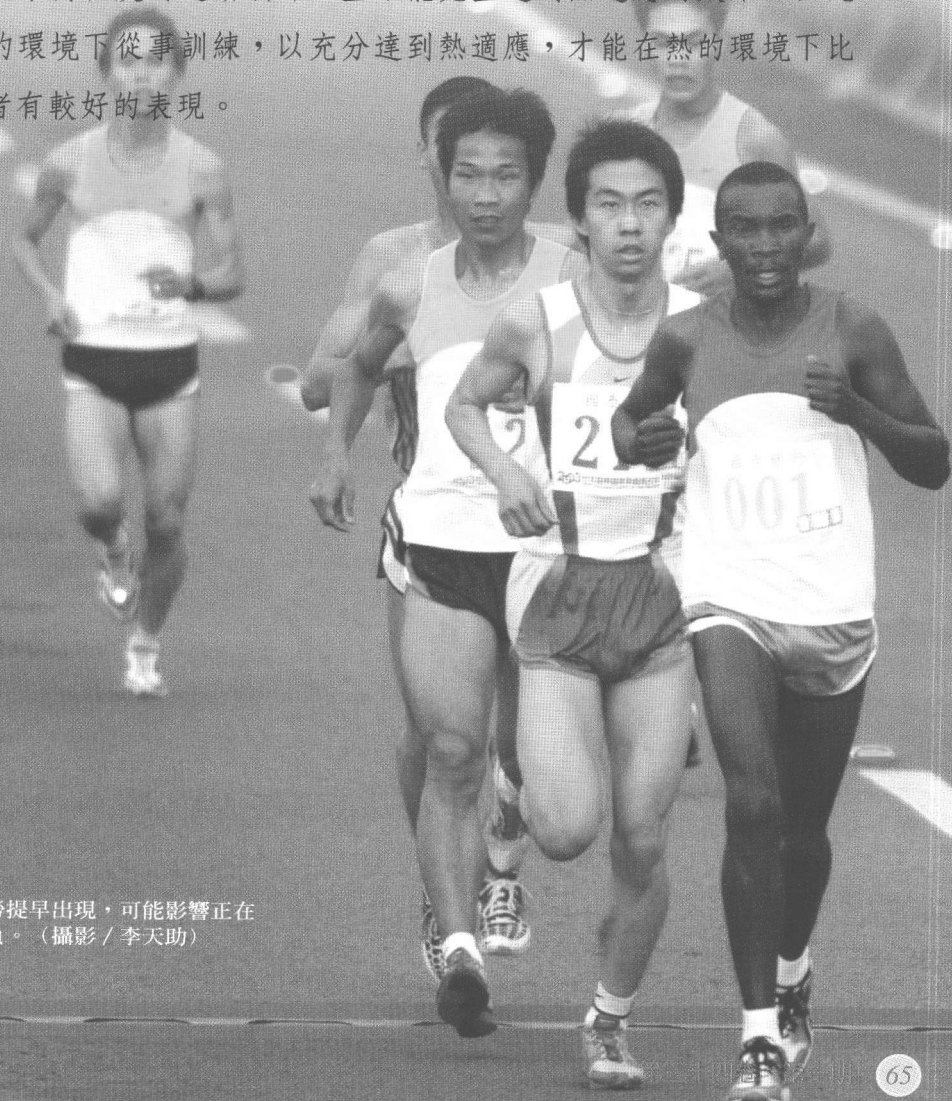


P.65-70

■ 張瑞泰

熱適應對運動表現的 理論基礎與實際應用

熱適應 (heat acclimation) 是指重複暴露在熱的環境下，使人體忍受熱環境壓力的能力增加。和冷的環境下比起來，在熱的環境下從事長時間、高強度的運動能力是會下降的，也就是說，在熱的環境下會使疲勞提早出現，這對正在運動比賽中的選手是相當重要的，因為疲勞提早出現，很有可能影響勝負，例如長距離的項目和長時間的球賽（足球、籃球選手等）。另外，運動員在冷的環境下，從事高強度的運動訓練，並不能完全達到熱適應的效果。因此運動員必需在熱的環境下從事訓練，以充分達到熱適應，才能在熱的環境下比賽，比未熱適應者有較好的表現。



