

脊髓損傷者的熱調節機制

蔡佳良／國立體育學院
吳昇光／中國醫藥大學

壹、前言

脊髓損傷(spinal cord injury)通常會導致損傷脊髓節以下永久性的癱瘓(permanent paralysis)。根據研究發現，後天造成脊髓損傷的原因中有48%是騎乘汽機車造成意外所致，另外還有21%是摔倒、14%是暴力(包括：戰爭)、14%是運動傷害和3%則屬於其它原因，其中，因為運動造成脊髓損傷中，以跳水(diving)、美式足球(American football)和滑雪(snow skiing)分列前三名(Sherrill, 1998)。雖然對於脊髓損傷者來講，隨意動作(voluntary movement)能力的喪失是最顯而易見的特徵，但是在自主神經系統上所造成的問題也是不容小覷的(Guttmann, 1977)。這些因自主神經系統所造成的問題包括褥瘡(pressure sores)、腎臟、膀胱感染(Young et al., 1982)和熱調節能力受損(Sawka et al., 1989)。而受影響肢體的排汗能力和分布其上的周邊溫度感覺受器，相對地也會受到一定程度的影響，造成脊髓損傷者有明顯的熱壓力問題存在。即使洗個溫水澡，也會發現他們可能有嚴重的熱調節問題(Pollock et al., 1951)。

在高強度的運動當中，局部肌肉的能量代謝急遽地增加，大部分的能量便以熱的型態來加以釋放，例如：一、增加皮膚血流循

環，以加速對流和輻射效率來散熱；二、刺激汗腺，提高蒸發散熱率；三、藉由心輸出血流的再分配，例如：擴張活動肌群的血管以增加血流，收縮內臟血管以減少血流…等機制來調控體溫(Wilmore & Costill, 1999)。當然，所處的環境也佔一個重要的因素，如果溼度高於50%，溫度同時又高達35°C，即使很輕度的上半身運動，也很容易使得四肢麻痺(quadriplegia)的脊髓損傷運動員發生熱昏厥(heat syncope)現象(Petrofsky, 1992)，像台灣是一個溼度高又熱的區域，更須注意此類的問題。以脊髓損傷輪椅運動員來講，由於他們無法有效排汗，而且周邊血管系統擴張和收縮能力受損，如果再加上強度較高的運動，身體產熱急速，更容易造成他們中暑或熱衰竭的後果。因此，本文就針對脊髓損傷者的熱調節機能進行探討。

貳、脊椎之解剖學與功能

脊椎麻痺(spinal paralysis)泛指因疾病或外力傷害到脊柱(spinal column)、脊髓(spinal cord)或脊神經(spinal nerve)而言。造成椎節癱瘓的結果，可分為完全(complete)損傷或不完全(incomplete)損傷(Sherrill, 1998)。脊髓損傷通常影響到負責動作和感覺的中央神經系統

(central nervous system)，和負責維持生命功能(例如：心跳、血壓、溫度調控、膀胱、腸道和性功能)的自主神經系統(autonomic nervous system)(Sherrill, 1998)。

脊椎包括脊柱、脊髓、31 對脊神經，脊神經分為頸椎神經 8 對(cervical nerve: C1-C8)、胸椎神經 12 對(thoracic nerve: T1-T12)、腰椎神經 5 對(lumber nerve: L1-L5)、薦椎神經 5 對(sacral nerve: S1-S5)、尾椎 1 對(coccyx nerve: Coc.1)。一般來講，頸椎神經功能失調會影響四肢的動作；胸椎神經功能失調會影響軀幹功能及坐姿平衡能力，也會造成在有氧的耐力型運動時，必須用力呼吸，引起呼吸困難；腰椎神經功能失調會影響下肢的動作功能；薦椎神經功能失調則會影響膀胱、腸道和性能力(Kiernan, 1999)。

然而，脊髓損傷的嚴重性則依照損傷的程度和損傷是屬於完全損傷還是不完全損傷而定。所以，大致上，頸椎受傷會比胸椎受傷來的嚴重，功能性運動能力也會較差；而相同椎節以下損傷時，完全損傷也會比不完全損傷嚴重。在醫學上，通常用四肢麻痺和下半身麻痺(paraplegia)來說明損傷的嚴重性：

一、四肢麻痺(quadriplegia或tetraplegia)

代表四肢和軀幹都有某些程度上的影響，這類的脊髓損傷者中，約有一半的人屬於不完全損傷，代表他們可能仍有行走的能力。如果屬於頸椎第三節(C3)以上的完全損傷者，則無法自行呼吸，必須隨時倚賴可攜帶式氧氣供應器來維生。從運動競賽的角度

