

## 無氧閾值能力對舉重選手專項力量耐力之關係

陳德盛<sup>1\*</sup>、張嘉澤<sup>1</sup>、陳佳慧<sup>2</sup>、蔣明雄<sup>3</sup>

### 摘要

**目的：**探討大專男子舉重選手無氧閾值能力對專項力量耐力後乳酸形成率之關係。**方法：**受試者為 6 名男性大專舉重選手（年齡  $21.3 \pm 1.9$  歲、身高  $171.6 \pm 4.8$  cm、體重  $84.6 \pm 11.8$  kg、訓練年數  $7.8 \pm 3.2$  年），依序接受（一）漸增腳踏車有氧-無氧閾值測試、（二）最大力量（1-Repetition, 1RM）測試、（三）四組專項上、下肢力量耐力負荷（上肢：仰臥推舉、下肢：後蹲舉）。運動負荷中，紀錄心跳、運動時間和血乳酸，數據以重複量數單因子變異數分析、皮爾遜積差相關進行分析。**結果：**有氧閾值(aerobic threshold, AeT) 與無氧閾值 (anaerobic threshold, AnT) 功率和心跳分別為 AeT:  $70.2 \pm 31.0$  watt,  $114.1 \pm 16.0$  bpm ; AnT:  $151.5 \pm 27.4$  watt,  $155.0 \pm 18.3$  bpm。上肢與下肢專項力量耐力負荷後，上、下肢負荷心跳（上肢+10 bpm , $p > .05$ ；下肢+18 bpm , $p < .05$ ）與乳酸（上肢+3.4 mmol/l,  $p < .001$ ；下肢+4.6mmol/l,  $p < .001$ ）第四組相較於第一組負荷顯著增加。AeT 輸出功率 (Watt) 與下肢專項負荷乳酸形成率為顯著負相關（上肢  $r = -0.7$ ,  $p > .05$ ；下肢  $r = -0.8$ ,  $p < .05$ ）。AnT 與上肢負荷最大心跳呈正相關趨勢 ( $r = 0.6$ ,  $p > .05$ )。**結論：**大專男子舉重選手專項力量耐力負荷之有氧-無氧閾值能力（輸出功率與心率）與專項測試乳酸形成率與下肢心跳反應具有相關性，專項力量耐力負荷後，上肢與下肢乳酸及心跳反應，隨組數增加而上升，有較佳的閾值水平有助於降低訓練與比賽的生理壓力。

**關鍵詞：**專項測試、力量耐力、有氧閾值、恢復

1\*國立體育大學競技學院競技與教練科學研究所(通訊作者:960208@gmail.com)

2 運動能力診斷與訓練調整中心

3 國立體育大學陸上技術學系

## 壹、問題背景

1980 年代初期至今，舉重項目一直是我國奪牌主要項目之一，舉重(weightlifting)自現代奧運第一屆即列為正式項目，是透過體重分級呈現力量與速度的運動，比賽內容至 1973 年後，限定為雙手抓舉(snatch)與雙手挺舉(clean and jerk)兩種動作，亦稱奧林匹克舉重(olympic weightlifting)。規則上每位選手各有三次抓舉與挺舉的機會，以兩項動作總和最重者獲勝；其中，試舉重量是由輕者、次數低和選手號碼依序開始，依據選手每次試舉重量的差異而有不同的等待時間。當抓舉比賽完後，依規定給予 10 分鐘休息暖身即準備進行挺舉賽事 (International Weightlifting Federation, 2015)。舉重表現除追求最大力量與速度展現外，在每次試舉間，身體若能有快速地恢復能力，將有助於維持生理上的穩定，維持運動表現。過去對於舉重研究著重於舉重動力學與最大力量發展上，然而研究指出，高強度與長時間及大量的訓練、高阻力負荷或比賽都會造成神經肌肉疲勞(neuromuscular fatigue)，從而降低、瞬發力與力量表現(Gibson & Edwards, 1985; Twist, Waldron, Highton, Burt, & Daniels, 2010)。舉重訓練包含專項性、超負荷與多樣性三種(Garhammer & Takano, 2003)。現況觀察，目前國內訓練多以專項訓練為主軸。Wu, Hung, Wang, and Chang (2008)指出，選手每週訓練量約 29-190 公噸，這重量差異在於訓練週期的階段與目的而有不同的設定，排除該研究賽後恢復期的數據，選手的日訓練量可能需舉起約 15-30 噸的重量。每次訓練間，選手會隨著試舉的反覆次數(Repetition maximum, RM)增加，而增加身體代謝物質堆積(例：乳酸、肌酸激酶等)，這意味著選手需要更長的恢復時間(Minigalin et al., 2001; Rogatzki, Wright, Mikat, & Brice, 2014)。然而有氧閾值越佳也可代表乳酸最佳移除速率的能力(McLellan & Skinner, 1982)，可使肌肉具較佳氧化能力，能快速提高 PCr 的恢復(Yoshida & Watari, 1993)。由此可得知，有較佳的有氧能力，有助於降低訓練與比賽時的生理負荷，使選手能在訓練與比賽時，能夠維持較佳的生理狀態。