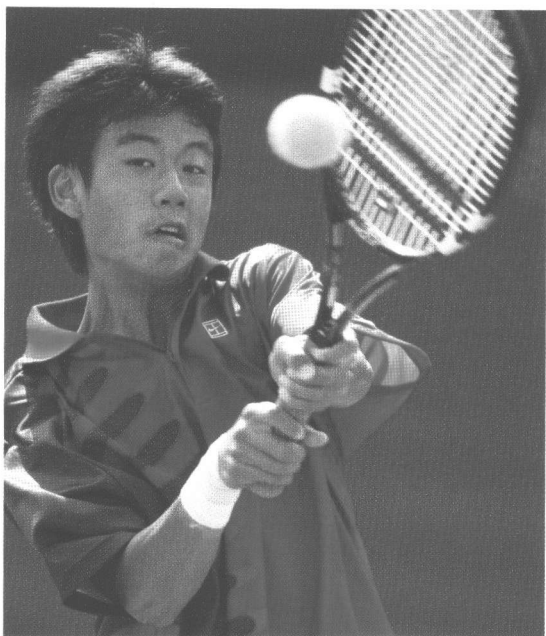
▲在熱的環境下會使疲勞提早出現，可能影響正在運動比賽中選手的勝負。（攝影／李天助）

熱適應可以在熱環境中，每天運動2-4小時(30-55% $\dot{V}O_{2max}$)，連續達5-14天就能完成。熱適應後的生理特性包括：降低在熱環境下運動的核心溫度 (core body temperature)、心跳率和皮膚溫度，增加血漿量 (plasma volume)，和排汗率以及降低開始排汗和皮膚血流量的中心體溫閾值 (也就是體溫較低時就開始排汗及增加皮膚血流量以促進體溫調節) (Roberts et al. 1977; Robinson et al. 1943; Wyndham, 1967)。

在實驗室內熱適應，可藉由每天在熱環境下運動來完成，心跳的降低最快發生，在4、5天內就可看到 (Machle & Hatch, 1947; Wyndham et al. 1968; Young. et al, 1985)。七天後心跳的降低幾乎完成，並且中心體溫和皮膚溫度的降低也出現了，排汗的增加和在熱環境下走路覺得較輕鬆 (Horvath, & Shelley, 1982)，疲勞出現的時間較慢，可能會超過一個星期。本文將針對熱適應後的生理特性及實際應用做綜論性文獻探討。

■ 心跳率和身體核心溫度顯著下降

經過熱適應後，在熱環境下運動的心跳率顯著低於未經過熱適應者，因此在同樣環境條件下運動或比賽就比較輕鬆。而降低心跳率的作用機轉為，(一) 血漿增加 (plasma volume) (Mitchell et al. 1976; Senay, et al, 1976; Wenger, 1988)，在熱適應的過程中，心跳率的下降和血漿量的增加是顯著相關的 (Robinson, et al, 1943)。(二) 心輸出量 (cardiac output) 的重新分配，也就是熱適應後分佈到皮膚外圍的血流量有一部分重新分配到身體核心，因此降低心跳率



▲網球比賽時選手對熱的適應良否影響成績表現。
(攝影 / 李天助)

(Senay, 1979)。(三) 降低核心體溫和皮膚溫度 (Rowell, 1974)，因為在一定的身體核心體溫下的心跳率在熱適應前後是相同的，因此，較低的身體溫度是必要的 (Fox, et al, 1963a, Fox, et al, 1963b)。

■ 熱適應後血漿量的改變

增加血漿量被認為是，提供熱適應過程中血液循環好處的機轉 (Fortney, 1979)。血漿量的增加，是由於蛋白質進入血管內，以及把 Na^+ 保留在血管內而引起 (Senay, 1976)。血漿量的增加在熱適應過程中出現的很快 (2-4天)，然後增加的幅度會慢慢的下降，直到7-10天。

Harrison et al. (1981) 針對6位熱適應受試者進行研究，到第4天時總血液量 (blood volume) 增加了8.7%，到第11天時增加了14.7%，除了血漿量增加外，總蛋白質量也隨著增加，因為總蛋白質

濃度不變。Collins and Weiner (1968) 研究報告指出，熱適應後總血液量增加了12-17%，細胞外液體 (extracellular fluid volume) 增加了6-16%。由於血液量增加，這些增加量大部分來自於組織間液 (interstitial compartment) (Wenger, 1988)。另外，熱適應後的血漿量增加是等張的 (isotonic) (Convertino et al. 1980; Davies et al, 1981)。

