

### 簡介

無氧閾值及最大攝氧量值是很多耐力運動項目如賽艇、馬拉松等的重要表現指標。然而，已有研究指出在傳統的最大攝氧量測試中使用換氣閾值來估算無氧閾值並不適合<sup>[1]</sup>。所以，我們希望改良傳統最大攝氧量測試一把傳統最大攝氧量測試上半部分變成乳酸閾值測試，使測試可同時準確評估無氧閾值及最大攝氧量值（簡稱為漸增性暨最大攝氧量測試）。在此研究中，我們假設漸增性暨最大攝氧量測試（一）能取得與傳統最大攝氧量測試相同的最大攝氧量值；（二）因可同時取得換氣閾值及乳酸閾值參數，所以能更全面地評估運動員的無氧閾值。取得乳酸閾值讓運動科學人員更了解運動員的乳酸清除能力，對制定個人化體能訓練計劃和了解運動員的生理狀況更有幫助。

### 研究方法

#### 研究對象

研究測試對象為大專賽艇隊的 13 名女運動員（年齡 19.92 ± 1.14 歲；身高 166.61 ± 4.04 厘米；體重 58.17 ± 3.48 公斤）。所有運動員過去已參與 6 個月以上的專項訓練，訓練頻率平均為一星期 5 天。

#### 研究設計

全部參與者須使用室內賽艇機 (Model D Ergometer; Concept II, Inc, Morrisville, VT, USA) 完成一次傳統最大攝氧量測試及一次漸增性暨最大攝氧量測試。兩項測試相隔 7 天，次序隨機。測試過程中，會跟據不同測試計劃收集運動員各項數據，包括輸出功率、心跳率、呼吸氣體、血乳酸樣本及感覺盡力程度。

#### 傳統最大攝氧量測試

開始時維持強度 100 瓦 3 分鐘，然後每分鐘增加 15 瓦直至筋疲力竭。整個測試需時約 10 至 13 分鐘。測試會透過換氣閾值來估計運動員的無氧閾值。換氣閾值會由 2 位具經驗的研究人員獨立地用以下 3 種方法決定<sup>[2]</sup>：

- 一 過量二氧化碳方法：二氧化碳排放突然增加的運動強度。過量二氧化碳以公式  $(VCO_2^2/VO_2)-VCO_2$  計算；
- 二 呼吸商方法：首個氧氣換氣當量  $(VE/VO_2)$  增加同時二氧化碳換氣當量  $(VE/VCO_2)$  沒有提升的運動強度；
- 三 以 V-斜率方法：在  $VCO_2/VO_2$  的圖表中，斜率由少於 1 轉至大於 1 的運動強度。

#### 漸增性暨最大攝氧量測試

測試可分為兩部分—

##### 甲 無氧閾值評估

開始時維持強度 100 瓦 3 分鐘 (3 分鐘台階)，然後每階段增加 15 瓦。每階段之間休息 30 秒，此時測試員會採集耳朶血乳酸樣本。當血乳酸值超過 4 毫莫爾 / 升及升幅 ≥ 1.1 毫莫爾 / 升，無氧閾值評估部分就會終結。測試會透過乳酸閾值來估計運動員的無氧閾值。乳酸閾值為乳酸升幅 ≥ 1.1 毫莫爾 / 升的前一級台階。運動員休息 4 分鐘後便會進入下一部分。

##### 乙 最大攝氧量評估

在乳酸閾的輸出功率維持 1 分鐘，然後每分鐘增加 15 瓦直至筋疲力竭。整個漸增性暨最大攝氧量測試需時約 30 分鐘。

### 結果與討論

在最大攝氧量評估部分中，傳統最大攝氧量測試及漸增性暨最大攝氧量測試均測出相似的最大攝氧量值 (表一)。兩種測試得出的最大輸出功率及最大攝氧量亦沒有顯著差異 (P 值 > 0.05)。因此，漸增性暨最大攝氧量測試跟傳統最大攝氧量測試均同樣適合評估賽艇運動員的最大攝氧量值、相應心跳率及輸出功率。

