

從女性運動員三聯症到運動中的相對能量不足

From Female Athlete Triad to Relative Energy Deficit in Sport(RED-S)

張瑞泰¹ / 鄭漢吾¹ / 林琮智²
高雄師範大學¹ / 屏東大學²

摘要

前言：長期以來使用體重流失來達到減重的目的，普遍流行於競技運動的體重分級，和以體型、身材和外表為考量因素的比賽項目，以爭取身材的優勢，提升獲得勝利的機率，然而如果使用不當，不僅有可能造成得不償失的不利情況，並且對健康也有相當嚴重的影響。針對此議題，國際奧林匹克委員會(International Olympic Committee, IOC)於2005年發表了，女性運動員三聯症(Female Athlete Triad, Triad)的一致性聲明(IOC consensus statement)，美國運動醫學會(American College of Sports Medicine, ACSM)於2007年也發表了對Triad的定義，但只針對女性運動員。自2007年以來，因運動科學研究的快速發展，研究證據和臨床經驗的累積發現，減重所影響的症狀比先前的發現更為廣泛，甚至男性運動員也一樣會受影響，因此促使IOC於2014年，發表了運動中的相對能量不足(relative energy deficiency in sports, RED-S)，以取代2005年所發佈的女性運動員三聯症的聲明，並且對運動中的相對能量不足下了明確的定義。方法：本文針對2014年IOC對RED-S的聲明理由，以文獻探討和分析方法對運動員的健康與運動成績之影響作探討。結論與建議：提出RED-S對運動員的健康與運動成績之影響，並對國人相關的運動項目提出實際應用和未來研究方向的建議，以期能照顧相關運動項目選手的健康和提升運動競賽成績。

關鍵詞：運動中的相對能量不足、成績表現、減重

通訊作者：林琮智

E-mail: mail068@mail.nptu.edu.tw

壹、前言

長期以來使用體重流失進行減重的方式，普遍流行於競技運動的體重分級比賽項目例如，柔道、跆拳道、舉重、摔角、拳擊等，另外以體型、身材和外表為考量因素的比賽項目例如，體操、韻律體操、芭蕾舞等，還有像長跑選手和賽馬的騎師等選手，也會使用減重的方式來達到降低體重的目的。這些選手和教練認為，以比較輕的量級來參加比賽獲勝的機會較大，因為體重較輕的選手她/他們的肌力、爆發力等重要因素，都因為體重較輕而較小；或者是為了讓自己有比較好的身材，例如體操、韻律體操或芭蕾舞者等，以爭取比較高的分數，或者以較輕的體重跑長距離和騎馬，成績會比較好等等，這些例子都是讓運動選手選擇降低體重，來獲取較大的優勢、爭取最佳成績的原因。為了達到她/他們想要的身材和體重等級來參加比賽，運動員通常以增加身體活動量和/或減少能量攝取的方式，來降低體重。但是較低能量攝取加上運動訓練的能量消耗，達到一定水準時，所剩下的能量就不足以維持身體的健康，甚至影響訓練的效果和比賽成績，而引起「低能量可用性(low energy availability, LEA)」，LEA 是指：總能量攝取扣除運動訓練後，所剩下的能量不足以維持身體健康、功能、和其他日常活動所需，當 LEA 達到某種程度時，將使月經失調甚至閉經，降低荷爾蒙濃度而進一步導致骨質疏鬆症(Temme, & Hoch, 2013)。

針對上述的問題，國際奧林匹克委員會於 2005 年發表了，女性運動員三聯症的一致性聲明(IOC consensus statement)。當時對 Triad 的定義為：包含飲食不正常，不規則的月經週期(或閉經)，進而導致降低雌激素(estrogen)和其他荷爾蒙而引起骨質疏鬆症，因此，將飲食不正常、不規則的月經週期和骨質疏鬆症等三個症狀，命名為女性運動員三聯症(IOC Consensus Statement on the Female Athlete Triad, 2005)。美國運動醫學會(American College of Sports Medicine, ACSM)於 2007 年也發表了對 Triad 的定義：「足夠的能量可用性、月經功能正常和健康的骨骼等三種正常狀態，經過時間慢慢的移到低能量可用性、月經功能異常(或停經)和骨質疏鬆症(Native et al., 2007)。」

