男性： $10 \times \text{體重（公斤）} + 6.25 \times \text{身高（公分）} - 5 \times \text{年齡（年）} + 5$

女性： $10 \times \text{體重（公斤）} + 6.25 \times \text{身高（公分）} - 5 \times \text{年齡（年）} - 161$

### 三大營養素與每日建議攝取量

人體所需的營養可區分為巨量營養素(macronutrient)與微量營養素(micronutrient)，巨量營養素又可細分為碳水化合物、蛋白質與脂肪等三大營養素，微量營養素則包含維生素與礦物質，這些營養素與人體的運作密不可分，本段落介紹三大營養素的功能、與運動的關聯性以及每日建議攝取量。

#### 碳水化合物

碳水化合物是大腦、中樞神經系統以及肌肉系統的重要能量來源，主要以糖原（肝醣）的形式儲存在肝臟與肌肉中，成年人肝臟約可儲存80克糖原（約320大卡），肌肉中最

表三 每日碳水化合物攝取量

| 活動程度            | 碳水化合物建議攝取量   |
|-----------------|--------------|
| 輕度訓練（低強度、基礎訓練）  | 每日3-5克/公斤體重  |
| 力量訓練運動員         | 每日4-7克/公斤體重  |
| 中等強度訓練（每天1小時）   | 每日5-7克/公斤體重  |
| 中高強度訓練（每天1-3小時） | 每日6-10克/公斤體重 |
| 高強度訓練（每天4小時以上）  | 每日8-12克/公斤體重 |

多可儲存500克糖原（約2000大卡）<sup>6</sup>。糖原每單位體積的氧氣下可提供更多的三磷酸腺苷(ATP)，為人體能量的首要來源。每一克的碳水化合物可提供四大卡的熱量。攝取碳水化合物後，血糖與胰島素水平升高，根據對血糖水平的影響，研究者提出了升糖指數的概念，以葡萄糖為基準(100)，將食物區分為高升糖指數(71~100)，中升糖指數(56~70)，低升糖指數(0~55)。國民健康署公布的107年每日飲食指南建議每人每日攝取的碳水化合物應占總熱量50至60%<sup>5</sup>。進行訓練時，每日碳水化合物攝取量因配合訓練量與訓練強度作出調整，當活動量越大，肌肉量越高，對碳水化合物的需求也越高，如表三所述<sup>7,8</sup>。

#### 蛋白質

蛋白質是生命的基礎。蛋白質的功能有構成人體各種組織、細胞生成，修復受傷與老化的組織，製造激素、抗體、酶，在醣與脂肪

的能量供給不足時，也可作為能量來源。運動後造成肌肉組織的損傷，攝取額外的蛋白質可用於修補並刺激肌肉生長。對於一般無運動習慣的民眾，國民健康署公布的107年每日飲食指南<sup>9</sup>建議每人每日攝取的蛋白質應占總熱量10至20%，美國營養與飲食學會(Academy of Nutrition and Dietetics)建議每日蛋白質攝取量為0.8克/公斤體重。對於阻力訓練、舉重、耐力運動員，美國運動醫學會(American College of Sports Medicine)建議每日蛋白質攝取量為1.4-1.8克/公斤體重<sup>10</sup>，國際運動營養協會(ISSN)建議高強度運動的運動員可攝取達1.7-2.2克/公斤體重的蛋白質（表四）<sup>8</sup>。若蛋白質攝取不足，可能會導致肌肉流失、運動表現下降等狀況。過去認為攝取過量蛋白質可能導致肝或腎臟損傷，大型研究如Nurses' Health Study指出，高蛋白質攝取在健康的人身上並未造成腎臟功能降低，但在輕度腎臟功能不佳的人身上則有顯著造成腎功能惡化的現象<sup>11</sup>。因此在腎臟功能不佳的族群，蛋白質的攝取量需要特別留意。

## 脂肪

脂肪是身體不可或缺的營養素，功能包含構成細胞膜、神經鞘膜，並合成內分泌激素，負責脂溶性維生素A、D、E、K的吸收等，同時也是身體主要的能量來源之一。國民健康署公布的107年每日飲食指南建議每人每日攝取的脂肪應占總熱量20至30%<sup>9</sup>。民眾不應攝取過多脂肪，然而攝取過少脂肪可能有脂溶性維生素攝取不足、運動能力下降、恢復不

表四 每日蛋白質建議攝取量

| 運動強度   | 蛋白質建議攝取量                       |
|--------|--------------------------------|
| 無運動習慣  | 每日總熱量10至20% 或<br>每日攝取0.8克/公斤體重 |
| 中等強度運動 | 每日攝取1.4-1.8克/公斤體重              |
| 高強度運動  | 每日攝取1.7-2.2克/公斤體重              |

