

## 手掌熱抽離操作強化間歇運動訓練之最佳化研究

顏克典 彭薪穎 楊子毅 何柏陞

正修科技大學

### 摘要

**背景資料：**間歇訓練可以同時掌握「質」及「量」的訓練需求。其中尤以高強度間歇訓練模式最被看重，其內容通常以最大或接近最大攝氧量（>90% 最大攝氧量）運動強度，重複數秒到數分鐘的操作，並搭配適當休息及有效恢復運作。高強度運動時體內產生高熱，人體核心溫度升高，當過熱時，心臟輸出血液的20%~30%會流向皮膚，幫助身體散熱，卻導致運動肌肉群被分配的血液減少，使其肌力、耐力明顯減退，因此核心溫度將成為運動執行之限制因素，據此推估，若能適度降低運動中核心溫度，應有助運動能力表現。**研究目的：**透過室內自行車功率器間歇訓練方式，觀察訓練過程基礎生理能力的表現，以期能掌握核心溫度及間歇訓練強度間相關性；另掌握運動執行過程攝氧量及相關肌群肌氧濃度表現之變化，以了解手掌熱抽離操作後，間歇訓練過程肌氧急性變化之趨勢，以建置出有效手掌熱抽離搭配間歇訓練之操作模式。**研究方法：**9名青少年男子自由車選手（年齡：17.25(1.21)歲；身高：169(7.36)公分；體重：62(10.13)公斤）檢測最大運動能力。再執行室內自由車間歇衝刺訓練，分別執行25%、50%、75%、95% 攝氧峰值強度×運動30秒×休息90秒配合手掌操作(迅速熱量轉換系統組/常溫對照控制組)×6趟運動操作及運動後恢復執行，並同步記錄股直肌肌氧與人體攝氧量表現。**結果：**肌氧變化率與控制組比較，在50%攝氧峰值第6趟(P=.031)及75%攝氧峰值第1趟(P=.029)有顯著減少；相對攝氧量在95%攝氧峰值負荷之第1趟(P=.041)有顯著減少。**結論：**1.運用手掌熱抽離操作，降低肌肉含氧量以50%攝氧峰值強度間歇訓練後段、75%攝氧峰值強度間歇訓練前段效益較大。2.以95%攝氧峰值強度間歇訓練之初段降低攝氧量效益較大。3.結合單一手掌熱抽離降低核心溫度以75%攝氧峰值負荷強度之間歇運動為最佳化組合。

**關鍵詞：**間歇訓練、核心溫度、基礎運動能力、肌氧、攝氧量

通訊作者：顏克典 正修科技大學運動健康與休閒系 地址：833 高雄市鳥松區澄清路 840 號  
Tel：(07)7310606 轉 6001  
E-mail：ktyen@csu.edu.tw

## 壹、前言

現今的國際比賽，均強調良好的競技體能與專項能力才能在比賽中脫穎而出，基本上各類競技項目的比賽表現會隨著運動時間、環境與強度需求而不同，就競技運動而言，心肺耐力是成敗的基礎。一般心肺耐力訓練模式多採用低強度結合長時間的訓練，並配合較多次訓練週期執行。但因長時間之重覆操作，導致訓練時間之壓力，造成選手於訓練時之生、心理疲勞負擔。近來針對不同訓練操作理念的訓練法被陸續提出，其中「間歇訓練」是提昇運動員基礎與專項能力的有效訓練模式之一。Astrand 等(1960)發現間歇地進行訓練，可以同時掌握「質」及「量」的訓練需求。其中尤以高強度間歇訓練(high intensity interval training, HIIT)配屬之訓練模式最被看重，HIIT 通常以最大或接近最大攝氧量(>90% Vo<sub>2max</sub>)運動強度重複數秒到數分鐘的操作，並搭配適當休息及有效恢復運作(Gibala & McGee, 2008)。

研究指出 HIIT 可在短時間內達到與傳統耐力訓練相似的效果。但間歇訓練的高強度操作卻會對人體造成極大之生理壓力，醫學研究發現，高強度運動時體內產生高熱，人體過熱時，心臟輸出血液的 20%-30% 會流向皮膚，幫助身體散熱，這樣就會導致肌肉群分配的血液減少，使其肌力、耐力明顯減退。同時，人體的核心器官如心、肺、肝、腎、大腦等處的溫度也會升高。當器官溫度(core body temperature, T<sub>c</sub>)上升時，體溫若沒有適當調節，將造成身體發燒，而導

致身體面臨壓力與疲勞，其體力、耐力與認知功能將發生惡化之現象，損壞及影響身體器官功能及運動能力表現。而人體內 T<sub>c</sub> 提昇之壓力，亦將導致內分泌相關之壓力如皮質醇與兒茶酚胺等大量分泌，造成身體代謝及中樞之疲勞。嚴重的話恐將導致人體器官組織功能下降乃至衰竭，甚至成為使人致命的原因。

近紅外光譜 (near - infrared spectroscopy, NIRS) 是一種能穿透身體組織的連續光譜，它可根據氧合血紅蛋白、還原血紅蛋白以及肌紅蛋白等物質對近紅外線光譜吸收特性的差異，直接測量與分析局部骨骼肌氧合血紅蛋白/肌紅蛋白

(oxyhaemoglobin /myoglobin) 變化，藉以測定肌肉組織中氧含量或相對含量的一種特异性檢測方法。

綜合上述背景文獻可以發現間歇的訓練方式具有省時的優點，在短時間內能明顯地增進運動表現與提升運動能力之效果，但在急性生理變化過程，核心溫度上升之壓力將影響訓練成效。因此本研究目的擬透過室內腳踏自行車功率器間歇訓練方式，觀察基礎生理能力的表現，期能掌握運動執行過程攝氧量及相關運動肌群肌氧濃度之變化，以了解手掌熱抽離操作後，間歇訓練過程運動肌肌氧急性變化之趨勢，以建置出有效手掌熱抽離搭配間歇訓練之操作模式，以為日後實務應用之參考。