來講，由於頸椎第三節(C3)到頸椎第四節(C4)完全損傷者必須使用電動輪椅來代步，他們不能參加輪椅運動(wheelchair sports)，因為現今的國際輪椅運動組織只允許以手推動輪椅的競賽；因此，頸椎第三節(C3)到頸椎第五節(C5)四肢麻痺選手，則被鼓勵參加其他肢障類別(les autres)較廣泛之運動賽會(Sherrill, 1998)。

二、下半身麻痺(paraplegia)

通常代表下肢受到影響，不過，有時也包括軀幹的平衡能力受損。如果從特殊運動功能分級的角度來看，軀幹的平衡能力卻是判定損傷嚴重性的最有效指標之一。一般來講，屬於胸椎第一節(T1)到胸椎第六節(T6)完全損傷者並無法維持坐姿平衡，此類損傷者經常使用帶子把身體固定在輪椅上；屬於胸椎第七節(T7)到腰椎第一節(L1)完全損傷者則有部分維持坐姿平衡的能力；損傷在腰椎第二節(L2)以下則有較正常的軀幹控制能力。大致上，如果一個脊髓損傷者僅有低程度的損傷，不須扶持仍有行走能力(不包括使用護具(brace))，也會被分級在下半身麻痺這一個類別(Sherrill, 1998; 吳昇光, 2000)。

參、脊髓損傷者的熱調節生理機轉

由於脊髓損傷者的自主神經控制能力受損，因此，在受損脊髓所影響的肢體以下部分，其汗腺分泌能力和皮膚下血管擴張能力便無法受到適當的神經調控，加上心臟輸出的血流分配異於常人，所以，脊髓損傷的運

動員在運動時，體溫就很容易上升，比一般人感受更大的熱壓力(Randall et al., 1966)，進而影響其運動表現。另外，他們排汗的時間點也異於常人，也就是說，他們通常在溫度較高時，大腦才意識要排汗散熱，這可能是周邊皮膚熱受器的向心回饋受損所致(Attia & Engel, 1983)，而這也更容易造成他們中暑或熱衰竭的後果。

一般而言，脊髓損傷者取決於脊髓損傷程度或脊髓損傷的完全性(completeness)和不完全性(incompleteness)，來決定其熱調節能力的損害程度，所以，在運動時，不同等級脊髓損傷者就有不同程度的熱壓力問題存在(Sawka, et. al., 1989)。因此，四肢癱瘓者的熱忍受能力，通常比下半身癱瘓或正常人還低(Bhambhani, 2002)。對於脊髓損傷的運動員來講，有四個可能造成他們熱調控和循環系統失衡的因素：第一、脊髓損傷者可能在交感性心臟刺激(sympathetic cardiac stimulation)受損，導致每跳搏出量、心輸出量和靜脈回流至心臟的能力較低(Mathias & Frankel, 1988)；第二、一些脊髓損傷者的熱調節受器反應能力降低，導致向心神經輸入至下視丘控溫中心的能力也相對地降低(Sawka et al., 1989)；第三、脊髓損傷運動員的運動型態大部分都是利用上肢推動輪椅，當和相同強度的下肢運動來比較的話，這些運動員會減少較多的血漿量，血中並有較高的兒茶酚胺(catecholamine)濃度，導致身體組織會有較大的損傷(Sawka et al., 1989)；第四、脊髓損傷

者通常會服用藥物來控制膀胱，例如：oxybutynin 和 phenoxybenzamine，而這些藥物對排汗和熱調節能力則會有負面的影響(Schaefer & Proffer, 1989)。

肆、脊髓損傷者熱調節的相關研究

Pertrofsky(1992)從 12 位完全性脊髓損傷的男性(6位胸椎第三節至第十二節T3-T12損傷的下半身麻痺者，另外 6 位是頸椎第六節至第八節C6-C8損傷的四肢麻痺者)，分別在 30°C、35°C 和 40°C 的環境下，使用上肢手搖車(arm cranking)和功能性電刺激(functional electrical stimulation, FES)刺激腳部麻痺的肌肉，來操縱腳踏車測功器(cycle ergometer)以從事運動。研究者發現，在 30°C 的環境時，正常人、下半身麻痺和四肢麻痺者在休息時的耳溫分別是 37°C、37.5°C 和 37.6°C，並未達顯著差異。不過，當外在環境溫度升高時，即使是休息時，這些脊髓損傷者的體溫便顯著地偏高。尤其在熱環境下運動 30 分鐘後，四肢麻痺和下半身麻痺者體溫便分別升高至 40°C 和 39°C 左右，而一般正常人即使在熱環境下，體溫也仍介於 37°C 左右。從心跳率的角度來看，在 30°C 的環境，休息時的心跳率三組並無差異，一旦暴露在 40°C 的環境，一般人心跳率上升至每分 93 下，而四肢麻痺者便上升至每分鐘 140 下左右；如果處於熱環境又加上運動，脊髓損傷者的心跳率也比一般人為高。從排汗率也發現，不管是在休息或運動時，一般人的排汗率均比脊髓損傷