無氧閾值檢測(anaerobic threshold assessment)是一種可透過漸增式跑步、腳踏車和游泳等方式評估個人閾值能力的檢測方式，眾多研究證實與最大攝氧量測試具有高度相關性(Fernandes, Sousa, Machado, & Vilas-Boas, 2011)，並能以團體方式同時施測，因此更具有實際應用性。1960 年代以來即有眾多針對有氧與無氧能力的分析方式加以探討並應用至實際訓練之中，Hollmann et al. (1987) 以大量競技運動員藉由跑步與腳踏車進行有氧-無氧閾值檢測，制定出運動員有氧和無氧閾值的基本閾值運動水準 (含跑步速度、腳踏車功率及閾值心跳範圍)，目的讓教練與選手能藉由相同檢測流程判斷選手閾值能力的差異，作為教練判斷與訓練調整的依據。當選手具備較高的有氧及無氧閾值能力，這能反應出選手具備較穩定的運動表現、以及能延後疲勞的產生、較高的攝氧量與較快的乳酸排除率 (Hoff, 2005; Veale & Pearce, 2009)，以及相同運動強度較低的能量消耗，並能接受較高的運動負荷的能力(Svedahl & MacIntosh, 2003)的意義，這種檢測模式已廣泛應用運動診斷與改善耐力訓練中(Faude, Kindermann, & Meyer, 2009)。就負重能力而言，肌肉的力量耐力(strength endurance)為力量與耐力的能力，可表現出肌肉抵抗相同負荷的耐受力。力量耐力訓練能提高運動員與非運動員的最大

攝氧量、最大與非最大運動耐力能力 (Gettman & Pollock, 1981; Izquierdo et al., 2003)，心臟功能(Kaikkonen, Yrjämä, Siljander, Byman, & Laukkanen, 2000)並能增加淨體重且不增加大量的肌肉橫斷面積(Harber, Fry, Rubin, Smith, & Weiss, 2004)。Johnson, Quinn, Kertzer, and Vroman (1997) 與 Sale (1988) 並指出，若在肌力訓練之餘，增加肌肉耐力訓練有助於提高神經對相對收縮肌群的協調，進而產生較佳動作輸出，提高動作效率，並降低耗氧氣及能量消耗。這些效果有利於舉重選手在每次完成試舉後有較快的恢復水平，且不影響動作的流暢性。

舉重是具有高技巧性且高強度間歇性的運動項目，抓舉或是挺舉皆是從提鈴、下肢發力衝槓、接槓轉換到完成動作，整個動作在不到 1 秒的時間完成 (Komi, 1992; Isaka, Okada, & Funato, 1996)，且每次試舉完成後即進入休息狀態，直到恢復完成後才在進行下一階段試舉，因此這種高負荷的阻力運動，非常容易造成神經肌肉 (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011)與代謝性的壓力(Rogatzki et al., 2014)，不利於訓練與表現品質。然而在每天重複的訓練過程中要維持穩定的生理水準與訓練(或比賽)表現有賴於恢復的快慢，在過去針對恢復的策略有許多，包含動態恢復(Ahmaidi, Granier, Taoutaou, Mercier, Dubouchaud, & Prefaut, 1996)、按摩(Monedero & Donn, 2000)等外源式的利用，但除了訓練之外，在比賽過程中選手自身的體能水準也非常重要，選手具備良好的閾值及恢復能力對舉重項目扮演著重要的角色，舉重選手每週需訓練數十噸的重量，並且每項動作間需要高度精準性，屏除舉重專項性研究，目前針對水準較高的舉重選手實施閾值水準及力量耐力檢測極少，因此本研究試將以運動中恢復的觀點，以現役大專甲組舉重運動員為對象，了解選手有氧-無氧閾值水準，並藉專項的力量耐力負荷與乳酸形成率等數據進行探討，提供不同訓練觀點供選手及教練訓練應用上的參考。

## 貳、研究方法

### 一、研究對象

6 名大專甲組男性舉重選手參與本實驗，年齡平均值為  $21.3 \pm 1.9$  歲，身高與體重為  $171.6 \pm 4.8$  cm、 $84.6 \pm 11.8$  kg，訓練年數為  $7.8 \pm 3.2$  年，國內社男排名成績前十名，在實驗過程選手避免使用任何增能食品(肌酸、高蛋白質、維他命等)，並在訓練前兩天避免激烈與大量訓練，實驗過程屬於運動員年度運動訓練周期的專項期 I。註：專項期 I 為選手年度比賽周期規劃中，第一場主要比賽期之前一個月階段；選手已具備準備第一場比賽所需要的專項技術及力量能力(張嘉澤，2013)。

### 二、實驗方式

本研究測試共三項，每次測試間隔三天，依序如下：(一)有氧-無氧閾值；(二)最大力量(1-Repetition, 1RM)測試；(三)專項力量耐力測試，所有檢測如圖一所示，為使受試者能處於相對理想的生理及運動能力水準，順序依據超補償(Supercompensation)理論(Yakovlev, 1976)每次測試間隔 2-3 天，各測試詳述如下：