## 貳、研究方法及步驟

### 一、研究對象

本研究以 9 名青年男子自由車選手進行研究，專項運動練習年齡至少 2 年以上，本研究實驗執行期間，處於訓練周期中之季外期 (off-season)，並無體能與技術之特別強化訓練，本研究通過正修科技大學人體試驗委員會之審核，方執行實驗。每位受試者於實驗前發給受試者須知。在實驗開始前，填寫健康情況調查表，受試者必須確認無心血管病史，且避免服用心血管疾病或自主神經相關藥物，同時調查每位受試者之基本資料 (年齡、教育程度...等)、生活習慣 (吸菸、喝酒、運動...等)、身高和體重，於資料顯示身體健康狀況良好，且願意參加本研究後，才正

式成為本研究的受試者。實驗前發給每位受試者乙份受試者須知及同意書，並向受試者說明有關研究目的、過程及回答相關詢問問題，同時要求受試者在同意書上簽名，表示願意參與本實驗。測驗當日再向受試者詳述測驗程式、方法及相關細節，實驗期間隨時回答受試者的疑問。

## 二、研究期程

執行期程自 2010 年 8 月 2 日至 8 月 22 日，共 21 天。地點選在正修科大運動負荷專業教室。

研究期程	執行記要
第 0 日	受試者前置作業—各組受試者均能完全且充分掌握各組運動操作模式。實驗流程與注意事項講解、填寫受試者同意書、建立受試者基本資料。
第 1 日	<b>實驗操作效益檢驗—最大運動能力檢測</b> 檢測最大攝氧量與乳酸閾，同步紀錄股直肌肌氧、心電圖與人體攝氧量表現。
第 5-30 日	<b>實驗操作效益檢驗—間歇訓練檢測</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 執行 25%、50%、75%、95%攝氧峰值強度×30 秒×休息 90 秒配合手掌熱抽離(迅速熱量轉換系統(Rapid Thermal Exchange System)，本實驗採用迅速熱量轉換系統 (coreControl, AVAcore Technologies, Inc., U.S.A)，執行降低核心溫度操作。迅速熱量轉換系統/常溫數值對照控制組)×8 趟間歇及運動後恢復。</li> <li>■ 同步紀錄股直肌肌氧、心電圖與人體攝氧量表現。</li> </ul>

## 三、研究操作

### (一)最大運動能力測驗

本研究實驗進行時，控制室內溫度於  $21 \pm 2$  °C，相對溼度於 55-60% (CRECER, Japan)。所有受試者必須在訓練計畫執行第一日進行漸增運動負荷能力檢測，運動測驗項目包括：個體攝氧峰值與乳酸閾值 (4

mmole/L) 作功值。先用酒精擦拭受試者運動心電圖專用電極 (ARBO, Kendall, Neustadt a. d. Donau, Germany) 安裝部位，負極貼於受試者的胸骨柄上端，正極貼於左側第五肋骨和左鎖骨正中央向下垂線交點 (即 V5 位置)，將電極由導線接至心電無線電發報器，並檢視心電圖是否正確

地接收傳送的訊號，且顯示於螢幕上。以採集氣體之專用面罩（8940 Y-shape, Hans Rudolph Inc., Kansas City, U.S.A.），罩住受試者的口鼻部，將呼出的氣體透過蛇管連接到 PowerLab 心肺評估系統（ML870B80, PowerLab, ADInstruments, Australia）經氣體混合槽（mixing chamber）進行氣體混合，再採取混合氣體執行氣體分析。使用 PowerLab 心肺評估系統（ML870B80, PowerLab, ADInstruments, Sydney, Australia）配合 Metabolic 能量代謝測量系統模組（MLS240 Metabolic Module, PowerLab, ADInstruments, Sydney, Australia），用以測量心肺適能。使用前先以標準氣體（第一標準氣體內含 21.22% O<sub>2</sub>、1.04% CO<sub>2</sub>；第二標準氣體內含 15.88% O<sub>2</sub>、4.05% CO<sub>2</sub>，亞普氣體股份有限公司，台南善化，中華民國）進行校正，以確定分析 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的準確性，並進行氣體流量之校正和相關系統參數之設定。

基礎檢測是常用來測量最大攝氧量與乳酸閾值的檢測方式，本研究以漸增運動形式執行測驗。受試者在 5 分鐘的熱身後，依據世界衛生組織建議的連續性漸增運動負荷模式，在室內自行車功率器上進行測驗（cyclus2 record trainer, h/p/COSMOS, Nussdorf-Traunstein, Germany），使用前依操作規範進行阻力與速度之校正。測驗開始時的強度設定為 100 瓦特（Watt, W），踩踏轉速 70-80 轉/分，持續 3 分鐘，爾後每 3 分鐘增加 50 W 直至受試者衰竭為止，其間每級負荷需間隔 30 秒，以供採取耳血樣本進行血乳酸濃度分析。

攝氧峰值（peak oxygen intake, VO<sub>2</sub>peak）是指個體從事最激烈的自行車功率器運動時，細胞組織所能消耗或攝取氧氣量的最大峰值。進行最大運動能力測驗時，受試者在自行車功率器上運動時，以口罩將受試者呼出的氣體先經氣體混合槽（mixing chamber）進行氣體混合，再採取混合氣體執行氣體分析。全部測驗過程每 10 秒分析和記錄一筆數據資料，分析項目包括：每分鐘攝氧量及每分鐘心跳率。另分析每級負荷結束時及心肺耗竭後恢復期第 1、3、5 分鐘的血乳酸濃度，供乳酸閾值作功值分析。