者高；當在熱環境下運動時，一般人的排汗率便明顯的上升，而脊髓損傷者卻未能顯著的提高排汗率。這對脊髓損傷者來講，在熱環境下運動時，體溫已比一般人高，再加上排汗速率又比一般人慢，更容易造成熱中暑的現象。雖然這個實驗並未模擬手部推動輪椅來從事研究，所得的結果或許無法有效的解釋真實情境所得的結果，但是，我們發現在相同環境和相同運動型態下，脊髓損傷者的確有較高的熱壓力問題存在。

雖然，單從生理特質上，我們相信脊髓損傷運動員在運動時，應該會比正常人發生體溫較高的情況，但是，從一些脊髓損傷者熱調節的研究卻得到不同的結果，這些研究者發現：脊髓損傷者在運動時的體溫，和正常人相比並未達顯著差異，甚至比正常人低(Price & Campbell, 1997; Hopman et al., 1993)，例如：Price 和 Campbell(1997)利用 10 位胸椎第三節至腰椎第四節(T3-L4)脊髓損傷運動員和 9 位一般運動員，以最大心跳率 80% 的強度，來從事 90 分鐘的上肢手搖車的運動，這 19 位運動員平常的運動型態都是以上半身為主，而且他們皆定期的參與全國性或國際性的比賽，當在 21.5°C 和 47% 相對溼度的環境下運動後發現，休息時，兩組受試者耳溫並無顯著地差異；但是脊髓損傷運動員的上半身體溫比一般運動員約高 1°C，下半身在大腿和小腿則分別約低 1.3°C 和 2.7°C，一般運動員則無此差異性；運動後，一般運動員和脊髓損傷運動員的耳溫也分別上升 0.6°C 和

0.7°C，但是在小腿溫度上，脊髓損傷運動員的溫度上升 1.4°C，而一般運動員則降低 0.8°C。因此，研究者發現在冷環境下，脊髓損傷運動員的熱調節反應是和一般人不同的，但是他們並無明顯的熱壓力問題存在。不過，從這個研究發現，雖然研究者讓脊髓損傷運動員從事和正常人類似的相對(relative)代謝率的運動，但是，如果從絕對(absolute)代謝率的角度來看，這種運動量卻比正常人為低。因為運動時，體溫的改變是和絕對代謝率成比率上的正相關(Bhambhani, 2002)，所以，這些研究所得的結果，必須非常小心地解釋。而且這些研究者讓脊髓損傷運動員運動的時間介於 30-90 分鐘之間，運動強度並未以最大耗氧量的百分率來說明，如果想把相同的結果來解釋一些優秀的輪椅馬拉松選手的熱壓力，似乎有所不妥，因為，優秀的輪椅馬拉松選手在真正競賽時的運動強度是比較高的，而這些運動實驗的強度，僅是真實競賽情境中，最大耗氧量的 53% 和最大心跳率的 80% 而已(Bhambhani, 2002)。

另外，Fitzgerald 等(1990)也從 5 位胸椎第九節至腰椎第四節(T9-L4)下肢麻痺的女性脊髓損傷者和 5 位健康女性，實施 90 分鐘的輪椅測功器(wheelchair ergometer)運動發現，脊髓損傷者在運動 60 分鐘後，口溫(oral temperature)成穩定性的增加，而健康女性口溫卻沒有增加的現象；在皮膚的溫度方面，脊髓損傷者在運動後 10-15 分鐘急遽的增加，隨後的 60 分鐘則以較慢的速率增加，但是健

康女性只有在運動後 10 分鐘，上升至最高值，隨後的 80 分鐘則呈現溫度逐漸下降的趨勢；至於心跳率和心輸出量，在運動後 20 分鐘，兩組都顯著的增加，不過在隨後的 70 分鐘，兩組的心輸出量卻呈現下降的趨勢，以同樣運動後 80 分鐘和運動後 10 分鐘的心輸出量來比較，脊髓損傷者約下降 26%，而健康受試者卻只下降 9%。在心跳率增加，心輸出量卻減少的情形下，代表每跳輸出量減少，可能是血液重新分配，血液轉而聚集在活動肌群，但是脊髓損傷者的下肢幫浦並無法作用，造成大量血液囤積在下肢，靜脈回流減少，如果再加上體溫持續增加的情形來看，脊髓損傷者的確會有較大的熱調節問題。

伍、結語

從以上的內容發現，脊髓損傷者會比一般人有較大的熱壓力問題。但是，脊髓損傷程度越大的人，在運動時，是否所承受的熱壓力也愈大？例如：是否四肢麻痺會比雙下肢麻痺者，在運動時有較大的熱壓力問題發生？其實並不盡然。從 Armstrong 等(1994)的研究發現，胸椎以下損傷的運動員在運動時的代謝熱生成(metabolic heat production)和運動後身體熱儲存(body heat storage)，卻都比頸椎以下損傷的運動員來得高，這或許意味著，由於胸椎以下損傷的運動員，其損傷程度比頸椎以下損傷的運動員來得小，因此，在手和軀體部分，擁有較高的動作控制能力，所