#### (一) 有氧-無氧閾值測試：

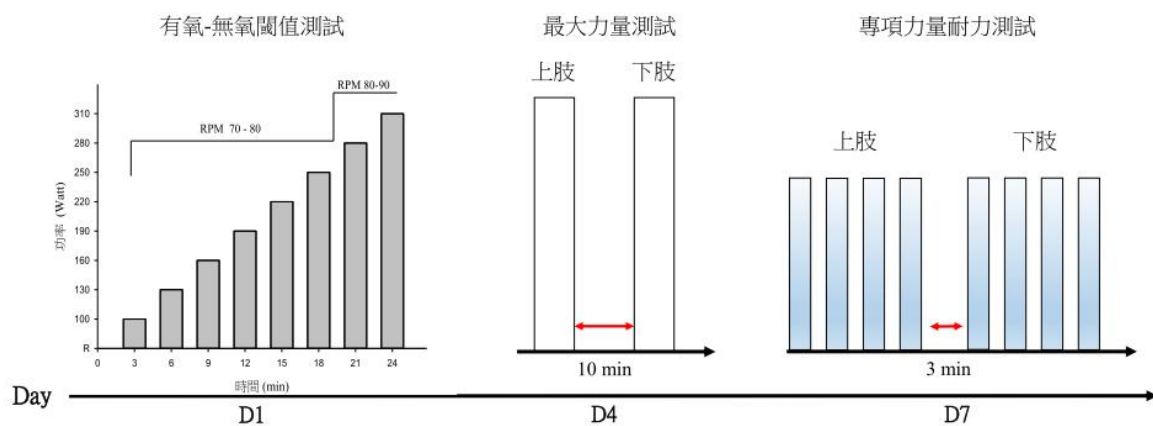
為避免不同體重級別造成測驗中的差異，以及在測驗中而增加下肢負擔，以腳踏車測功儀 (Excalibur Sport, High performance ergometer)進行無氧閾值測試，整體流程據 Rost and Hollmann (1982) 理論進行。起始負荷為 100Watt (轉速：70-80 RPM)，每一階段持續時間 3 min，每階負荷增加 30 Watt，測試進行至個人所能承受之最大負荷( $HR > 180\text{min}^{-1}$ 、 $RPE > 18$ 、轉速無法跟上、 $La > 8\text{mmol/l}$ )為止，如圖一。測試前、中採集乳酸與心跳，並透過乳酸分析軟體(Lactate Express Professional, Germany)計算個人有氧和無氧閾值。

## (二) 最大力量(1-Repetition, 1RM)測試：

為定量每位選手的專項力量耐力的重量，在完成暖身 (慢跑 2.5m/s, 5min、動態伸展、1 組 20RM 全身性低阻力重量：坐姿划船、仰臥推舉、深蹲、後勾腿) 後休息 5 分鐘，接著依序進行上肢與下肢 1RM 測試。首先進行上肢最大力量測試，以漸增方式實施仰臥推舉 (bench press) 測試，第一回為個人平常訓練的 5-6 RM 開始，每回間隔 3 分鐘後增加重量，全程在 4 回內完成；下肢為後蹲舉(back half squat)，同樣以漸增方式施測，上肢與下肢檢測間隔 10 分鐘，整測試過程在 4 回內完成，施測流程部分參考 Cotterman, Darby, and Skelly (2005)檢測方式。

## (三) 專項力量耐力測試：

上肢與下肢依據 Lippmann (1985) 舉重專項力量耐力檢測進行，負荷劑量為 1 RM 40 %。在完成 1 RM 測試後，計算上肢與下肢負荷重量，分別以上肢(仰臥推舉)、下肢 (後蹲舉) 方式進行 4 次 20 反覆 (4x20, 1RM 40%) 為測試方式，每組動作反覆間休息 1 分鐘 (Rep 1min)，兩項動作間間歇時間為 3 分鐘 (Set 3 min)。以耳垂採血方式採集每組間與恢復期 3、5、7、10、15 分鐘之乳酸值，其中乳酸將記錄每一組與恢復期中乳酸最高值和心跳最高值。專項力量耐力之運動負荷乳酸最高與安靜值，進行乳酸形成率計算， $\text{乳酸形成率} = (\text{乳酸值最高值} - \text{安靜乳酸值}) \div (\text{運動時間} - \text{常數})$ ，本力量耐力每組動作負荷(20 RM)時間為介於 10-20 秒，對照常數 4【運動時間(常數)：<10 秒(3); 10-20 秒(4); 20-50 秒(6)】(Mader, 1994)，單位為  $\text{mmol/l}\cdot\text{s}$ 。



圖一 實驗流程圖

註：RPM 是腳踏車每分鐘回轉數。

### 三、資料處理

數據以平均數與標準差呈現，以重複量數單因子變異數分析考驗上、下肢專項力量耐力測試之乳酸、心跳差異情形；皮爾遜積差相關進行有氧閾值與乳酸形成率，及無氧閾值耐力與力量耐力負荷心跳率之分析。以 Sigma Plot 8.0 軟體進行圖形製作分析，統計考驗水準訂為  $p < .05$ 。

## 參、結果

### 一、舉重選手有氧-無氧閾值能力

表一為舉重選手有氧和無氧閾值心跳與輸出功率值，漸增式腳踏車測試後顯示舉重選手有氧閾值功率及心跳平均為  $70.2 \pm 31.0$  watt 及  $114.1 \pm 16.0$  bpm，無氧閾值是  $151.5 \pm 27.4$  watt 及  $155.0 \pm 18.3$  bpm，負荷最高輸出功率為 250watt，乳酸值  $10.5 \pm 2.5$  mmol/l。