佳、疲勞等不良反應。食用的脂肪類型比攝取量更為重要，脂肪可分為飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸、多元不飽和脂肪酸與反式脂肪。單元不飽和脂肪酸，對健康有益，可降低血中低密度脂蛋白膽固醇，富含單元不飽和脂肪酸的來源如橄欖油、菜籽油、堅果、酪梨等。多元不飽和脂肪酸中有一類脂肪酸是人類無法自己合成的，又稱為必需脂肪酸，主要的分類為Omega-6與Omega-3脂肪酸，我們需更重視Omega-3脂肪酸的攝取，現代飲食中，Omega-6的比例遠高於Omega-3，研究指出，降低Omega-6：Omega 3 比例至4：1可大幅降低心血管疾病的死亡率<sup>12</sup>。此外，研究指出Omega-3脂肪酸可透過骨骼肌中的抗氧化系統促進運動修復，改善運動表現<sup>13</sup>，富含Omega-3脂肪酸的來源例如青皮魚、鮭魚、魚油、亞麻籽油、南瓜籽、核桃等。目前針對飽和脂肪酸與血中膽固醇的研究尚未獲得定論。反式脂肪會顯著增加血中低密度脂蛋白膽固醇濃度並降低高密度脂蛋白膽固醇濃度，同時顯著增加心血管疾病的死亡率，應避免攝取，常見的反式脂肪來源為人造奶油、零食、油炸食物等。

表五 運動前的營養素補充建議

| 營養素            | 攝取時機與攝取量                                              |
|----------------|-------------------------------------------------------|
| 低升糖指數<br>碳水化合物 | 攝取時機：運動前2-4小時<br>攝取量：<br>一般人：1克/公斤體重<br>運動員：2-4克/公斤體重 |
| 蛋白質            | 攝取時機：運動前3-4小時<br>攝取量：0.15-0.25克/公斤體重                  |

## 運動前中後的營養補充建議

運動營養透過安排營養素的攝取量與攝取時機，達到增加運動表現、促進修復以及肌肉生長等成效。運動時，會消耗肝臟與肌肉中的糖原，糖原衰竭會降低運動表現，因此碳水化合物的攝取非常重要。運動過程中，會造成肌纖維的損傷與破壞，攝取蛋白質能夠幫助修復，攝取足量更能夠促進肌肉合成，同樣需要重視。

## 運動前的營養補充建議

運動前2-4小時補充碳水化合物與空腹訓練相比，能獲得更佳的運動表現。研究指出，耐力運動前碳水化合物的建議攝取量，一般人為1克/公斤體重，運動員可攝取達2-4克/公斤體重（表五）<sup>14,15</sup>。低升糖指數(glycemic index)的碳水化合物在增加肝臟與肌肉的糖原儲存量的同時，不會過度增加血糖與胰島素濃度，為運動過程提供持續的能量，可提高運動耐力與表現<sup>16</sup>。研究也建議，在運動前攝取高品質的蛋白質，如雞蛋、乳清蛋白、雞胸肉、魚肉、瘦牛肉、大豆蛋白等，攝取量為0.15-0.25克/公斤體重，可以幫助達到肌肉合成最佳化的目的<sup>17</sup>。

表六 運動中的碳水化合物補充建議

| 運動時間                | 補充量        |
|---------------------|------------|
| 短時間運動<br>（小於45分鐘）   | 不需補充       |
| 中等時間運動<br>（45-75分鐘） | 少量漱口       |
| 長時間運動<br>（1-2.5小時）  | 30-60克/小時  |
| 超長時間運動<br>（大於2.5小時） | 可攝取達90克/小時 |

小提醒：運動前 30 分鐘內不宜飲用糖分太高的飲料，以免因胰島素的分泌而降低血糖的濃度，也就降低了運動時的能量來源，反而使肌肉易疲勞。

## 運動中的營養補充建議

運動中，由於糖原消耗，需根據運動時間的不同進行不同程度的碳水化合物補充，補充來原建議為含葡萄糖、果糖、蔗糖的高升糖指數碳水化合物溶液，補充建議如表六<sup>8</sup>。研究也指出運動中補充必需胺基酸(essential amino acid)可減少肌肉損傷、促進肌肉合成，進而提升阻力運動的表現。至於運動中是否需補充蛋白質，目前並沒有大規模研究提供支持性證據<sup>8</sup>。

## 運動後的營養補充建議

運動後身體的糖原耗竭，需要立即補充，研究指出運動後最初的2小時補給速度最快<sup>18</sup>。建議在運動後2-4小時內補充高升糖指數的碳水化合物，刺激胰島素釋放，促進肌肉細胞吸收葡萄糖以及促進糖原合成<sup>19</sup>。研究指出，碳

表七 運動後的營養補充建議

| 營養素            | 攝取時機與攝取量                                 |
|----------------|------------------------------------------|
| 高升糖指數<br>碳水化合物 | 攝取時機：運動後2-4小時內<br>攝取量：1.2-1.6克/公斤體重      |
| 蛋白質            | 攝取時機：運動後30分鐘至4<br>小時內<br>攝取量：0.2-0.5公斤體重 |