## （二）乳酸閾值作功值分析

自 Hollmann (1981) 以換氣轉折點作為無氧閾值的評價開始，就開啟了以無氧閾值作為研究與訓練應用的序幕。先後有 Mader 等 (1986)、Stegmann 等 (1981) 的理論提出。經過多年的討論與訓練上的應用，最後以 Mader 等 (1986) 所提出 4 mmole/L 乳酸閾值作功值，最具實用性且方便測試，本實驗據以作為訓練效果的評價指標。分析測驗血乳酸與血糖值 (Biosen\_C\_line Clinic, Germany)，達乳酸閾值時，其相對的運動強度，為有氧代謝轉入無氧代謝的運動強度臨界點，可作為運動選手基本體能訓練時的重要指標，以及擬定運動訓練強度之基礎依據。本研究乳酸閾值分析，採用德國 Para-analysis 分析軟體 (Para-analysis, h/p/COSMOS, Nussdorf-Traunstein, Germany)，依據 Mader 與 Heck (1986) 所提出的血乳酸濃度與負荷功率轉換法 (transformation) 進行乳酸閾值作功值的判定。

### (三) 肌氧監測

依照近紅外光譜測定技術，即利用肌肉中還原血紅蛋白、還原肌紅蛋白和氧化血紅蛋白

(Oxy-hemoglobin, HbO<sub>2</sub>)、氧化肌紅蛋白(Oxy-myoglobin, MbO<sub>2</sub>)具有不同吸收率的特點，將兩種不同波長的光射入體內組織，檢測透射或反射信號，利用雙波長比爾定律解算出肌組織氧含量的相對水準。本實驗採用連續雙波長檢測系統肌氧檢測儀器

(TSAH-100 NIRS, China)，儀器由主單元、光探頭組成，將光探頭放置在受試者右腿股直肌的肌腹中段，光源和檢光器件的軸線平行於大腿肌肉方向。光探頭用肌內效貼布較鬆地貼縛在大腿上，需防止漏光和運動時光源移動，又要避免造成局部缺血。

### 四、統計分析與資料處理

本研究以 SPSS for Windows 套裝軟體 10.0 版進行統計分析，所有數據以平均值(標準差)表示。檢測過程檢測運動過程攝氧量及肌氧變化之各項數據，以獨立樣本單因子單共變量變異數分析 (analysis of covariance; ANCOVA) 來考驗實驗操

作介入的效果。以各組前測值為共變數，後測值為依變項，組別為自變項固定因子，先進行組內迴歸係數同質性 (homogeneity of within-class regression coefficient) 考驗，若兩組斜率相同則可進行共變數分析 (若斜率不同則單獨比較)，若 F 值達到統計學上之顯著水準，則進行兩組調整後之平均數 (adjusted means) 比較與 LSD 事後比較之統計處理。以單因子變異數分析 (one-way analysis of variance) 考驗不同組別 (獨立樣本) 在不同操作後之各項數據變化率，若組間作用達顯著水準，則進行 LSD 事後比較之統計處理。以 Pearson 相關分析考驗不同實驗介入下，間歇訓練模式與生理參數表現之相關特性。本研究顯著水準  $\alpha$  值定為 .05。

## 參、結果

### 一、受試者基本資料

本研究以 9 名青年男子自由車選手為受試對象，訓練前、後基本資料列於表 1，因僅四週實驗過程，因此對受試者基本資料應無顯著影響。

表 1 受試者基本資料

項目	單位	受測者
人數	位	9
年齡	歲	17.25(1.21)
身高	cm	169(7.36)
體重	kg	62(10.13)
絕對攝氧量	L/min	3.3(0.6)
相對攝氧量	mL/min/kg	54 (15)
乳酸閾值肌氧變化值	肌氧飽和度差/秒	585.42(111.64)
乳酸閾值作功值	W	204.08(40.83)

二、手掌熱抽離配合室內自由車功率器間歇訓練過程之同步運動肌肌氧濃度變化

表 2 不同最大攝氧量負荷強度間歇訓練過程股四頭肌肌氧變化率(%)表現

組別	趟數	25%	50%	75%	95%
實驗組 (%)	1	-8.1 (5.2)	-9.6 (4.6)	-12.2 (6.0) *	-10.9 (5.6)
	2	-7.9 (4.6)	-10.9 (4.4)	-10.5 (8.0)	-11.1 (4.7)
	3	-11.2 (7.8)	-13.4 (3.2)	-12.8 (9.3)	-12.1 (4.1)
	4	-13.7 (8.1)	-15.1 (4.5)	-14.3 (3.7)	-12.4 (9.3)
	5	-16.1 (7.4)	-17.3 (6.4)	-19.5 (4.3)	-16.1 (8.1)
	6	-20.0 (6.5)	-20.2 (7.5) *	-21.9 (7.3)	-19.7 (9.4)
控制組 (%)	1	-6.1 (5.0)	-7.3 (4.0)	-7.1 (4.3)	-9.5 (4.4)
	2	-9.4 (4.6)	-12.4 (6.7)	-11.8 (4.9)	-12.8 (4.6)
	3	-11.6 (4.7)	-15.7 (8.9)	-13.3 (4.9)	-15.7 (4.0)
	4	-14.0 (3.5)	-18.5 (7.6)	-18.2 (6.4)	-18.1 (4.5)
	5	-18.0 (4.6)	-23.1 (7.5)	-21.2 (6.4)	-21.3 (5.5)
	6	-20.8 (3.8)	-28.2 (7.9)	-26.2 (9.1)	-25.1 (7.4)