表一 有氧-無氧閾值心跳與輸出功率

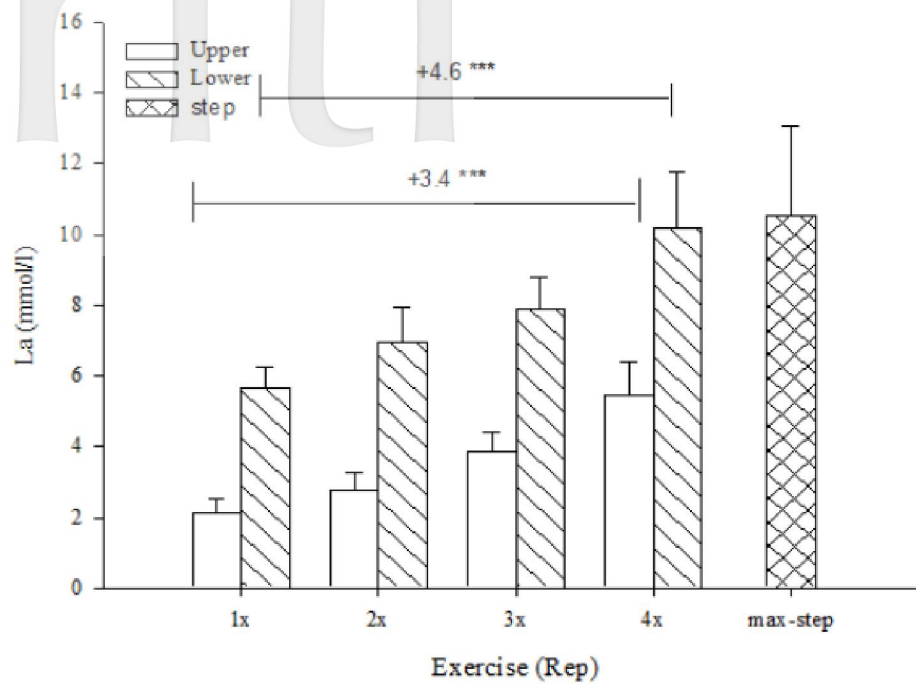
|                     | 有氧閾值 AeT         | 無氧閾值 AnT         |
|---------------------|------------------|------------------|
| Power output (watt) | $70.2 \pm 31.0$  | $151.5 \pm 27.4$ |
| HR (bpm)            | $114.1 \pm 16.0$ | $155.0 \pm 18.3$ |

註：Power output 指腳踏車功率輸出的閾值強度，單位是瓦特(watt)

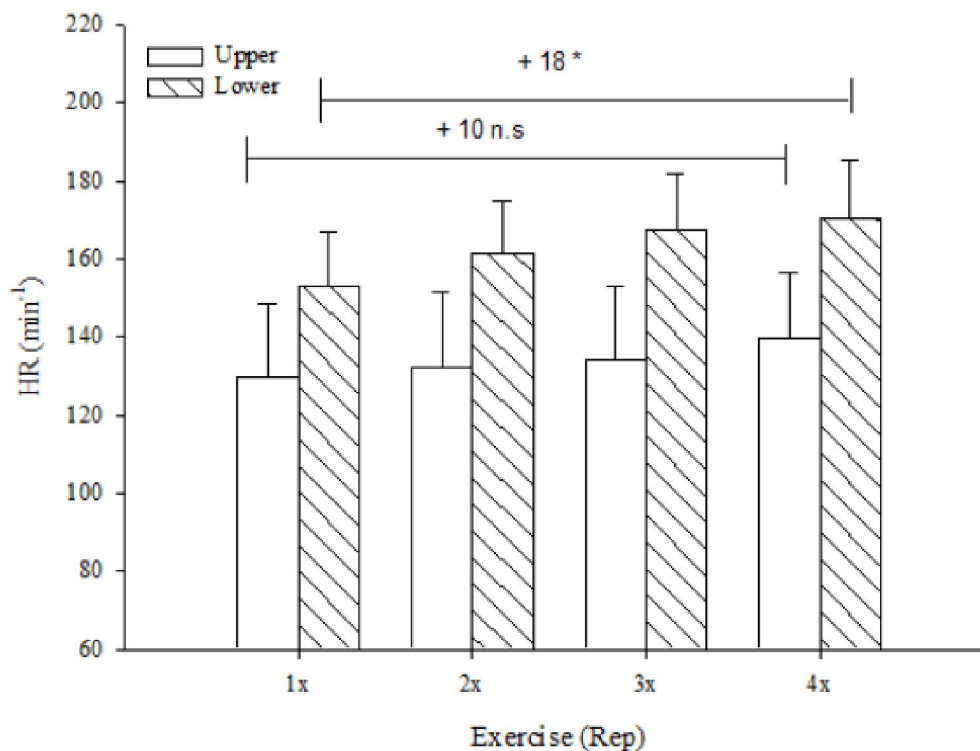
### 二、專項力量耐力測試

#### (一) 專項力量耐力之乳酸與心跳：

專項力量耐力測試之乳酸及心跳結果如圖二、三所示。上肢 (Upper) 的專項力量耐力負荷後，乳酸與心跳隨負荷的組數增加而上升，乳酸在第一 (1x) 與第四組 (4x) 達顯著差異 ( $+3.4$  mmol/l,  $p < .001$ )，心跳雖呈現上升 ( $+10$  bpm) 但未達顯著。下肢 (Lower) 專項力量耐力在乳酸與心跳也呈現顯著上升，乳酸值 1x 與 4x 也隨負荷組數增加而上升 ( $+4.6$  mmol/l,  $p < .001$ )，心跳顯著增加平均 18 bpm ( $p < .001$ )。每位受試者最高乳酸值平均為  $10.5 \pm 2.5$  mmol/l。