水化合物攝取量達1.2-1.6克/公斤體重時，可最大化糖原補充的效果與運動表現的恢復（表七）<sup>20</sup>。

運動後肌肉纖維被破壞，需要攝取高品質蛋白質促進肌肉修復，高品質蛋白質指的是含有必需胺基酸(essential amino acid)，以及高生物利用率的蛋白質，例如雞蛋、雞胸肉、乳清蛋白、魚肉、瘦牛肉、大豆蛋白等。蛋白質由胺基酸構成，其中白胺酸是蛋白質合成的重要觸發劑。牛奶為基底的蛋白（乳清蛋白、酪蛋白）中的白胺酸(leucine)含量較高，研究指出，乳清蛋白促進肌肉合成的效率要高過於大豆蛋白<sup>21</sup>。國際運動營養協會(ISSN)建議運動後30分鐘至4小時內，以碳水化合物：蛋白質=3：1的比例攝取0.2-0.5公斤體重的蛋白質，同時蛋白質中必須包含700-3000毫克的白胺酸，在耐力訓練的人身上可達到糖原補充與增加運動表現，在阻力訓練的人身上可增加力量表現與改善身體組成<sup>8</sup>。

### 結語

根據運動時間與強度，適當的安排營養攝取量與攝取時間，可以使運動表現最大化，進

而達到更好的健康促進效果以及降低心血管疾病風險。本文提供一般建議，然而在參考時必須針對個案作詳盡的個別評估，考量每個人對營養素的感受度，並注意是否有共病會影響營養素的建議攝取量，例如糖尿病患者可能需控制碳水化合物攝取，高膽固醇患者需慎選脂肪種類，腎病患者在蛋白質攝取需謹慎等情形。同時也必須確保個案運動時間與強度足夠，讓攝取的營養能更有效地被運用。

### 參考文獻

1. Unger T, Borghi C, Charchar F, et al: 2020 International Society of Hypertension global hypertension practice guidelines. Hypertension 2020; 75(6): 1334–57.
2. American Diabetes Association: 5. Facilitating behavior change and well-being to improve health outcomes: standards of medical care in diabetes—2021. Diabetes Care 2021; 44(Supplement 1): S53-72.
3. Gastin PB: Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Med 2001; 31(10): 725-41.
4. Canello R, Soranna D, Brunani A, et al: Analysis of predictive equations for estimating resting energy expenditure in a large cohort of morbidly obese patients. Front Endocrinol (Lausanne) 2018; 9: 367.
5. Speakman JR: Doubly labelled water: theory and practice. 1st ed, 1997. Chapman & Hall; London, UK.
6. Murray B, Rosenbloom C: Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes.

- Nutr Rev 2018; 76(4): 243-59.
7. Burke LM, Hawley JA, Wong HS, et al: Carbohydrates for training and competition. J Sports Sci 2011; 29 Suppl 1: S17-27.
  8. Potgieter S: Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. South Afr J Clin Nutr 2013; 26(1): 6-16.
  9. 衛生福利部國民健康署：每日飲食指南手冊，107年版。
  10. Kerksick CM, Wilborn CD, RobertsMD, et al: ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr 2018; 15(1): 38.
  11. Knight EL, Stampfer MJ, Hankinson SE, et al: The impact of protein intake on renal function decline in women with normal renal function or mild renal insufficiency. Ann Intern Med 2003; 138(6): 460-7.
  12. Simopoulos AP: The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. Biomed Pharmacother 2002; 56(8): 365-79.
  13. da Silva Jr EP, Nachbar RT, Levada-Pires AC, et al: Omega-3 fatty acids differentially modulate enzymatic anti-oxidant systems in skeletal muscle cells. Cell Stress Chaperones 2016; 21(1): 87-95.
  14. Thomas DE, Brotherhood JR, Brand JC, et al: Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. Int J Sports Med 1991; 12(2): 180-6.
  15. Hargreaves M: Pre-exercise nutritional strategies: effects on metabolism and performance. Can J Appl Physiol 2001; 26 Suppl: S64-70.
  16. Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA: Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. Nutrients 2014; 6(5): 1782-808.
  17. Aragon AA, Schoenfeld BJ: Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? J Int Soc Sports Nutr 2013; 10(1): 5.
  18. Ivy JL: Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. Int J Sports Med 1998; 19 Suppl 2: S142-5.
  19. Stark M, Lukaszuk J, Prawitz A, et al: Protein timing and its effects on muscular hypertrophy and strength in individuals engaged in weight-training. J Int Soc Sports Nutr 2012; 9(1): 54.
  20. Alghannam AF, Gonzalez JT, Betts JA, et al: Restoration of muscle glycogen and functional capacity: role of post-exercise carbohydrate and protein co-ingestion. Nutrients 2018; 10(2): 253.
  21. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Macdonald MJ, et al: Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. Am J Clin Nutr 2007; 85(4): 1031-40. 🇹🇼