而在無氧閾值評估方面，兩種測試均可得出相似心跳率 (表二) (P 值 > 0.05)。然而，相應的輸出功率及攝氧量值卻有明顯差異 (P 值 < 0.05)。漸增性暨最大攝氧量測試中得出的輸出功率及攝氧量值均比傳統最大攝氧量測試高。

表一 兩項測試中的最大攝氧量評估部分。(平均數 ± 標準差)

	傳統最大攝氧量測試	漸增性暨最大攝氧量測試
最大輸出功率 (瓦)	200.1 ± 19.58	197.4 ± 23.1
最大攝氧量 (毫升/千克/分鐘)	46.5 ± 1.73	45.8 ± 2.44
最高心跳率 (次/分鐘)	187.7 ± 5.85	189.9 ± 5.06

表二 兩項測試中的無氧閾值評估部分。(平均數 ± 標準差)

	傳統最大攝氧量測試 <sup>†</sup>	漸增性暨最大攝氧量測試 <sup>‡</sup>
輸出功率 (瓦)	130 ± 41.29	133.5 ± 16.34*
攝氧量 (毫升/千克/分鐘)	38.1 ± 2.94	39.9 ± 3.21*
心跳率 (次/分鐘)	166.15 ± 7.82	162.15 ± 7.37

<sup>†</sup> 傳統最大攝氧量測試使用換氣閾值方法

<sup>‡</sup> 漸增性暨最大攝氧量測試使用乳酸閾值方法

\* 顯著差異 (p 值 < 0.05)

測試結果顯示了漸增性暨最大攝氧量測試是個可靠的最大攝氧量測試。而在仔細了解其測試計劃及背後原理後，此測試亦在無氧閾值評估方面展出了比傳統最大攝氧量測試更優秀的一面。首先，它的無氧閾值評估部分的 3 分鐘台階能讓攝氧量進入穩定狀態。在特定的強度及強度低於無氧閾下，攝氧量需時約 3 分鐘才進入穩定狀態<sup>[3]</sup>。因此，維持特定強度只有 1 分鐘的傳統最大攝氧量測試所得出的無氧閾攝氧量很可能被低估 (表二)。另一原因是因為漸增性暨最大攝氧量測試可給予雙重的無氧閾評估方式。甲部分中的 30 秒休息間歇不但可讓測試員取得乳酸及乳酸閾值，有需要時更可同時參考換氣閾值作更全面、更精準的評估。當中 30 秒的休息間歇並不會對乳酸趨勢構成影響<sup>[4]</sup>。

由於今次研究對象為大專賽艇隊女運動員，故此必須為大專賽艇隊男運動員作同樣研究，方可公開使用漸增性暨最大攝氧量測試予其他不同人士。

### 總結

漸增性暨最大攝氧量測試能取得與傳統最大攝氧量測試相同的最大攝氧量值；因有雙重的無氧閾評估方式，它比傳統最大攝氧量測試更能全面及準確的評估運動員的無氧閾值。乳酸樣本採集亦能讓運動科學人員更了解運動員的乳酸清除能力，對制定個人化體能訓練計劃和清楚運動員的生理狀況更有幫助。

### 謝辭

我們在此非常感謝香港中文大學賽艇隊教練及暑期實習生協助安排運動員參與是次研究，同時感謝香港體育學院體能科學訓練中心進行是次所有測試。

### 參考文獻

1. Hughson, R. L., Green, H. J., and Sharratt, M. T. (1995). Gas exchange, blood lactate, and plasma catecholamines during incremental exercise in hypoxia and normoxia. *J. Appl. Physiol.* 79(4): 1134-1141.
2. Gaskill, S. E., Ruby, B. C., Walker, A. J., Sanchez, O. A., Serfass, R. C., and Leon, A. S. (2001). Validity and reliability of combining three methods to determine ventilator threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(11): 1841-1848.
3. Hill, A. V. and Lupton, H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q. J. Med.* 16: 135-171.
4. Gullstrand, L., Sjödin, B., and Svedenhag, J. (1994). Blood sampling during continuous running and 30-second intervals on a treadmill. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 4: 239-242.