註：1.統計數值以平均值(標準差)表示。 2. \*：p<.05，與同操作趟數控制組比較。

本研究探討手掌熱抽離配合室內自由車功率器間歇訓練過程中，同步運動肌肌氧濃度之變化，比較結果指出(表 2)：50%PI-6 股四頭肌肌氧的變化百分比與同操作控制組兩個樣本的平均數各為-2.82 與-2.02，兩個樣本的相關高達 0.291。此一組樣本的檢定的 t 值為-2.67，顯著性為 0.031，考驗結果達顯著，表示出 50%最大攝氧負荷強度股四頭肌肌氧的第 6 趟肌氧變化百分比有顯著的不同。從樣本平均數大小可以看出，實驗組的變化百分比(-20.2%)較控制組(-28.2%)為優，顯示出使用實驗組的介入產生顯著性。

75%PI-1 股四頭肌肌氧變化百分比兩個樣本的平均數各為(-12.1%)與(-7.1%)，兩個樣本的相關高達 0.432。此一組樣本的檢定的 t 值為

2.659，顯著性為 0.029，考驗結果達顯著，表示出 75%PI-1 股四頭肌肌氧變化百分比有顯著的不同。從樣本平均數大小可以看出，實驗組的變化百分比(-12.1%)較控制組(-7.1%)為優，顯示出使用實驗組的介入產生顯著性。

手掌熱抽離配合室內自由車功率器間歇訓練過程之同步體內攝氧量變化，本研究探討手掌熱抽離配合室內自由車功率器間歇訓練過程中，同步體內攝氧量之變化結果比較指出(表 3)：兩個樣本的平均數各為 2.92 與 2.22，兩個樣本的相關高達 0.485。此一組樣本的檢定的 t 值為 2.431，顯著性為 0.041，考驗結果達顯著，表示出 95%PI-1 攝氧量變化百分比有顯著的不同。從樣本平均數大小可以看出，實驗組的變化百分比(-12.1%)較控

制組(-7.1%)為優，顯示出實驗組的介 性。

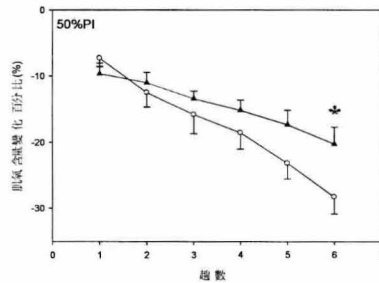
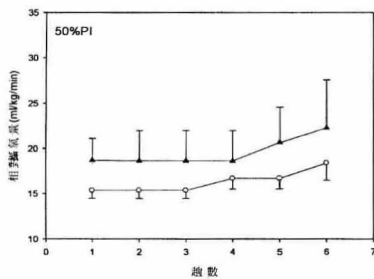
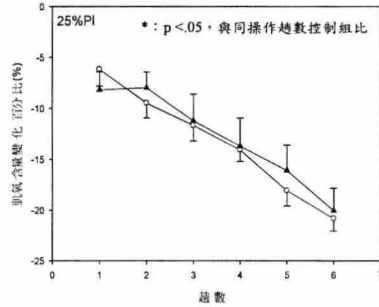
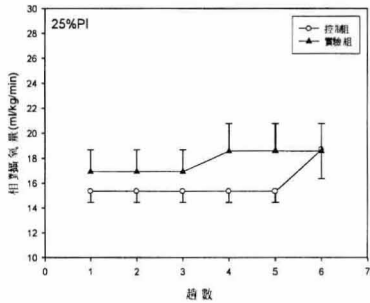
入造成攝氧量變化百分比產生顯著

表 3 不同最大攝氧量負荷強度間歇訓練過程相對攝氧量變化率(%)表現

組別	趟數	25%	50%	75%	95%
實驗組	1	17.2 (4.9)	17.2 (6.7)	17.2 (6.5)	29.1 (7.5) *
	2	17.2 (4.9)	19.1 (9.4)	19.4 (8.5)	31.2 (11.4)
	3	17.2 (4.9)	19.1 (9.4)	19.4 (8.5)	31.2 (12.3)
	4	19.0 (6.1)	19.1 (9.4)	21.1 (8.3)	36.1 (7.6)
	5	19.0 (6.1)	21.3 (10.9)	21.1 (8.3)	38.0 (7.9)
	6	19.0 (6.1)	23.2 (14.8)	27.5 (12.8)	38.0 (7.9)
控制組	1	15.4 (2.6)	15.4 (2.6)	15.4 (5.6)	21.2 (8.4)
	2	15.4 (2.6)	15.4 (2.6)	15.4 (5.6)	21.8 (13.1)
	3	15.4 (2.6)	15.4 (2.6)	15.4 (5.6)	28.7 (10.6)
	4	15.4 (2.6)	16.9 (3.4)	15.4 (5.6)	30.5 (11.6)
	5	15.4 (2.6)	16.9 (3.4)	17.6 (8.3)	34.9 (10.3)
	6	17.2 (6.7)	16.9 (5.6)	24.0 (12.8)	34.9 (10.3)