圖二 上肢與下肢力量耐力 40% (1RM) 負荷血液乳酸堆積濃度  
註：X 軸指運動負荷組數(1x, 2x, 3x, 4x)，max-step 為乳酸最高值

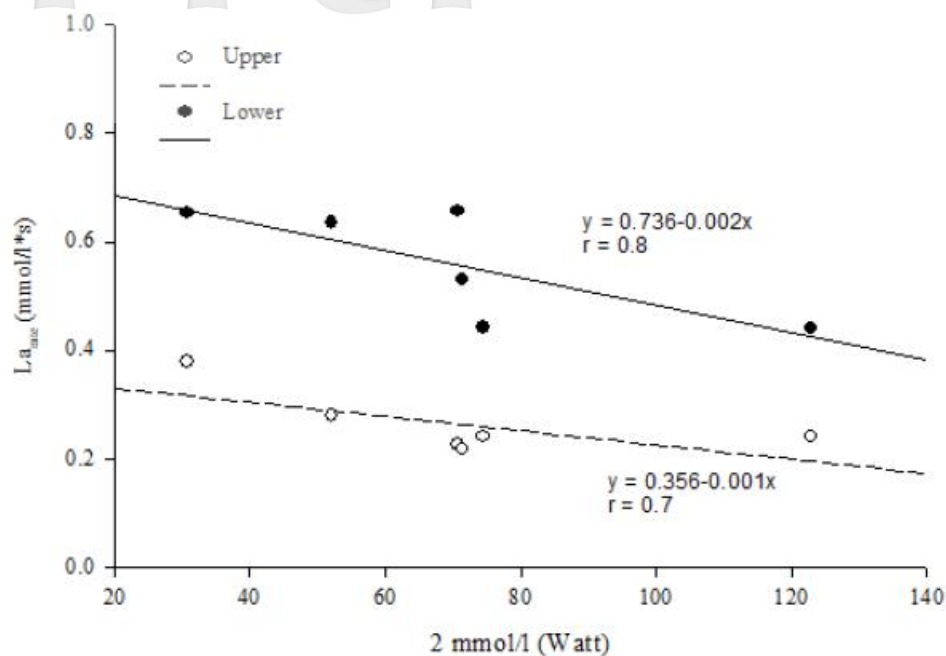


圖三 上肢與下肢力量耐力 40% (1RM) 負荷心跳率

## (二) 有氧閾值對乳酸形成率之關係：

有氧閾值能力與乳酸形成率(the rate of Lactate production,  $La_{rate}$ )進行分析，結果顯

示有氧閾值(AeT)輸出功率(Watt) 與上肢( $r = -0.7, p > .05$ )及下肢 ( $r = -0.8, p < .05$ )專項力量耐力負荷呈現負相關趨勢，如圖四所示，表示無論下肢力量負荷，閾值能力越佳(即功率越高)，乳酸形成率越低。

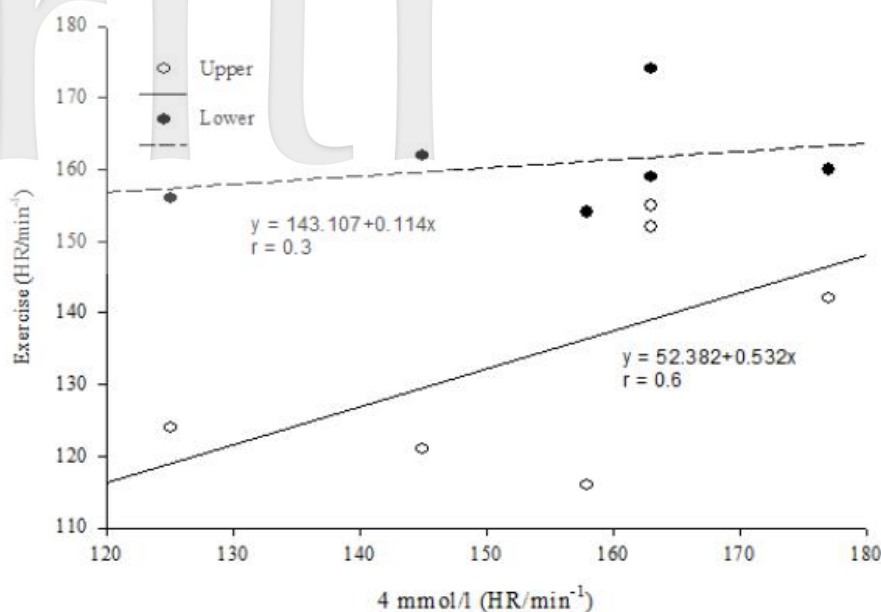


圖四 有氧閾值能力與上肢、下肢乳酸形成率之關係

註：Power<sub>AeT</sub>指有氧閾值輸出功率瓦特數；La<sub>rate</sub>指乳酸形成率

### (三) 無氧閾值心跳率與專項力量耐力心跳率之關係：

無氧閾值(AnT)心跳與上肢專項力量耐力心跳反應呈現正相關趨勢( $r = 0.6, p > .05$ )但未達顯著，下肢負荷心跳率則未達相關 ( $r = 0.3, p > .05$ )，如圖五所示。



