

## 訓練強度和時間對心率變異性的影響

謝婉媚, 盧嘉琪, 高展榮, 蘇志雄  
香港體育學院

**研究目的** 測量心率變異性 (HRV) 可以反映一個人的自主神經系統狀況, 同時此測量方法已被運動界採納為預測比賽成績的指標<sup>[1]</sup>。有研究顯示體能鍛煉可提高HRV數值<sup>[2-4]</sup>, 然而這是透過改變運動時間或是強度, 仍待進一步探討。此外, 大部份有關研究只探討一次性運動對HRV的影響<sup>[5,6]</sup>, 因此是次研究我們會於六週的訓練計劃內分別改變運動時間或強度以評估兩項變量對HRV的影響。假若我們能夠掌握自主神經系統於不同運動時間和運動強度所作出的反應, 我們將能夠通過測量HRV作為調控訓練負荷的指引, 為運動員設計出合適的訓練計劃。

### 研究方法

**受試者** 二十四位來自本地大學運動隊的健康男性 (年齡 24.34 ± 3.08歲) 參與是次研究, 他們每星期運動2-3次。在研究開始前他們被隨機分配到三個組別, 分別是耐力組 (EN), 高強度組 (HI) 和對照組 (CON)。為了調整每一個組別的訓練強度, 所有參加者都先進行最大攝氧量 (VO<sub>2max</sub>) 測試, 作為釐定日後訓練強度的指引。

**訓練計劃** 整個訓練計劃為期六週, 並分為三階段 (每兩週為一階段)。HI 和 EN 組會在每階段進行六次跑步訓練, 而為了防止疲勞, 每次訓練至少相隔一天 (圖表一)。我們在每個階段的第一、第二及第四次訓練課皆為參加者量度攝氧量和血乳酸, 同時在每次訓練課收集心率數據。

圖表一. 為期六週的訓練計劃分三階段進行 (灰色), 最大攝氧量測試會在訓練前及最後訓練課的三天後進行。  
(\*) 在第三階段的訓練課, HI組要以無氧閾 (AT) 的速度進行10分鐘熱身跑步。

|     | 基礎<br>兩天              | 第一階段 (P1)<br>兩週                             | 第二階段 (P2)<br>兩週                             | 第三階段 (P3)<br>兩週                                       | 恢復期<br>兩週                      |
|-----|-----------------------|---|---|---|--------------------------------|
| EN  | 訓練前VO <sub>2max</sub> | 65% VO <sub>2max</sub><br>35分鐘              | 65% VO <sub>2max</sub><br>50分鐘              | 65% VO <sub>2max</sub><br>65分鐘                        | 訓練後<br>VO <sub>2max</sub> 沒有訓練 |
| HI  | 訓練前VO <sub>2max</sub> | 75% VO <sub>2max</sub><br>3 x 8分鐘,<br>休息3分鐘 | 85% VO <sub>2max</sub><br>6 x 4分鐘,<br>休息3分鐘 | (*) 95% VO <sub>2max</sub><br>6 x 2分鐘,<br>在AT強度恢復 2分鐘 | 訓練後<br>VO <sub>2max</sub> 沒有訓練 |
| CON | 訓練前VO <sub>2max</sub> | 沒有訓練  | 沒有訓練  | 沒有訓練  | 訓練後<br>VO <sub>2max</sub> 沒有訓練 |

**測量心率變異性** 受試者在訓練期前、中及後均利用RS800心率監測儀量度七分鐘的HRV。其中我們抽取五分鐘的HRV<sup>[7]</sup>, 以第16等級的自動回歸模式來計算出頻域數據, 以量化高頻功率(HF)及低頻功率(LF)的光譜密度。

**數據分析** 我們利用組內相關係數分析方法來分析HRV數據基值的可靠性, 然後利用單因子變異數分析方法來測試各受試組之間的HRV數據基值、體格數據及訓練前最大攝氧量的差別。而各受試組之間在訓練前和後的生理數據和最大攝氧量, 以及各個訓練階段之間的HRV數值, 則以雙因子變異數分析方法來進行分析。同時, 我們會使用Bonferroni測試法為數據作多重比較。統計上顯著性設定為p值少於0.05。

### 研究結果

**生理數據** 各受試組訓練前和訓練後的最大攝氧量、當中的最高心率及最大乳酸值並沒有明顯差異 (表一)。而HI組在各個訓練階段的平均心率、最大攝氧量百分比及運動後最大乳酸值皆顯著高於EN組。

表一. 各受試組訓練前和訓練後在最大攝氧量測試中的生理數據。(平均值±標準差)

|                   | CON         |             | EN          |              | HI          |             |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                   | 訓練前         | 訓練後         | 訓練前         | 訓練後          | 訓練前         | 訓練後         |
| 最大攝氧量 (ml/min/kg) | 53.4 ± 4.4  | 52.2 ± 5.9  | 52.9 ± 6.9  | 52.2 ± 7.3   | 50.5 ± 4.2  | 51.1 ± 3.3  |
| 最大心率 (bpm)        | 193.1 ± 5.4 | 196.0 ± 5.9 | 194.8 ± 9.2 | 194.8 ± 12.2 | 197.3 ± 8.2 | 194.6 ± 7.2 |
| 最大乳酸值 (mM)        | 14.6 ± 3.0  | 14.4 ± 3.3  | 13.3 ± 2.3  | 12.6 ± 2.1   | 13.3 ± 1.7  | 13.1 ± 1.6  |