註：1.統計數值以平均值(標準差)表示。

2. \* :  $p < .05$ ，與同操作趟數控制組比較。



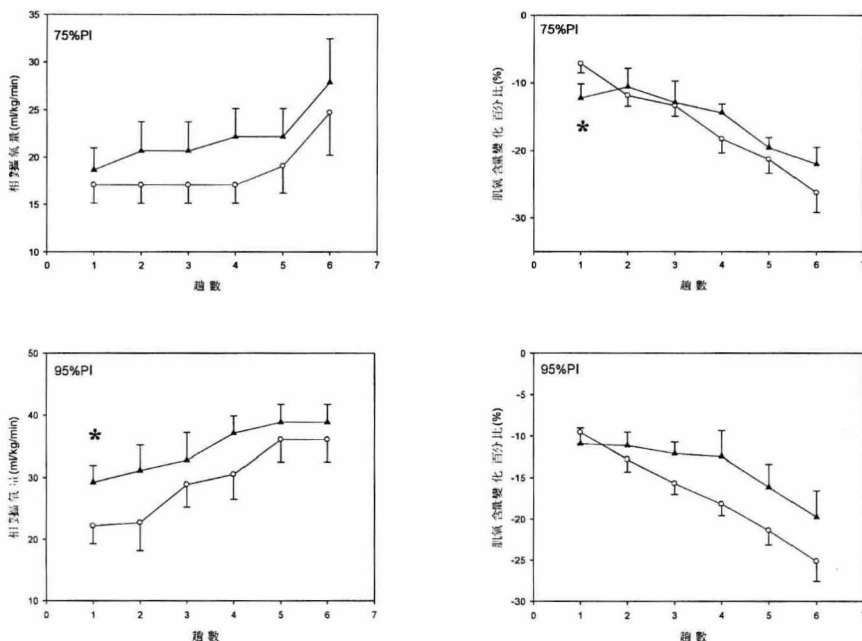


圖 1 手掌熱抽離配合自行車功率器間歇訓練同步運動肌肌氧與攝氧量之變化趨勢

從圖 1 亦可看出股四頭肌肌氧變化 50%PI-6 與 75%PI-1 呈現顯著差異，可看出兩者間最佳化之效益的存在；另攝氧量分別在 95%PI-1 呈現顯著差異，其它各強度各階段均呈現顯著性，亦可看出兩者最佳效益之時程點。

綜合手掌熱抽離配合不同強度之間歇訓練組合運作之最佳化間歇訓練配套模組彙整

使用降溫操作，可看出攝氧量實驗組均較控制組提昇，且直到 95%PI 組可以看出二組間落差由大到小，其中後段線移所表現出與其它強度相同之趨勢。而肌氧則呈現下降延遲趨勢，尤以 50%PI 二線落差區是最大，75%PI 組次之。

## 肆、討論

在高強度運動中，因核心溫度提昇將導致運動能力受限制或延後恢復，當人體產生過多熱能時，大量的血液會流向皮膚將熱能排出體外。而手掌的血管分散結構為人體最佳的散熱幅射器。CoreControl™冷卻系統利用此原理，將冷水灌流至真空狀態下的金屬圓柱體而形成冷卻循環狀態，藉由人體的血液循環，高溫血液流向手裡，只須將手掌握住金屬圓柱體，冰冷的金屬圓柱體可以使手掌高溫的血液迅速降溫，真空壓力則可以增加血液流向手掌，冷卻後的血液循環回流到心臟，進而分散到身體重要部位，使全身的血液降溫，達到散熱作



用(Thomas, Michael, Tulia, Andrew & Torranu, 2009)。CoreControl™提供了一個革命的技術 RTX: Rapid Thermal Exchange System 迅速熱量轉換系統及新穎的方式來控制調整人體合心溫度，並加速人體自然散熱過程。相較於傳統降溫方式：如風扇、冰袋、冷水、、、等傳統降溫方式，只是運用在皮膚表面，只能使身體局部表面溫度暫時下降，且局部的冰敷會造成血管組織閉合，無法將體熱排出體外，故不能迅速有效率的降低「人體器官核心溫度」。因此針對運動應用方面，若能保持適當的體溫，將有利於達到最佳的肌肉表現，使更多血液運送氧氣以及營養素，提供肌肉運作之需，並促進新陳代謝，可迅速恢復運動員的自然生理狀態，就可延長訓練時間或增加訓練次數。

間歇訓練之所以被稱為間歇，因為訓練方式是斷斷續續的，不是持續性的，運動和運動中間有休息，休息與休息中間做運動(林正常, 1986)。間歇訓練是德國的 Woldemar Gerschler 醫生於 1930 年所創造，他的前提是一位運動員可以在更多的強度層級運動。間歇訓練包含高強度運動期間(稱為作用強度)和較低強度期間(稱為休息與緩和間歇)交替，間歇訓練介於有氧和無氧系統兩者之間，間歇訓練為了提高運動表現在運動中走走停停，因為它非常接近模擬心臟和肌肉必須作用的方法。Tamaki 等(1994)研究前臂肌 10 次重複最大力量上舉運動，結果發現肌氧下降量與前臂肢段血流增加量呈反比，顯示收縮肌肉之血液灌注受限與缺氧的狀態呈現相關，當運動間隔時間過短，