近年來有關這方面的研究和臨床經驗累積發現，LEA 不但是導致其他兩個症狀的原因，也影響了其他生理功能，包括：代謝率、月經功能、骨骼健康、免疫、蛋白質合成、心血管功能和心理健康；而且這些狀況除了月經以外，都會出現於男性(Guillaume, Chppard, & Aurdan, 2012; Hackney, Sinning, & Bruot, 1988)；另外，盛行率的研究發現，大部份的運動選手只會出現 3 個症狀中的 1-2 個，也就是很少三聯症的症狀一起同時出現。所以 Triad 不僅是不正確的描述，不能涵蓋所引起的症狀，也不包含男性在內，因此需要更準確地來描述這種症狀。於是也促使 IOC 召集了相關學科的會議，根據各學科專家整合的意見，於 2014 訂定了

更能代表這些症狀的名詞「運動中的相對能量不足(Relative Energy Deficiency in sport; RED-S)」，以取代之前的 Triad，並且對其下了明確的定義：RED-S 的症狀是指，代謝率、月經功能、骨骼健康、蛋白質合成和心血管健康等生理功能的損傷。這些症狀是由相對能量缺乏所引起，而且影響層面可能比上述生理功能還要廣(Mountjoy et al, 2014)。

由於國人和本議題相關的運動項目很廣泛，選手數目不少，因此本文的主要目的為針對此議題作介紹，依序討論其對健康和成績的影響，復提出未來的研究方向和建議，以期能維護選手的健康及提升競賽成績。這些相關項目的選手、教練、家長、運動醫療照護、運科人員和行政管理單位等都應注意此項議題，畢竟如何將運動科學的新知應用於運動訓練上，以促進選手的健康和提升競賽成績是推廣運動競賽的重要核心價值之一，因此值得大家的共同關心。

貳、運動中的相對能量不足對健康的影響

本次 IOC 對此聲明的看法明確指出，長期的 RED-S 對人體健康的影響包括：生長和發展受限制、免疫力降低、腸胃系統、代謝、心理疾病、心血管疾病、骨密度降低、內分泌和閉經或月經週期異常(Mountjoy et al, 2014)。由此聲明可以明顯看出這和原本的女性運動員三聯症的三項症狀相比較，RED-S 對健康具有更廣泛的負面影響，並且除了月經週期外也同樣影響了男性運動員的健康。以下就上述部份提出文獻分析與討論。

運動員長期處於 LEA 情況下，可能導致營養不良(包括貧血)、慢性疲勞、增加細菌感染和生病的機率，另外，對中樞神經、腎臟、心血管、胃腸、內分泌、生殖和骨骼等系統都會有不良的影響(Native et al., 2007)。RED-S 也會引起心理壓力、沮喪和飲食不正常(Stice, South, & Shaw, 2012)；月經不規則或沒有月經對情緒的衝擊很大，因為會產生焦慮(Nappi & Fachinetti, 2003)，也會對自我感覺混淆和不預期的懷孕(Baxterjones, Faulkner, Forwood, Mirwald, & Baily, 2011; Nappi & Fachinetti, 2003)等現象的出現。

在能量可用性降低到 30Kcal/kg FFM/day (每天每公斤非脂肪重有 30Kcal 的能量可用，也就是扣除運動訓練後所剩下的能量)的狀況下，人體肌肉蛋白質的合成就會降低(Areta et al, 2013)，很明顯的可以看出，這項結果一定會影響運動員的生長和發育，因為他/她們的肌肉沒有完全發展，生長和發展受限制，未來的潛力發展可能受到影響，無法達到他/她們的最佳成績(顛峰狀態)；另外也使肌肉無法完全修補訓練或比賽後的損傷。

運動員長期處於 RED-S 的 LEA 情況下，不僅對血脂肪有不良的影響，而且內皮細胞的功能也會下降，因此增加心血管疾病的機會(Rickenlund, Eriksson,