圖五 無氧閾值耐力與力量耐力負荷心跳率之關係

註：HR<sub>AnT</sub>指無氧閾值心跳率；Y軸指力量耐力負荷時心跳率最高值

## 肆、討論

本研究主要發現 (一)本研究對象之舉重選手無氧閾值水平與國外參考值無差異，有氧閾值水準較低；(二)專項力量耐力負荷下，上肢與下肢動作隨負荷組數(Set)增加而使乳酸和心跳上升；(三)上肢與下肢專項負荷之乳酸形成率和有氧閾值功率具有負相關性；(四)無氧閾值心跳與上肢專項力量耐力負荷具正相關。相關討論如下所述：

### 一、舉重選手有氧-無氧閾值能力

有氧-無氧閾值除了代表體能水準外，可應用於運動強度設定、乳酸清除水準、脂肪氧化率(Svedahl & MacIntosh, 2003; Meucci & Peric, 2016)。Hollmann et al. (1987) 透過腳踏車與划船測功儀檢測大量不同項目的競技運動員(項目包含：田徑、技擊、游泳、球類等)的有氧與無氧閾值能力，區分出有氧和無氧閾值應具備的競技水準，其中藉由腳踏車測功儀判斷出競技運動員水準之有氧與無氧閾值分別為 100w 及  $\geq 130w$  (心跳： $<140$ ；及 $<156$  bpm)，本研究選手的有氧-無氧閾值分別為 70w 及 151w (HR： $114$ ； $155$  bpm)(如表 1 所示)，這反應出本研究對象在長期訓練後產生訓練適應的特殊性，本研究選手的無氧閾值輸出功率高於該文獻標準值 17 % (130 vs. 151 watt)，但在於有氧閾值能力上則呈現較低的水平，其中在有氧輸出功率低於標準值(70watt)，差異-30%。Lehmann and Keul (1986) 同樣以漸增式腳踏車探討舉重運動員，其選手有氧和無氧閾值分別為 120w 與 199w (HR: 128 與 164 bpm)。據 Lehmann et al. (1985)指出在低阻力負荷時，舉重選手之乳酸、心率與賀爾蒙反應與一般人即運動員無異，然而本研究對象在低負荷中 (圖二)，卻呈現乳酸值上升反應，這可能反應出我國舉重選手日常訓練型態可能大多以無氧訓練型態為主，在低負荷即呈現乳酸值高於 2mmol/l 的反應，當低重量負荷即產生無氧生理反應，會產生代謝性壓力，可能不利運動表現(Rogatzki et

al., 2014)。本研究對象就訓練周期而言，屬於專項期 I，據 Scala, McMillan, Blessing, Rozenek, Stone (1987)，Chiu and Schilling (2005)與張嘉澤(2013)指出，專項期應讓選手具備比賽專項能力，並且已在準備期建構生理恢復機制，因此在準備期階段就應該進行提高有氧與無氧代謝能力的訓練。

## 二、舉重選手專項力量耐力與閾值分析

如圖一、二顯示在專項力量耐力負荷下，無論上肢與下肢負荷，乳酸與心跳皆呈現隨組數增加而上升的趨勢，就乳酸而言，上肢動作第一與第四組 (1x 與 4x) 乳酸值增加 3.4 mmol/l ( $p<.001$ )，下肢 1x 與 4x 則增加 4.6mmol/l ( $p<.001$ )。心跳部分，上肢與下肢負荷呈現隨附設組數增加而上升的趨勢，其中上肢動作 1x 與 4x 心跳平均分別為 130 bpm 與 140 bpm，上肢負荷呈增加趨勢但未達顯著，但下肢負荷則顯著增加 18 bpm( $p<.05$ )。張嘉澤(2013)指出，專項訓練的內容是以專項特殊性呈現的訓練模式。力量耐力的能力可反應出選手長時間高力量輸出的穩定性，與肌肉組織間能量儲存的水準(Martin, Carl, & Lehnertz, 1993)。就阻力負荷而言，選手無論上肢與下肢的心跳與乳酸直接隨著組數的增加而上升(Issekutz & Miller, 1962; Karlsson, Nordesjö, Jorfeldt, & Saltin, 1972; Weltman, Stamford, & Fulco, 1979)。以乳酸形成率進行分析發現，選手有氧閾值輸出功率高低和上、下肢負荷的乳酸形成率呈現負相關(上肢： $r = -0.7$ ；下肢： $r = -0.8$ )，顯示有氧閾值能力越佳反應出較低的乳酸形成率(圖三)。選手的無氧閾值心跳率與上肢專項力量耐力的負荷心跳率呈現正相關趨勢( $r = 0.6$ )，與下肢負荷則無相關性。