會導致運動過程中，肌肉因恢復不及而持續缺氧，突顯訓練配套應強調適宜的高負荷和重複間隔時間性。

「間歇訓練」是提昇運動員基礎與專項能力的有效訓練模式之一。Astrand 等學者(1960)便已發現間歇地進行訓練，可以同時掌握「質」及「量」的訓練需求。其中尤以高強度間歇訓練(high intensity interval training, HIIT)配屬之訓練模式最被看重，HIIT 通常以最大或接近最大攝氧量( $>90\% \text{VO}_{\text{max}}$ )運動強度重複數秒到數分鐘的操作，並搭配適當休息及有效恢復運作(Gibala & McGee, 2008)。研究指出 HIIT 可在短時間內達到與傳統耐力訓練相似的效果。但間歇訓練的高強度操作卻會對人體造成極大之生理壓力，醫學研究發現，高強度運動時體內產生高熱，人體過熱時，心臟輸出血液的 20%-30%會流向皮膚，幫助身體散熱，這樣就會導致肌肉群分配的血液減少，使其肌力、耐力明顯減退。同時，人體的核心器官如心、肺、肝、腎、大腦等處的溫度也會升高。當器官溫度(core body temperature,  $T_c$ )上升時，體溫若沒有適當調節，將造成身體發燒，而導致身體面臨壓力與疲勞，其體力、耐力與認知功能將發生惡化之現象，皆會損壞及影響身體器官功能及運動能力表現。

Chance 等(1992)首先於將近紅外線光譜分析技術應用到運動訓練中，透過研究優秀划船運動員股四頭肌運動後氧解離的恢復趨勢，發現輸出功率小，則肌氧的恢復時間的斜率亦小；當輸出功率達 85%-100%最大自主收縮(Maximum voluntary

contraction, MVC) 時兩者呈指數關係。Quaresima 等(1999)研究了100公尺跑時股直肌、腓腸肌和脛骨前肌的肌氧動力學變化,3組肌群具有不同的肌氧代謝模式,腓腸肌顯示了最高水準的氧解離趨勢,此有助於指導訓練時之效應掌握。Tamaki 等(1994)研究前臂肌10次重複最大力量上舉運動,結果發現肌氧下降量與前臂肢段血流增加量呈反比,顯示收縮肌肉之血液灌注受限與缺氧的狀態呈現相關,當運動間隔時間過短,會導致運動過程中,肌肉因恢復不及而持續缺氧,突顯訓練配套應強調適宜的高負荷和重複間隔時間性。

近紅外光譜 (near - infrared spectroscopy, NIRS), 直接測量與分析局部骨骼肌氧合血紅蛋白/肌紅蛋白(oxyhaemoglobin /myoglobin) 的變化,來測定肌肉組織中氧含量或相對含量的一種特異性檢測方法,由於其透過連續檢測運動骨骼肌內的光譜吸收變化,可以觀察工作肌氧供應與消耗變化,具有連續、即時之動力學特徵(Bae, Hamaoka, & Katsumura, 2000),可廣泛用於測量運動時運動肌與血容量肌氧含量的改變,客觀估測運動肌的有氧代謝狀況。經由本研究結果可知不同強度使用降溫介入操作使肌氧之下降率減緩,亦即可減少肌肉耗氧狀況。經由本次研究突顯使用降溫操作確實可以提升運動肌肌氧量,且在任何強度下均相同,唯可能因降溫操作介入之劑量過小或運動強度分割負荷差距仍大,無法確切地完全掌握最佳化運動強度值,但可觀察出影響肌氧最大的區塊當在於50%至75%攝氧峰值運動強度之間。

肌氧反應運動時局部骨骼肌氧含量的變化,亦反應系統代謝機能的相關程度,由於,血乳酸濃度是運動生理中的一個重要參數,在運動訓練中可作為檢測運動水準及制定訓練計劃的重要指標。Miura 等(2000)以自行車功率器分別執行50W,100W,150W,200W,250W 踩踏6分鐘,踩踏為每分鐘60圈,同時用測定股外側肌肌氧的變化、血乳酸與氣體交換的變化。研究學者以安靜時肌氧含量作為基礎,發現強度為50W與100W穩態運動時,5分30秒至6分鐘階段氧的均值與安靜時相比,並無明顯變化;150W時有輕微的下降;而200W與250W強度運動時,肌氧與安靜狀況相比呈明顯下降。肌氧變化趨勢與乳酸的變化明顯相關。由於150W強度約為乳酸開始出現陡升拐點的強度,因此連結「乳酸閾」(Lactate threshold, LT)強度理論,乳酸濃度升高是提供了促進氧解離的重要依據,也說明了透過肌氧測試LT有其可行性。Ding 遞增負荷研究指出LT前肌氧變化趨勢呈平緩下降,達LT後則迅速下降(Ding, Wang, & Lei, 2001)。

另外,透過氣體代謝之攝氧量參數亦可反應肌肉活動和具為利用氧氣能力的指標。Kawaguchi 等(2001)以10名健康男性在自行車功率器上執行遞增負荷運動研究,期能了解局部骨骼肌的肌氧變化與身體利用氧的相關性,結果發現攝氧量與肌氧呈負相關,與氧解離呈正相關,顯示周邊肌群之氧動力學變化可反應身體氧利用的趨勢。Bae 等(2000)對比了超大強度與間歇划船運動時的攝氧量與肌氧的變化,發現Wingate實驗中肌氧

的下降率與最大攝氧量呈高相關，肌氧與心率表現都亦呈高度相關。Van Beekvelt 等(2002)研究股外側肌肌氧與動靜脈氧差濃度的關係，發現在4個不同強度的持續穩定運動中，肌氧的下降與動靜脈氧差的提升呈高相關，運動強度增加時運動肌肌氧恢復速率亦提昇。

最大攝氧量反應氧運轉能力(包括：心輸出量、血紅蛋白、毛細血管密度)和肌肉對養的吸收、利用能力，是判斷運動員有氧代謝能力的重要依據。身體攝取和利用氧氣的能力越強，最大攝氧量越大，有氧代謝能力越好。Delorey 等(2003)研究了中等強度穩定運動時，攝氧量達到穩態的延遲時間與去氧延遲時間的關係，發現攝氧量的延遲時刻明顯大於去氧延遲時間，局部氧解離量比攝氧量提升快，顯示局部耗氧調控在運動初期的適應過程，為先由加大局部動靜脈氧差營造，然而局部血液灌流和氧氣輸送的增加與組織代謝並無等量變化，運動肌耗氧增加使人體對氧的需求增加，進而導致攝氧量增加。