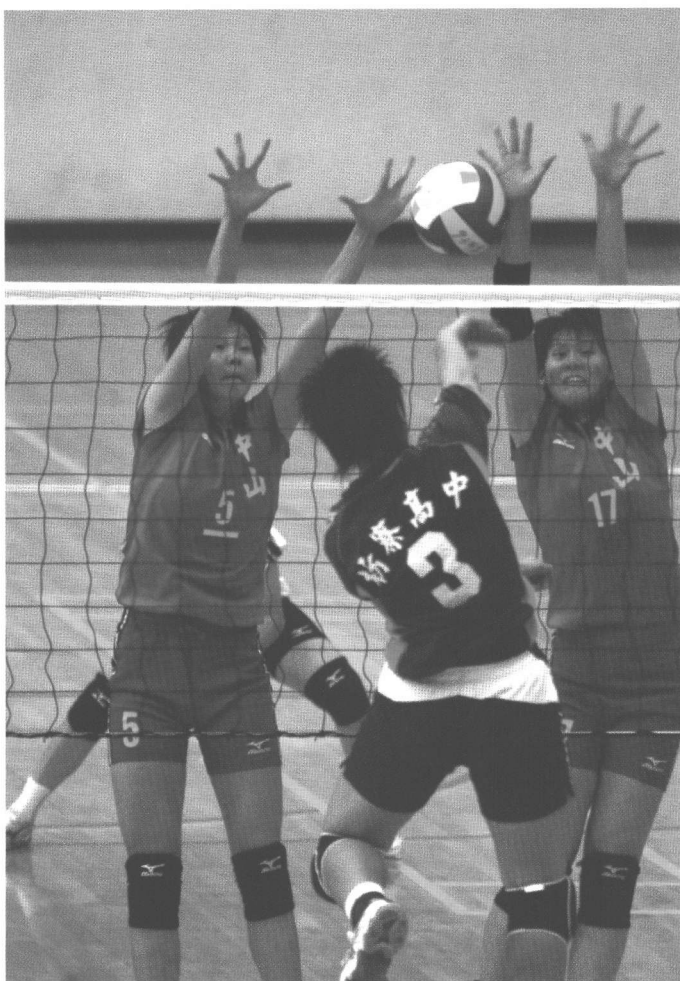
■ 皮膚溫度和排汗率的影響

熱適應後，平均皮膚溫度 (mean skin temperature) 下降，是由於 (一) 皮膚血流量下降 (Fortney & Senay, 1979)，(二) 增加排汗率所引起 (Wyndham, 1967)。皮膚溫度下降增加核心體溫和皮膚溫的差距，因此更有利於排熱作用，增加對熱環境的忍受力，因此運動選手在熱環境下比賽，有、無熱適應，對成績表現就會有很大的差別。另外，排汗率的增加要7天以上熱適應才會出現 (Fortney & Senay, 1979)。排汗率以及降低開始排汗和皮膚血流量的中心體溫閾值 (也就是體溫較低時就開始排汗及增加皮膚血流量以促進體溫調節) (Roberts et al. 1977; Robinson et al. 1943; Wyndham, 1967)。皮膚平均溫度的重要性，在於它和熱的感覺

(thermal sensation) 有高相關性 (International Standard Organization, 1984)。

■ 荷爾蒙、電解質和基礎代謝率的改變

熱適應對於與體液有關的荷爾蒙像醛固酮 (aldosterone)、抗利尿激素



▲熱適應可藉由每天在熱環境下運動來訓練。(攝影/林嘉欣)

(antidiuretic hormone) 和腎素 (renin) 反應的影響還沒有一致性。實驗的變數像熱適應的狀態、體內水分充足狀態 (hydration level)、運動的型式和強度、周圍的環境溫度和受試者的姿勢都會影響實驗的結果和結論 (Bunt, 1986)。

對於已經熱適應的人，在熱環境下運動，沒有



▲籃球選手須有很好的熱適應才足以展現精湛球技。(攝影 / 李天助)

必要做鹽的補充，假使在他們的飲食當中已經有正常的 Na^+ 含量，但是對於未熱適應的人在熱環境下運動則每天必需補充10g的鹽，除非沒有充足的水分供應 (Leithead, 1963)。