Wahl, Bloch, and Mester (2009)指出，乳酸濃度受到肌肉型態、血液流動速度、pH 值、乳酸形成和排除速度等因素影響。當肌肉產生局部性疲勞，乳酸與血中氫離子濃度將伴隨上升，抑制糖解作用中酵素的活性，並降低脂肪分解的效率(Sahlin & Ren, 1985; Baldari, Videira, Madeira, Sergio, & Guidetti, 2005)，顯示練習的次數與負荷重量百分比為影響代謝壓力的主要因素。從負荷(次數)與強度(重量)兩個層面而言，Date, Simonson, Ransdell, and Goa (2013) 以上膊 (Power clean) 觀察不同上膊重量對乳酸的堆積顯示，低量(3x3 RM)與高量 (3x 9 RM) 其乳酸差異為 4.03 與 7.43mmol/l 指出乳酸濃度的增加在於負荷量的變化。相同組數(Set)來說，重量則是負荷越重乳酸值愈高(Kumar & Reena, 2013)，這與本研究結果具有相似結果。當選手有氧能力越好會有較低的乳酸形成率，可能有助於減少訓練組與組之間與比賽間歇期的疲勞堆積，有利於最大力量的維持與能量的再生(regeneration) (Jansson, Dudley, Norman, & Tesch, 1990; Tomlin & Wenger, 2001)，進而加速無氧運動間的恢復，並能增加 PCr 再生(Ekblom, Astrand, Saltin, Stenberg, & Wallström, 1968; Tomlin & Wenger, 2001)。

舉重專項訓練過程中，包含單次試舉動作與不同重量比例的舉起動作。就單次試舉而言，從試舉開始到槓鈴上舉，整個動作時間不到一秒鐘，其能量來源為 ATP-CP 系統，而抓舉與挺舉動作在進行不同重量比例練習後，以 60-80% (6-4 RM)為例，乳酸值介於 14-9 mmol/l (Gupta & Goswami, 2001)。單從舉重動作特性的確為極短時間最大

力量的展現，然而在訓練過程中由於負荷的變化也會造成體內疲勞物質的堆積。劉作仁、周正亮、邱正民與徐道昌(1994)指出，以相同速度和肌肉收縮模式相比，下肢產生的心血管系統的反應多於上肢。顯示無氧閾值心跳率與上肢專項力量耐力呈現正相關，但與下肢則未達相關可能與負荷時的動作特性有關。兩者呈現不同結果，可能與動作輸出速度特性不同有關。蔣明雄 (2015) 研究指出，選手在進行不同試舉重量時，下肢呈現在地面反作用力量接近，不會因重量改變而出現差異，這呈現在舉重技術主要在於下肢發力的特點。就心率反應而言，是由於自主神經中交感與副交感神經活性調節，隨著運動負荷增加交感神經系統反應出心跳率與血壓的上升(Mitchell, 1990)。就舉重抓舉與挺舉兩種模式，就上述文獻指出顯示動作時間極短，雖然在動作特性上有所差異，但多由下肢發力，因此產生較多的心血管反應，當執行動作時將造成生理壓力上升的現象。而在訓練過程若增加高負荷時練習組數，可能會在動作完成速度上產生影響，這表示技術水準與選手的閾值能力可能是造成其相關性差異的原因。然而，就力量耐力而言，Machado-Vidotti et al. (2014) 研究認為上肢力量耐力比下肢更可能引發出較高的交感性神經調節，並與負荷的乳酸值具有相關性(Simões et al., 2010)。綜合以上，就無氧閾值心跳率上肢動作可能引發出較高的交感神經調節，上肢與下肢心率與無氧閾值水準相關性的差異可能在於動作輸出速度的特性，以及下肢部分長期訓練下來有較好的動作經濟性有關。

Grimby, Hannerz, Borg, and Hrdman (1981)與 Liessen and Hollmann (1985)指出，若進行大量或高負荷訓練(指乳酸濃度高於 8 mmol/l)，不利於技術與體能訓練效果，並可能降低肌肉快速力量與造成中樞神經疲勞。多種力量訓練後的高乳酸值可能的原因在於訓練初期的負荷、組間休息的時間、不足、持續負荷的時間、進行不同技術變化的阻力負荷(Kraemer, Nobel, Clark, & Culver, 1987; Gupta et al., 2001)。有研究指出，力量耐力訓練有助於提高類胰島素因子(IGF-1)與肌肉周邊微血管數量，有利於能量調節，並對心臟功能與血壓具有正面的效果(Grosser, Starischka, & Zimmermann, 1981; Fleck, 1994; Kaikkonen et al., 2000)，而 Güllich and Schmidtbleicher (1999)也表示，力量耐力訓練後，除了提高肌耐力，也助於提高肌肉氧化酵素活性與肌纖維周邊微血管數量，並能促進最大力量和肌肉量增加。舉重選手除了有較高的骨質密度(bone mineral density)與肌肉質量(muscle mass)(Conroy et al., 1993; Jürimaä, Abernethy, Quigley, Blake, & McEinery, 1997)外，有更厚的左心室壁與肌肉質量，反應出長期阻力訓練的適應性 (MacDougall, Tuxen, Sale, & Moroz, 1985; Muhl, Dassen, & Kuipers, 2008)。這表示舉重選手除了在舉重專項技術之外，選手本身的閾值水準和力量耐力的訓練對於舉重的運動表現扮演著重要的角色，特別在於每次訓練間歇恢復的狀態與比賽每次動作完成後的恢復水準上。綜觀而言，舉重選手的訓練內容須根據其專項技術、體能水準、訓練時間與比賽經驗而有所不同。然而，適當的安排訓練的負荷強度與組間休息隊訓練的成效扮演重要的角色，若有較佳的有氧與無氧閾值水準，除了有利提高乳酸移除效率促進恢復，並有助提高訓練品質與降低選手生理壓力並維持表現(Donovan & Pagliassotti, 1990; Tomlin et al., 2001; McMillan et al., 2005; Higham, Pyne, Anson, &