Schenck-Gustafsson, & Hirschberg, 2005); 荷爾蒙和代謝的異常也會因為 RED-S 而引起，因為醣類攝取不足而導致降低身體葡萄糖的使用，而動用較多的脂肪，降低代謝率和生長激素的製造(Loucks & Thuma, 2003)，降低生長激素的製造也會影響尚未完全發展的年輕運動員，而使身高和體重的發展受到限制，進而影響了年輕選手的未來發展潛能。我們可能會認為降低葡萄糖的使用，增加脂肪的使用是有利的，然而身體的總脂肪量太低也會影響身體的健康。

運動中的相對能量不足對骨骼的健康也有不良的影響，雌激素增加鈣離子的吸收並且將其堆積在骨骼中，而黃體素(progesterone) 的功能為促進雌激素的作用 (SeifertKluss, Schmidmayr, Hobmaier, & Wimmer, 2012)，因此這兩種荷爾蒙都會增加骨質密度，LEA 降低上述兩種內分泌的濃度，在輕微的排卵異常(甚至在尚未出現臨床症狀時)，如果同時伴隨 LEA 的情況下，就會對骨骼造成負面影響(Li, Hitchcock, Barr, Yu, & Prior, 2014)。睪固酮對男、女性的骨骼有同化作用(anabolic effects)，它可以刺激成骨細胞(osteoblast)，增加鈣的吸收和骨骼合成(Abu, Horner, Kusec, Trifitt, & Composton, 1997)，低睪固酮和男性運動員的低密度有相關性 (Hind, Truscott, & Evans, 2006)。壓力荷爾蒙，兒茶酚胺 (catecholamines)和可體松(cortisol)，通常隨著運動訓練和心理壓力而增加分泌，如果同時伴隨 LEA 的情況，對骨密度也會出現負面影響(Fuqua & Rogol, 2013)。長期停經的女性運動員，由運動而產生骨骼合成效應(osteogenic effect) 將會降低(Ackerman et al, 2012)。另外研究報告指出 LEA 已經被確認是一個獨立的因素，來判定不好的骨骼健康指標，因為它會降低骨骼合成記號值，和降低胰島素生長因子的第 1 型(Insulin growth factor-I, IgF-1) (Lambbrinouadaki & Papadimitriou, 2010)。也有證據顯示，運動員骨質流失是不可逆的(Keen, 1997)，也就是說儘管荷爾蒙恢復正常濃度後也不能把所流失的骨密度補回來。

低能量可用性會增加男、女性壓力性骨折(stress fracture)的危險性(McCabe, Smyth, & Richardson, 2012)，壓力性骨折的其他的危險因子，還包括月經失調(Nattiv, 2000)、骨骼不健康 (Schnackenburg, Macdonald, Ferber, Wiley, Boyd, Chu, & Hannafin, 2011)、低 BMI (Tenforde, Sayres, Mccurdy, Sainani, & Fredericson, 2013)和飲食異常的心理病理症狀(psychopathology) (Marx, SaintPhard, Callahan, Chu, & Hannafin, 2001)。由前述文獻所見，長期的 RED-S 對人體健康的影響的確相當廣泛，已超越昔日認為對 Triad 的認識，而且也同樣影響了男性運動員。

參、RED- S 對運動成績的影響

根據 IOC 所提出的 RED-S 對運動成績的影響包括：肌力、耐力表現、肝醣儲

存、協調性、判斷力、專注力和訓練後的反應等能力的下降，受傷的危險性上升、沮喪、易怒等(Mountjoy et al, 2014)。顯而易見的可以看出 RED-S 對運動成績的影響相當廣泛，以下分別就上述各項影響因素作討論。

運動中的相對能量不足對於心理層面的影響包括了沮喪、易怒、專注度和判斷力受影響，可以看出運動訓練或比賽時如果專注力再加上判斷力的受影響，訓練效果一定要打折扣而影響訓練效果；而沮喪對於選手參與訓練的動機和積極性也有不良影響，易怒則可能出現和隊友甚至教練之間的不和諧的狀況。這些心理因素的其中一項如果發生於運動員就會有不良影響，更不用談大於一項的情況出現，也就自然的降低訓練後的反應(也就是訓練效果不佳)，和比賽成績不理想(Vanheest, Rodgers, Mahoney, & De Souza, 2014)。