**HRV數據** 所有受試組內兩次HRV基值數據的相關係數值大於0.92, 顯示數據有高度重複性。表二至三列出各受試組別的頻域數據。CON組中各訓練階段的HRV參數均沒有顯著差異。

**EN組** 在EN組中, 高頻功率自然對數值 (HFnu) 由基值至P2階段呈上升趨勢, 導致P2數值顯著高於基值。雖然運動時間在P3階段延長至65分鐘, 但HFnu並沒有顯著地增加, 然而恢復期的數值卻顯著高於基值 (表二)。低頻功率自然對數值 (LFnu) 在為期八週的研究中呈下降趨勢, 數值在P1直至恢復期階段不斷下降, P2及恢復期的數值顯著低於基值 (表三)。

**HI組** 在HI組中, HFnu在P2訓練階段顯著較基值低 (相差達百分之二十三), 然後在P3及恢復期增加, 但數值跟基值沒有顯著差異 (表二)。LFnu先在P2階段顯著高於基值, 然後於P3及恢復期下降 (表三)。

表二. 各受試組在各階段的高頻功率自然對數值 (HFnu) (平均值±標準差)

| HFnu (%) | CON        | EN          | HI           |
|----------|------------|-------------|--------------|
| 基值       | 51.1 ± 4.9 | 47.9 ± 5.9  | 44.6 ± 5.8   |
| P1       | 48.7 ± 5.4 | 55.7 ± 6.1  | 41.3 ± 6.7   |
| P2       | 46.9 ± 6.1 | 59.9 ± 7.3* | 34.2 ± 5.3*^ |
| P3       | 46.6 ± 5.1 | 57.6 ± 7.0  | 43.4 ± 7.3   |
| 恢復階段     | 54.1 ± 6.9 | 62.3 ± 7.4* | 40.3 ± 6.6^  |

\* 與基值有顯著差異 p值 < 0.05; ^ 與EN組有顯著差異 p值 < 0.05;

表三. 各受試組在各階段的低頻功率自然對數值 (LFnu) (平均值±標準差)

| LFnu (%) | CON        | EN          | HI           |
|----------|------------|-------------|--------------|
| 基值       | 48.9 ± 4.9 | 52.1 ± 5.9  | 55.4 ± 5.8   |
| P1       | 51.3 ± 5.4 | 44.3 ± 6.1  | 58.7 ± 6.7   |
| P2       | 53.1 ± 6.1 | 40.1 ± 7.3* | 65.8 ± 5.3*^ |
| P3       | 53.4 ± 5.1 | 42.4 ± 7.0  | 56.6 ± 7.3   |
| 恢復階段     | 45.9 ± 6.9 | 37.7 ± 7.4* | 59.7 ± 6.6^  |

\* 與基值有顯著差異 p值 < 0.05; ^ 與EN組有顯著差異 p值 < 0.05;

**討論** 本研究結果顯示在EN組P2階段的 HFnu有顯著增加, 反映在四星期中漸進式由35分鐘增加至50分鐘的中強度訓練, 能有利於心臟自主神經系統, 但當訓練時間持續增加至65分鐘時, 副交感神經活動並沒有進一步提升。相反地, HFnu在HI組的P2階段減少, 反映在四星期內於無氧閾以上的高強度訓練會削弱副交感神經活動, 這相信是訓練負荷的累積所致, 導致自主神經系統未能完全恢復。然而HFnu在P3階段中增加, 反映系統可能需要一段時間才能完全適應運動負荷。

三個受試組在訓練前和訓練後的最大攝氧量均沒有分別, 這可能是因為訓練強度不足而引致最大攝氧量無法提升; 我們同時亦發現EN及 HI 組的HRV 指標均與CON組沒顯著差異, 這也可能跟訓練強度不足有關。這些數據雖然在統計學上沒有呈顯著分別, 然而HRV指標的趨向令我們相信訓練應該已對自主神經系統有一定的影響。

**結論** 本研究顯示訓練時間及強度對副交感神經活動產生相反的效果, 我們相信定期以最大攝氧量百分之六十五的強度訓練達50分鐘能改善心臟自主神經狀態。另一方面, 我們相信HRV測量能作高強度訓練期監控恢復的可行方法; 若HFnu的數值下降少於百分之二十三, 額外的恢復手段是不必然需要的, 若強度漸增加至約最大攝氧量的百分之九十五, 數據顯示自主神經系統在兩星期內就應能適應訓練負荷。

### 參考文獻:

1. Atlaoui, D., Pichot, V., Lacoste, L., Barale, F., Lacour, J.R. & Chatard, J.C. (2007) Heart Rate Variability, Training Variation and Performance in Elite Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 28: 394 – 400.
2. Lee, M., Wood, R.H. & Welsch, M.A. (2003) Influence of short-term endurance exercise training on heart rate variability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35 (6): 961 – 963.
3. Gamelin, F.X., Berthoin, S., Sayah, H., Libersa, C. & Bosquet, L. (2007) Effect of training and detraining on heart rate variability in healthy young men. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (7): 564 – 570.
4. Aubert, A.E., Segs, B. & Beckers, F. (2003) Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33 (12): 889-919.
5. Kaikkonen, P., Rusko, H. & Martinmaki, K. (2008) Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18: 511 – 519.
6. Mourou, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.D. & Regnard, J. Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 92: 508 – 517.
7. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996) Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17: 354 – 381.