

5分鐘最大負荷單車運動 肌肉疲勞模式小波分析

蘇志雄^{1,2}, 吳劍輝¹, 藍偉杰³, 盧嘉琪², 吳賢發¹

¹香港理工大學 康復治療科學系

²香港體育學院

³香港理工大學 電子及資訊工程學系

研究目的 運動疲勞時肌肉募集策略是會適應性地改變以將能量使用減低。個體可採取多種肌肉活動次序從而繼續保持運動的狀態。為了揭示運動過程中肌肉募集策略與疲勞關係，表面肌電 (sEMG) 是有用的方法，原因在於sEMG有著非侵入性的特點，且在運動過程中可持續記錄所有數據。因此本研究的目標為在最大負荷單車運動過程中，透過表面肌電小波及交叉相關系數的分析，從而監視肌肉的募集策略在大運動量時的變化。另外，此表面肌電分析方法以了解肌肉疲勞模式亦適用於其他運動及職業，從而制定肌肉訓練計劃，提高成績及減少受傷。

研究方法 八位青年男性單車手自願參與此研究。在單車功率儀器上熱身後，單車手以最大攝氧量95%的功率騎車，頻率為以每分鐘90圈並保持5分鐘。在運動過程中，由研究對象右腿的臀大肌、股直肌、股內側肌、股外側肌、股二頭肌、半腱肌、脛前肌及內側腓腸肌持續記錄表面肌電數據。然後將表面肌電數據進行小波轉換。交叉相關系數分析可量化各個腳踏週期之間的小波數據能量強度的轉移或延遲。

表面肌電數據分析

小波變換

von Tscharner (2000年) 指出小波轉換可將表面肌電信號透過使用一系列非線性等級化的小波同時分解為時間及頻率，他建議，用11種小波等級化的組合來分析表面肌電，該組合可涵蓋表面肌電信號的頻率範圍。根據各自的中心頻率、頻寬及時間分辨率，各小波域均有自身特點。然後利用小波將表面肌電相乘。這樣便可得到該小波域內肌電能量的分佈，繼而再計算一個腳踏週期內各個小波域的能量強度。儘管大量小波數據記錄在11個域內，本研究只選擇中心頻率為92.4Hz及頻寬為35.2Hz的小波域，因此小波域與肌肉疲勞相關的強度變化有著較高的可靠性。

交叉相關系數分析

採用交叉相關分析對時間點之間的小波能量強度狀態變化進行定量分析。以算出能量強度的時間轉移，然後計算交叉相關系數的峰值的可信區間，作 (α 設定為0.05) 統計分析使用，時間點1被定義為基準水平。

統計

被試者的體格和生理素質，並sEMG結果均會通過統計學計算，然後利用配對t-測試測定單車運動前後的結果。統計顯著性為 $\alpha = 0.05$ 。為各個研究對象計算線性回歸系數，確定表面肌電活動變化及運動時間增加之間的關係。透過個人線性回歸方程式計算時間點75的狀態變化。然後透過獨立t-測試方式來分析樣本組的平均結果。類似的方法也應用在確定小波數據能量強度變化與運動時間的關係。

備註

(a) 由於測試最初30秒及最後15秒的表面肌電數據差異較高，因此放棄了這兩個時段的數據。由第31秒開始至第285秒，每5個腳踏週期平均為1個週期，代表1個時間點，至第75個腳踏時間數據點結束。

(b) 止點確定為0°及按順時針方向增加。

研究結果

表1：單車運動5分鐘後，對所有測試肌肉進行線性回歸方程式來分析小波數據能量強度的角度轉移程度。

肌肉	斜率*	p 值 < 0.05 的樣本數	最後時間點的角度變化程度	p 值
臀大肌	0.0021	7	1.6°	0.15
股直肌	0.0050	5	3.8°	0.10
股內側肌	0.0036	4	2.7°	0.35
股外側肌	0.0037	3	2.8°	0.09
股二頭肌	0.0042	5	-3.2°	0.51
半腱肌	0.0006	3	-0.5°	0.72
脛前肌	0.0044	3	3.3°	0.16
內側腓腸肌	0.0163	6	12.2°	0.02

表2：單車運動5分鐘後，對所有測試肌肉進行線性回歸方程式來分析小波數據能量強度的變化百分比。

肌肉	常數	斜率*	p 值 < 0.05 的樣本數	最後時間點的百分比差異	p 值
臀大肌	11.0719	0.0403	6	29.5%	0.12
股直肌	11.1541	0.0585	5	39.5%	0.03
股內側肌	14.6934	-0.0083	1	-4.0%	0.36
股外側肌	13.2792	0.0118	6	5.3%	0.44
股二頭肌	11.4788	0.0210	6	14.1%	0.65
半腱肌	13.3964	0.0012	5	-1.9%	0.83
脛前肌	12.2434	0.0101	3	6.3%	0.45
內側腓腸肌	13.7409	-0.0264	6	-14.4%	0.004

研究結果顯示隨著運動時間的增加，在一個完整踏車週期內多數肌肉均存在動員時間延遲，只是不同的肌肉有著不同程度的差異。臀大肌、股直肌、股內側肌、股外側肌及脛前肌的延遲範圍為1.6°至3.8°。內側腓腸肌的最大延遲為12.2°。股二頭肌無延遲變化，但半腱肌則提早激活(表1)。儘管多數研究對象出現較大幅度的能量改變增加或減少(股內側肌及脛前肌除外)，對比時間點75及時間點1的結果，僅股直肌及內側腓腸肌有顯著的群體差異(表2)。較之受測的其他肌肉，內側腓腸肌及股直肌皆為雙關節肌肉，均對疲勞更為敏感。因此對內側腓腸肌及股直肌加強訓練可改善單車運動成績。

結論

在5分鐘最大負荷單車運動中，研究對象會交替變換肌肉募集的模式，從而將肌肉疲勞降至最低。隨著疲勞加劇，多數肌肉會出現動員延遲。研究發現內側腓腸肌及股直肌較其他受測的肌肉對疲勞更為敏感。因此加強對內側腓腸肌及股直肌的訓練可改善單車運動成績。

參考文獻

- Chapman, A.R., Vicenzino, B., Blanch, P., Knox, J.J. & Hodges, P.W. (2006) Leg muscle recruitment in highly trained cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 47(2):115-124.
- von Tscharner, V. (2000) Intensity analysis in time-frequency space of surface myoelectric signals by wavelets of specified resolution. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10:433-445.
- Wakeling, J.M., Pascual, S.A., Nigg, B.M. & von Tscharner, V. (2001) Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained sub-maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 86:40-47.
- Billaut, F., Basset, F.A. & Falgairette, G. (2005) Muscle coordination changes during intermittent cycling sprints. *Neuroscience Letters*, 380:265-269.
- So RCH, Ng JK-F, Lam RWK, Lo KK, Ng GYF (2008) EMG wavelet analysis of quadriceps muscle during repeated knee extension movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (submitted for publication).
- Li, L. & Caldwell, G.E. (1999) Coefficient of cross correlation and the time domain correspondence. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9:385-389



圖1：在5分鐘單車運動過程中，由右腿的8塊肌肉持續記錄表面肌電數據