運動中的相對能量不足對於生理層面的影響包括肌力、肝醣儲存量、耐力表現和協調性等能力的下降。肌力的下降幾乎直接影響了所有選手的訓練效果和比賽成績，因為肌力下降將使爆發力也隨之下降，速度也會受到拖累，眾所皆知的是肌力、爆發力和速度的優劣和比賽的成績息息相關。因此使用降低體重的策略不一定有利，當失去的肌力、爆發力、速度和敏捷性超過所獲得的優勢時，就會造成不利於競賽成績表現的影響。另外，運動的訓練品質也會受到影響，因為人體接受訓練後的生理效果，例如，使肌力、爆發力、敏捷性和速度進步的肌肉肥大將受到不利影響。因此使用降低體重的策略不一定有利，當失去的肌力、爆發力、速度和敏捷性超過所獲得的優勢時，就會造成不利於競賽成績表現的影響，對於還在成長階段的運動員影響更大，因為他/她們的肌肉沒有完全發展，生長和發展受限制，未來的潛力發展可能受到影響，無法達到他/她們的最佳成績(顛峰狀態)。

而協調性的下降也一樣對所有的選手產生負面的作用，例如協調性的好壞就可能是決定成功或失敗的抓舉的因素。在 LEA 的情況下，能量攝取不足造成肌肉、肝臟的肝醣(glycogen)補充不足，這將使選手的訓練強度和總訓練量打折，進而影響訓練的品質，比賽的成績表現當然也就受到拖累；肝醣的儲存量減少對於總訓練量也會跟著下降，因此訓練效果也可能受到影響；這更直接影響了長距離選手。另外，低能量可用性對身體功能的傷害包括：比較容易受病毒感染(Hagmar, Hirschberg, Berglund, & Berglund, 2008)、受傷機會高(TheinNissenbaum, Rauh, Carr, Loud, & McGuine, 2011)，這當然是運動選手最怕遇到的情況。

經常使用極端的方式來控制體重的選手(例如：跆拳道、舉重、舞蹈等項目)，會有飲食不正常的情況，並且使用禁食、嘔吐、利尿劑、瀉藥和運動等方式來控制體重，以參加某一量級的比賽選手，則可能會有下列情形出現：身體缺水、電解質不平衡、胃腸的不適等問題。上述的情形會降低血漿量和總血液量，在這種生

理情況接受運動訓練或比賽將使心跳率、身體核心體溫升高(Gisolfi & Copping, 1974)、降低排汗率(Sawka, Young, Cadarette, Levine, and Pandolf 1985)、心輸出量(cardiac output)、每跳輸出量(stroke volume)(Nadel, Fortney, & Wenger, 1980)和手前臂血流量(forearm blood flow)(Nadel, Fortney, & Wenger, 1980)。這些生理測量值的變化都不利於運動成績的表現。例如，在相同的情況下運動(例如溫度、濕度)訓練或比賽，心跳率和核心體溫愈高表示這位選手是在比較累的情況下進行訓練或比賽，當然訓練效果不彰或運動成績的表現一定受到影響。心輸出量的下降，將使手前臂血流量和排汗率也跟著降低，因為影響了身體的散熱能力，因此核心體溫和心跳率就會上升。手前臂血流量是代表血液分配到皮膚做排汗和對流以降低體溫的指標，因此當手前臂血流量降低時，也意味著排汗率下降和身體溫度將上升，運動員就覺得比較累。以上的討論可以看出影響是相當廣泛的，教練和選手們應予以重視。

由這些影響因素來看可說是範圍相當廣，也不難看出對選手的訓練品質和效果的負面影響，因此，運動選手和教練可以了解 RED-S 對運動表現的不利影響。從上述的討論可以得知：一味的降低體重想要在體重分級項目中獲得好處的教練和選手們，應該仔細評估其中的利弊得失，有可能不僅選手的最佳成績無法達到巔峰而且有害健康。