熱適應後基礎代謝率降低了5-10% (Collins和Weiner, 1968; MacGregor, et al, 1941; Storydom, 1954)。降低基礎代謝率可能是因為降低甲狀腺的功能所引起，因為甲狀腺的功能在熱環境下會降低，而熱適應對最大攝氧量並無影響 (Shvartz, et al, 1977)。

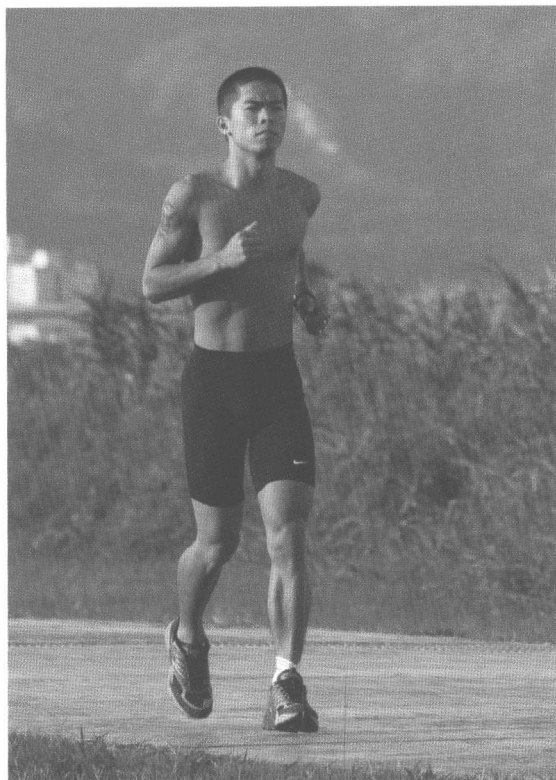
■ 運動員如何達成熱適應？

假使運動選手必需在熱環境下比賽，賽前的熱適應是相當重要的，因為沒有熱適應的運動員在熱環境中運動，和達到熱適應的運動員比起來，他們的心跳率、身體核心溫度和皮膚血流量較高，使得疲勞提早出現，而影響比賽成績。運動員在冷的環境下接受訓練，並無法達到熱適應的標準，同樣的如果只暴露於熱環境下而不訓練也不能達到熱適應。因此，運動選手一定要在熱環境下 ($>30^{\circ}\text{C}$) 從事運動訓練才能充分達到熱適應，以利於在熱環境下比賽。

運動員必需把部分的訓練課表排在熱環境下 ($>30^{\circ}\text{C}$) 訓練。訓練時間長達連續10-14天，以確定充分達到熱適應。剛開始訓練的前幾天，運動強度要降到60-70% VO_2max ，再隨著熱適應的過程，逐漸提高運動強度和時間，以達到比賽時的運動強度和時間。在這過程中，讓運動員有足夠的水分補充，並特別注意運動員是否出現熱中暑 (heat stroke) 和熱衰竭 (heat exhaustion) 的症狀。

■ 結語

熱適應是指重複暴露在熱的環境下訓練，使人體忍受熱環境壓力的能力增加。這對正在運動比賽中的選手是相當重要的，因為疲勞提早出現，很有可能影響勝負。熱適應後的生理特性包括：降低在熱環境下運動的中心溫度（core body temperature）、心跳率和皮膚溫度，增加血漿量（plasma volume），和排汗率以及降低開始排汗和皮膚血流量的中心體溫閾值。運動員必需把部分的訓練課表排在熱環境下訓練。訓練時間長達連續10~14天，以確定充分達到熱適應。剛開始訓練的前幾天，運動強度要降到60~70% $\dot{V}O_{2max}$ ，再隨著熱適應的過程，逐漸提高運動強度和時間，以達到比賽時的運動強度和時間。在這過程中，讓運動員有足夠的水分補充，並特別注意運動員是否出現熱中暑和熱衰竭的症狀。（作者為國立高雄師範大學體育系教授）