以，同樣的運動情境下，身體便產生較高的代謝熱；而頸椎以下損傷的運動員即使在熱調節能力受損較嚴重的情況下，因為他們無法有較高強度的運動能力，所以運動時所產生的代謝熱也相對的低很多，因此，我們並不能誤以為脊髓損傷程度較高的運動員，便一定有較高的熱壓力問題存在。

曾有研究者想要利用冰袋背心(ice-packet vest)和冰凍的頭盔(refrigerated headpiece)想要改善脊髓損傷運動員的熱壓力，結果卻發現這兩種配備，都無法有效地改善熱壓力(Armstrong et al., 1994)。然而，對於如何改善脊髓損傷者熱壓力問題的研究，至今仍未有所突破，我們僅能以一般正常受試者所做的研究結果，來建議這類運動員平常多從事有關心呼吸系統(cardiorespiratory system)的有氧訓練、避免在氣溫超過 21°C 和相對溼度達 50% 的情況下運動；運動時多補充電解質和穿著合適的運動服；如果跨越不同時區參加運動賽會，必須有足夠的休息和睡眠(Bhambhani, 2002)，相信這些方法應該也能有效降低脊髓損傷運動員的熱壓力問題。

參考文獻

- 吳昇光(2000)：身心障礙運動分級－理論與實務應用。台北：合記圖書出版社。
- Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Riebe, D., Kenefick, R. W., Castellani, J. W., Senk, J. M., & Echegaray, M. (1994). Local cooling in wheelchair athletes during exercise-heat stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 211-216.

- Attia, M., & Engel, P. (1983). Thermoregulatory set point inpatients with spinal cord injuries (spinal man). *Paraplegia*, 21, 233-248.
- Bhambhani, Y. (2002). Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Medicine*, 32(1), 23-51.
- Hopman, M., Oeseburg, B., & Binkhorst, R. A. (1993). Cardiovascular responses in persons with paraplegia to prolonged exercise and thermal stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 577-583.
- Fitzgerald, P. I., Sedlock, D. A., & Knowlton, R. G. (1990). Circulatory and thermal adjustments to prolonged exercise in paraplegia women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 629-635.
- Gass, G. C., Camp, E. M., Nadel, E. R., et al. (1988). Rectal and rectal vs esophageal temperatures in paraplegic men during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 64, 2265-2271.
- Gass, E. M., Gass, G. C., & Gwinn, T. H. (1992). Sweat rate and rectal and skin temperatures in tetraplegic men during exercise. *Sports Medicine and Training Rehabilitation*, 3, 243-249.
- Guttmann, L. (1976). *Spinal cord injuries: Comprehensive management and research* (2nd ed.). Blackwell, Melbourne.
- Kiernan, J. A. (1999). *Barr's the human nervous system: An anatomical viewpoint* (7th ed.). Philadelphia: Lippincott-Raven.
- Mathias, C. J., & Frankel, H. L. (1988). Cardiovascular control in spinal man. *Annual Review of Physiology*, 50, 577-592.
- Petrofsky, J. S. (1992). Thermoregulatory stress during rest and exercise in patients with spinal cord injury. *European Journal of Applied Physiology*, 64, 503-507.
- Pollock, L. J., Boshes, B., Chor, H., Finkelman, I., Arief, A. J., & Brown, M. (1951). Defects of regulatory mechanisms of autonomic function in injuries to spinal cord. *Journal of Neurophysiology*, 14, 85-93.
- Price, M. J., & Campbell, I. G. (1997). Thermoregulatory responses of paraplegic and able-bodied athletes at rest and during prolonged upper body exercise and passive recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 552-560.
- Randall, W. C., Wurster, R. D., & Lewin, R. J. (1966). Responses of patients with high spinal transection to high ambient temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 21, 985-993.
- Sawka, M. N., Latzka, W. A., & Pandolf, K. B. (1989). Temperature regulation during upper body exercise: Able-bodied and spinal cord injured. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, S132-S140.
- Schaefer, R. S., & Proffer, D. S. (1989). Sports medicine for wheelchair athletes. *American Family Physician*, 39, 239-245.
- Sherrill, C. (1998). *Adapted physical activity, recreation and sport: Crossdisciplinary and lifespan* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Young, J. S., Burns, P. E., Bowen, A. M., & McClutcheon, R. (1982). *Spinal cord injury statistics: Experience of regional spinal cord injury systems*. Good Samaritan Medical Center, Phoenix, Ariz.