高強度的間歇訓練可改善心肺適能，增加每跳輸出量、降低安靜心跳率、降低安靜時血壓、增加紅血球數、增加運動中的最大心跳率及降低穩定狀態下的非最大運動心跳率等，當非最大運動後之心跳率，會較快恢復至安靜心跳率。心肺適能會影響選手速度之表現，且與比賽成績呈現正相關，故心肺適能強可有效縮短比賽時間。自由車運動在激烈的間歇訓練後，心跳率可達最大心跳之90%以上，故運動表現水準會受到心跳率的影響。在比賽或訓練階段，若心跳率下

降越快，則心肺適能表現愈好，速度穩定性也會相對提升。經由本研究結果可知不同強度使用降溫介入操作使攝氧量之下降率減緩，亦即可減少身體代謝耗氧狀態。攝氧量僅95%攝氧峰值組之第一階段有顯著差異，對於其他則無顯見，在其它強度所營造之攝氧量差異並不大，可能因刺激不足或累積差異不大之故。

最大攝氧量涉及到呼吸、循環、血液、肌肉等多個環節，而肌氧含量的相對有效下降率主要反應局部組織的氧化代謝能力，表現出身體整體與局部的差異。研究顯示(Ding, Wang, & Lei, 2001)，優秀運動員每公斤體重的心臟容積和最大吸氧量等指標並無明顯變化，顯示其競技能力提高的主要因素不在於呼吸與循環系統功能的改善，而是提高骨骼肌代謝能力。由於肌細胞種類、粒線體數量和其內在氧化酶的活性限制對氧的利用立，週邊肌肉氧利用能力乃成為最大攝氧量的重要限制因素。肌肉的有氧代謝能力的高低直接影響最大攝氧量的表現水準。肌肉對氧的代謝能力越強，局部組織氧的利用將越加充分。因此，肌氧含量的相對有效下降值與最大攝氧量存在高度相關性，可以間接反應運動員的氧化代謝能力的高低，可作為評價運動能力的有力依據。

透過氣體代謝之攝氧量參數亦可反應肌肉活動和具為利用氧氣能力的指標。Kawaguchi 等(2001)以10名健康男性在自行車功率器上執行遞增負荷運動研究，期能了解局部骨骼肌的肌氧變化與身體利用氧的相關性，結果發現攝氧量與肌氧呈負相關，與氧解離呈正相關，顯示周邊肌群之氧動

力學變化可反應身體氧利用的趨勢。Bae 等 (2000) 對比了超大強度與間歇划船運動時的攝氧量與肌氧的變化, 發現 Wingate 實驗中肌氧的下降率與最大攝氧量呈高相關, 肌氧與心率表現都亦呈高度相關。Van Beekvelt 等 (2002) 研究股外側肌肌氧與動靜脈氧差濃度的關係, 發現在 4 個不同強度的持續穩定運動中, 肌氧的下降與動靜脈氧差的提升呈高相關, 運動強度增加時運動肌肌氧恢復速率亦提昇。

有關刺激不足推測在 HIIT 前兩趟應可觀察出, 因運動負荷要達到身體之攝氧量變異, 需累積足夠刺激變異量, 然而當前兩趟實施完畢, 因整體性耗氧仍未達刺激閾值, 故不產生差異, 然而自第二趟至第六趟仍無差異, 研究推測為已超過整體性作用閾值, 而造成即使操作介入亦無法產生相對之差別。至於肌氧因為局部性代謝反應之故, 當執行 25% 低階負荷時, 手上降溫操作作用所營造生理效益, 可能對於運動肌而言尚未造成顯著性差異, 故延遲到 50%PI-1, 由於分析作用與偵測部位之差距, 造成效果未即時顯現, 待 50%PI-6 時, 因介入作用量與累積運動功量間達調合效果, 故可產生介入之效益, 觀察 75%PI-1 作功量之操作亦有相同概念; 待 95%PI-1 即啟動肌肉已達相當活化之刺激效益, 故肌氧之變化亦無偵測出操作介入之差別。根據以上操作與檢測, 本研究團隊認為攝氧量因涉及全身整體性代謝之啟動, 屬全身性代謝範疇, 故啟動速度較慢, 但一經啟動後即達相當強度水準, 故針對攝氧量之偵測並無顯著性差異, 推測可能因

不同強度初階時, 控制組與實驗組二者均未啟動達活化效果, 但中後段因代謝累積迅速, 活化超過運動活化臨界閾值, 造成均無差異之結果; 而 95%PI-1 因自安靜經操作介入後再運動, 身體代謝因負荷高且已然活化, 但仍處活化上升過程未達閾值水準, 故可偵測出差異, 但旋即因高強度負荷代謝而導致介入無效之結果。至於肌氧則因偵測局部區域反應較為靈敏, 故累積活化效益即可表現降溫操作介入之效果, 當持續累積運動效果達 50%PI-6 與 75%PI-1 時即表現介入成效, 然而一旦超越臨界閾值, 介入效果又不復存在, 故最佳化之訓練強度, 就局部區域而言應介於 50% - 75%PI 水準; 而全身代謝狀況, 應需累積達 75%PI-6 至 95%PI-1 之強度水準, 其效益方能表現。