▲長距離跑須有良好的熱適應，才不會提早出現疲勞現象影響成績表現。（攝影／游一平）

引用文獻

- ❖ Bunt, J. C. (1986). Hormonal alterations due to exercise. *Sports Medicine*, 3, 331-345.
- ❖ Collins, K. J., and J. S. Weiner. (1968). Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperatures. *Physiological Review*, 8, 785-839.
- ❖ Convertino, V.A., Greenleaf, J.E., and Bernauer, E.M. (1980). Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. *Journal of Applied Physiology*, 48(4), 657-664.
- ❖ Davies, J.A., Harrison, M.H., Cochrane, L.A., Edwards, R.J., and Gibson, T.M. (1981). Effect of saline loading during heat acclimation on adrenalcortical hormone levels. *Journal of Applied Physiology*, 50, 605-612.
- ❖ Fortney, S.M., and Senay, L.C. (1979). Effect of training and heat acclimation on exercise responses of sedentary females. *Journal of Applied Physiology*, 47, 978-984.
- ❖ Fox, R.H., Goldsmith, R., Kidd, D.J., and Lewis, H.E. (1963a). Acclimation in man by controlled elevation of body temperature. *Journal of Physiology*, 166: 530-547.
- ❖ Fox, R.H., Goldsmith, R., Kidd, D.J., and Lewis, H.E. (1963b). Blood flow and other thermoregulatory changes with acclimatization to heat. *Journal of Physiology*, 166: 548-562.
- ❖ Harrison, M. H., R. J. Edwards, M. J. Graveney, L. A. Cochrane, and J. A. Davies. (1981). Blood volume and plasma protein responses to heat acclimatization in humans. *Journal of Applied Physiology*, 50(3), 597-604.

- Horvath, S. M., and W. B. Shelley (1982). Acclimatization to dry heat: active men vs. active women. *Journal of Applied Physiology*, 52, 825-831.
- International Standard Organization. (1984). Moderate thermal environments, determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Report no. 7730.
- Leithead, W. S. S. (1963). Water and electrolyte metabolism in the heat. *Federal Proceeding*, 22, 901-908.
- Machle, W., and T.F. Hatch. (1947). Heat: man's exchanges and physiological responses. *Physiological Review*, 27, 200-227.
- MacGregor, R.G.S., & Loh, G.L. (1941). The influence of a tropical environment upon the basal metabolism, pulse rate, and blood pressure in Europeans. *Journal of Physiology*, 99, 496-509.
- Mitchell, D., Senay, L.C., Wyndham, C.H., Rensburg, A.J.V., Rogers, G. C., and Strydom, N. B. (1976). Acclimatization in a hot, humid environment: energy exchange, body temperature, and sweating. *Journal of Applied Physiology*, 40, 768-778.
- Roberts, M. F., Wenger, C. B., Stolwijk, J. A. L., and Nadel, E. R. (1977). Skin blood flow and sweating changes following exercise and heat acclimation. *Journal of Applied Physiology*, 43, 133-137.
- Robinson, S., Turrel, E. S., Belding, H. S., and Horvath, S. M. (1943). Rapid acclimatization to work in hot climates. *American Journal of Physiology*, 140, 168-176.
- Rowell, L.B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Review*, 54(1), 75-159.
- Senay, L. C., Mitchell, D., and Wyndham, C. H. (1976). Acclimatization in a hot humid, environment: body fluid adjustment. *Journal of Applied Physiology*, 40, 786-796.
- Senay, L. C. (1979). Effects of exercise in the heat on body fluid distribution. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11, 42-48.
- Shvartz, E., Y. Shapiro, A. Magazanik, A. Meroz, H. Birnfeld, A. Mechtering, and S. Shibolet. (1977). Heat acclimation, physical fitness, responses to exercise in temperate and hot environments. *Journal Applied Physiology*, 43, 678-683.
- Strydom, N. B. (1954). Some physiological aspects of adaptation to heat. *South Africa Medicine Journal*, 28, 112-113.
- Wenger, C. B. (1988) title of article? In: *Human performance physiology and environmental medicine at terrestrial extremes*. K. B. Pandolf (Ed.), PP153-197.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (2004). *Physiology of sport and exercise*, 3rd Ed.
- Wyndham, C. H. (1967). Effects of acclimatization on sweat rate/rectal temperature relationship. *Journal of Applied Physiology*, 22, 586-593.
- Wyndham, C. H., A. J. A. Benade, C. C. Williams, N. B. Strydom, A. Goldin, and Heyns. (1968). Changes in central circulation and body fluids spaces during acclimatization to heat. *Journal of Applied Physiology*, 25, 586-593.
- Young, A. J., M. N. Sawka, L. Leving, B. S. Cadarette, and K. B. Pandolf. (1985). Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *Journal of Applied Physiology*, 59, 1929-1935.