肆、實際應用和未來研究的方向

目前國人的相關運動項目，例如拳擊、柔道、跆拳道、體操、韻律體操、長跑、舉重、賽馬的騎師、舞蹈等和等都有可能 RED-S 的情形發生，但是有關這些相關的研究國內仍然相當少見，相關項目的 RED-S 盛行調查研究仍然有待進行，而且對這些相關項目選手的篩選也仍然尚未進行，就更不用說對這些選手的醫療照顧團隊了；醫療人員、運動生理學者、選手和教練的教育以及中央和地方的體育主管機關都有必要針對這個議題加以重視，從教育、篩選、診斷、治療、追蹤和回到比賽等所有相關的機制都有待積極的設置與實際執行，畢竟相關項目的項目和人數不少，而且保護選手的健康和提升競賽的水準是相當重要的課題。

伍、結語

由於運動科學的證據不斷地累積，IOC 於 2014 年發表了運動的相對能量不足以更新 2005 年發佈的女性運動員三聯症，主要的理由為 Triad 不但不正確的描述這三個症狀，而且它所影響的層面很廣泛，男性運動員也不包括在內。RED-S 的症狀是指下列生理功能的損傷：代謝率、月經功能、骨骼健康、蛋白質合成、心血管健康；這些症狀是由低能量可用性所引起，而且影響層面可能比上述生理功能

還要廣。RED-S 對健康和運動成績的影響相當廣泛值得大家重視，國內相關項目的選手也相當多，因此基於保護運動員的身體健康和提升競賽成績的觀點來看，對於醫療人員、運動生理學者、選手和教練的教育以及中央和地方的體育主管機關都有必要針對這個議題加以重視，從教育、篩選、診斷、治療、追蹤和回到比賽等所有相關的機制都有待積極的設置與實際執行。

參考文獻

- Abu, E. O., Horner, A., Kusec, V., Triffit, J. T., & Composton, J. E. (1997). The localization of androgen receptors in human bone. *Journal of clinical Endocrinology Metabolism*, 82:3493-3497.
- Ackerman, K. E., Putman, M., Guereca, G., Taylor, A. P., Pierce, L., Herzog, D. B., Misra, M. (2012). Cortisol microstructure and estimated bone strength in young amenorrheic athletes, eumenorrheic athletes and nonathletes. *Bone*, 51:680-7.
- Areta, J. L., Burke, L. M., Ross, M. L., Camera, D. M., West D. W., Coffey, V. G. (2013). Timing and disruption of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *Journal of Physiology*, 591(Pt 9):2319-2331.
- Baxterjones, A. D., Faulkner, R. A., Forwood, M. R., Mirwald, R. L., & Baily, D. A. (2011). Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: an estimation of peak bone mass. *Journal of Bone Mineral Research*, 26:1729-1739.
- Fuqua, J. S., & Rogol, A. D. (2013). Neuroendocrine alterations in the exercising human: implications for energy homeostasis. *Metabolism*, 62:911-921.
- Gisolfi, C. V., and Copping, J. R. (1974). Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports*, 6, 108-113.
- Guillaume, G., Chppard, D., & Aurdan, M. (2012). Evaluation of the bone status in high level cyclists. *Journal of Clinical Densitometry*, 15:103-107. Doi:10.1016/j.jocd.2011.08.001
- Hackney, A. C., Sinning, W. E., & Bruot, B. C. (1988). Reproductive hormonal profiles of endurance-trained and untrained males. *Medicine & Science in Sports and Science*, 20(1):60-65.
- Hagmar, M., Hirschberg, A. L., Berglund, L., & Berglund, B. (2008). Special attention to the weight control strategies employed by Olympic athletes striving for