## 伍、結論與建議

### 一、結論

針對肌肉含氧量以 50% 攝氧峰值強度間歇訓練後段、75% 攝氧峰值強度間歇訓練前段效益較大。攝氧量以 95% 攝氧峰值強度間歇訓練之初段效益較大。

結合單一手掌熱抽離降低核心溫度以 75% 攝氧峰值負荷強度之間歇運動為最佳化組合。

### 二、建議

本次研究突顯使用降溫操作確實可以提升運動肌肌氧量, 且在任何強度下均相同, 唯可能運動強度分割負荷差距仍大, 無法確切地完全掌握最佳化運動強度值, 建議未來能針對訓練之強度調整進行研究。

研究突顯使用降溫操作確實可以

提升運動能力，唯可能因降溫操作介入之劑量過小，無法確切地完全掌握最佳化運動強度值，建議可增加降溫之劑量，尋求最佳化運動強度值。

本研究因運動負荷要達到身體之攝氧量變異，需累積足夠刺激變異量，且肌氧因為局部性代謝反應之故，介入作用量與累積運動作功量間須達調合效果，因此建議未來可針對訓練之強度及趟數調整增加。

間歇訓練可以增進乳酸系統能力，而本研究無針對乳酸系統與降溫操作之相關性，建議未來研究可增加乳酸系統檢測作為研究項目。

#### 致謝

感謝行政院國家科學委員會對於本研究之經費補助 96-2413-H-230-003-

#### 參考文獻

- Astrand, I., & Astrand, P.O., & Christensen, E.H., & Hedman, R. (1960) Intermittent muscular work. *Acta physiologica Scandinavica*, 25, 48:448-453.
- Bae, S.Y., & Hamaoka, T., & Katsumura, T., & Shiga, T., & Ohno, H., & Haga, S. (2000). Comparison of muscle oxygen consumption measured by near infrared continuous wave spectroscopy during supramaximal and intermittent pedalling exercise. *International journal of sports medicine*, 21(3), 168-174.
- Chance, B., & Dait, M.T., & Zhang, C., & Hamaoka, T., & Hagerman, F. (1992) Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *The American journal of physiology*, 262 (3 Pt 1), C766-775.
- Ding, H., Wang, G., Li, Wang, R., Xia, W.Q. and Wu, J. (2001) Non-invasive quantitative assessment of oxidative metabolism in quadriceps muscles by near infrared spectroscopy. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 158-159.
- Delorey, D.S., Kowal, J.I., Paterson, D.H. (2003). The relationship between pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics and muscle deoxygenation during moderate intensity. *J Appl physiol*, 78, 138-146.
- DeLorey, D., J. Kowalchuk, et al. (2003). "Relationship between pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics and muscle deoxygenation during moderate-intensity exercise." *Journal of applied physiology*, 95(1), 113.
- Dennis A. Grahn, Pinh H. Cao, and Heller H. Craig (2005) Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *Journal of applied physiology*, 99, 972-978.
- Grassi, B., & Quaresima, V., & Marconi, C., & Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999) Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental

- exercise. *Journal of applied physiology*, 87(1), 348-355.
- Gibala MJ, McGee SL. (2008) Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exercise and sport sciences reviews*, 36(2), 58-63.
- Hollmann, W., Liesen, H., Rost, R., Heck, H. & Aktuelle, G. (1981) The behavior of the physical performance capacity and the trainability of the cardio-pulmonary system in elder persons. *Aktuelle gerontologi*, 11(3), 91-95.
- Jobsis ,F.F.(1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 23, 198(4323), 1264-1267.
- Kawaguchi ,K.,& Tabusadani, M.,& Sekikawa, K.,& Hayashi, Y.,& Onari, K.(2001) Do the kinetics of peripheral muscle oxygenation reflect systemic oxygen intake? *European journal of applied physiology*, 84(1-2), 158-161.
- Mader,R.S.,&Heck,H.(1986).A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". *International journal of sports medicine*,7 Suppl 1,45-46.
- Miura, H., Araki,H., Matoba, H. (2000). Relationship among oxygenation, myoelectric actiPIty , and lactic acid accumulation in vastus lateralis muscle during exercise with constant work rate. *International journal of sports medicine*, 21, 180 - 184.
- Pictoria G, Michelle S., Craig B, Greg A., and Keith T.( 2008)The effectiveness of hand cooling at reducing exercise-induced hyperthermia and improving distance-race performance in wheelchair and able-bodied athletes. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 105, 37-43.
- Quaresima, V., Ferrari, M., Ciabattoni, M.( 1999). Oxygenation kinetics of different leg muscle groups measured during a 100m sprint run by a portable near - infrared photometer. *Itaianl journal of sports sciences* , 6, 20-23.
- Rodas, G, J. Ventura, et al. (2000). "A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism." *European journal of applied physiology*, 82 (5), 480-486.
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports medicine*, 2(3), 160-165.
- Tamaki ,T., &Uchiyama, S.,& Tamura, T.,& Nakano ,S.(1994) Changes in muscle oxygenation during weight-lifting exercise. *European*

journal of applied physiology and  
occupational physiology, 68(6),  
465-469.

Thomas B.W, Michael F. Z, Julia N. M,  
Andrew R. C, and Torrance D.  
N.(2009) Is performance of  
Intermittent Intense Exercise  
Enhanced by Use of a  
commercial palm cooling device?  
Journal of strength and  
conditioning research, 23(9),  
2666-2672.

Van Beekvelt ,M.C.,& Van Engelen,  
B.G.,& Wevers, R.A.,& Colier,  
W.N.(2002) In vivo quantitative  
near-infrared spectroscopy in  
skeletal muscle during  
incremental isometric handgrip  
exercise. Clinical physiology and  
functional imaging, 22(3),  
210-217.