- leanness is required. *Clinical Journal of Sports medicine*, 18:5-9.
- Hind, K., Truscott, J. G., & Evans, J. A. (2006). Low lumbar spine bone mineral density in both male and female endurance runners. *Bone*, 39:880-885.
- Keen, A. D., & Drinkwater, B. L. (1997). Irreversible bone loss in former amenorrheic athletes. *Osteoporosis International*, 7:311-315.
- IOC Consensus statement on the female athlete triad. (2005). Lambrinooudaki, L., & Papadimitriou, D. (2010). *Pathophysiology Science in Sports & Exercise*, 28:180-189. Doi:10.1097/00005768-199602000
http://www.olympic.org/Documents/Reports/EN/en_report_917.pdf.
- Lambrinooudaki, L., & Papadimitriou, D. (2010). *Pathophysiology Science in Sports & Exercise*, 28:180-189. Doi:10.1097/00005768-199602000 .
- Li, D., Hitchcock, C. L., Barr, S. I., Yu, T., & Prior, J. C. (2014). Negative spinal bone mineral density changes and subclinical ovulatory disturbances-prospective data in healthy premenopausal women with regular menstrual cycles. *Epidemiologic Reviews*, 36: 137-147.
- Loucks, A. B., & Thuma, J. R. (2003). Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*, 26: 297-311.
- Marx, R. G., SaintPhard, D., Callahan, L. R., Chu, J & Hannafin J. A. (2001). Stress fracture related to underlying bone health in athletic females. *Clinical Journal of Sports Medicine*. 11:73-76.
- McCabe, M. P., Smyth, M. P., & Richardson, D. R. (2012). Current concept review: Vitamin D and stress fractures. *Foot & Ankle International*, 33:526-533.
- Mountjoy, M., SundgotBorgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Leeb, C., Meyer, N., . . . Ljungqvist, A. (2014). The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine*, 48(1):491-497.
- Nadel, E. R., Fortney, S. M., and Wenger, C. B. (1980). Effect of hydration on circulatory and thermal regulation. *Journal of Applied Physiology*, 49:715-721.
- Nappi, R. E., & Facchinetti, F. (2003). Psychoneuroendocrine correlates of secondary amenorrhea. *Archives of Women's Mental Health*, 6:83-89.
- Nattiv, A. (2000). Stress fractures and bone health in track and field athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3:268-279.
- Nattiv, A., Loucks, A. B., Manore, M.M., Sanborn, C. F., Sungot-Borgen, J., & Warren, M.P. (2007). American College of Sports medicine position stand. The female

- athlete triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39:1867-1882.
- Rickenlund, A., Eriksson, Mj., Schenck-Gustafsson, K., & Hirschberg, A. L. (2005). Amenorrhea in female athletes is associated with endothelial dysfunction and unfavorable lipid profile. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*, 90:1354-1359.
- Sawka, M. N., Young, A. J., Cadaratte, B. S., Levine, L., & Pandolf, K. B. (1985). Influence of heat stress and acclimation on maximal aerobic power. *European Journal of Applied Physiology*, 53:294-298.
- Schnackenburg, K. E., Macdonal, H. M., Ferber, R., Wiley, J. P., Boyd, S. K., Chu, J., & Hannafin, J. A. (2011). Bone quality and muscle strength in female athletes with lower limb stress fractures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43:2110-2119.
- Seifert-Klauss, V., Schmidmayr, M., Hobmaier, E., & Wimmer, T. (2012). Progesterone and bone: a closer link than previously realized. *Climacteric*, 15(suppl 1):26-31.
- Stice, E., South, K., & Shaw, H. (2012). Future directions in etiologic, prevention, and treatment research for eating disorders. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 41:845-855.
- Temme, K. E., & Hoch, A. Z. (2013). Recognition and rehabilitation of female athlete triad/tetrad: a multidisciplinary approach. *Current Sports Medicine Reports*, 12(3):190-199.
- Tenforde, A. S., Sayres, L. C., Mccurdy, M. L., Sainani, K. L., & Fredericson, M. (2013). Identifying sex-specific risk factors for stress fractures in adolescent runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45:1843-1851.
- Thein-Nissenbaum, J. M., Rauh, M. J., Carr, K. E., Loud, K. J., & McGuine, T. A. (2011). Associations between disordered eating, menstrual dysfunction, and musculoskeletal injury among high school athletes. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*, 41:60-69.
- Vanheest, J. L., Rodgers, C. D., Mahoney, C. E., & De Souza, M. J. (2014). Ovarian suppression impairs sports performance in junior elite female swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46:156-166.