Eddy, 2012)。因此舉重選手除了專項最大力量訓練之外，可適度安排有氧與無氧閾值強度之耐力訓練以及力量耐力兩者作為恢復目的的輔助性訓練，提高恢復速度。

### 伍、結論與建議

本研究發現，本研究受試者無氧閾值水平高，有氧閾值能力較低可能與訓練以專項型態有關。舉重選手之有氧能力，與下肢專項負荷後之乳酸形成率具負相關性，當選手具備較佳的力量耐力和閾值水準，可降低較大訓練量的生理壓力。專項上肢力量耐力負荷心跳率和無氧閾值之相關性可能與動作型態有關。專項力量耐力負荷，即可能造成疲勞物質乳酸堆積並提高心率反應。建議舉重選手在訓練週期中安排專項訓練之餘，可依不同週期階段適度施予耐力訓練，而舉重訓練下肢負荷較多，為減少下肢負擔，可以藉由腳踏車、水中跑步與划船測功儀等工具實施耐力訓練。本研究雖受試者水準為甲組水平，但人數因國家隊集訓、受傷等因素流失部分受試者，故僅能推測閾值能力相近水平的運動員。

### 參考文獻

- 張嘉澤 (2013)。訓練學 (第二版)。新北市：運動能力診斷協會。
- 蔣明雄 (2015)。優秀女子舉重選手抓舉之動力學探討—個案分析。運動表現期刊，2(2)，49-52。
- 劉作仁、周正亮、邱正民、徐道昌 (1994)。等速肌肉耐力運動後之心臟血管反應。中華民國復健醫學會雜誌，22(1)，25-31。
- Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(4), 450-456
- Baldari, C., Videira, M., Madeira, F., Sergio, J., & Guidetti, L. (2005). Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(4), 460-466.
- Chiu, L. Z.F. and Schilling, B. K. (2005). A Primer on Weightlifting: From Sport to Sports Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 42-48.
- Conroy, B. P., Kraemer, W. J., Maresh, C. M., Fleck, S. J., Stone, M. H., Fry, A. C., Miller, P. D., & Dalsky, G. P. (1993). Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 25(10), 1103-1109.
- Cotterman, M. L., Darby, L. A., & Skelly, W. A. (2005). Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 169-176.
- Date, A. S., Simonson, S. R., Ransdell, L. B., & Gao, Y. (2013). Lactate response to different volume patterns of power clean. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 604-610.
- Donovan, C. M. and Pagliassotti, M. J. (1990). Enhanced efficiency of lactate removal after

- endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 68(3), 1053-1058.
- Ekblom, B., Astrand, P. O., Saltin, B., Stenberg, J., & Wallström, B. (1968). Effect of training on circulatory response to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 24(4), 518-528.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 940-946.
- Fleck, S. J. (1994). Kardiovaskuläre Reaktionen und Adaptationen während Kraftbelastung. In: Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, 303-308.
- Garhammer, J., and Takano, B. (2003). Training for weightlifting. In: Komi PV, editor. Strength and power in sport. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Blackwell Science, 502-515.
- Gettman, L. R. and Pollock, M. L. (1981). Circuit weight training: A critical review of its physiological benefits. *The Physician and Sports medicine*, 9, 44-60.
- Gibson, H. & Edwards, R. H. T. (1985). Muscular exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 2, 120-132.
- Grimby, L., Hannerz, J., Borg, J., & Hedman, B. (1981). Firing properties of single human motor units on maintained maximal voluntary effort. *Ciba Foundation symposium*, 82, 157-177.
- Grosser, M., Starischka, S, & Zimmermann, E. (1981). Allgemeine Trainingsprinzipien und biologische adaptation. In: Koelner Beitrage zur Sportwissenschaft, Bd. 8/9, 113-132.
- Gupta, S. and Goswami, A. (2001). Blood lactate concentration at selected of olympic modes weightlifting. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 45(2), 239-244.
- Güllich, A. and Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Jahrgang*, 50(7-8), 223-234.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C., & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(3), 176-185.
- Higham, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2012). Movement patterns in rugby sevens: effects of tournament level, fatigue and substitute players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(3), 277-282.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 573-582.
- Hollmann, H., Schürch, P., Heck, H., Mader, A., Rost, R. & Hollmann, W. (1987). Kardiopulmonale Reaktion und aerob anaerobe Schwelle bei verschiedenen

- Belastungsformen. *Dtsch. Z. Sportmed*, 38(4), 144-156
- International Weightlifting Federation (2015). IWF 2015 Technical and Competition Rules & Regulations. (p43-45).  
<http://www.iwf.net/wp-content/uploads/downloads/2015/01/IWF-TCRR-2013-2016.2015.01.22.pdf>
- Isaka, T., Okada, J. & Funato, K. (1996). Kinematics analysis on the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(4), 508-516.
- Issekutz, B. Jr. and Miller, H. (1962). Plasma Free Fatty Acids During Exercise and the Effect of Lactic Acid. *Experimental Biology and Medicine*, 110(2), 237-239.
- Izquierdo, M., Hakkinen, K., Ibanez, J., Anton, A., Garrues, M., Ruesta, M., & Gorostiaga, E. M. (2003). Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 129-139.
- Jansson, E., Dudley, G. A., Norman, B., & Tesch, P. A. (1990). Relationship of recovery from intensive exercise to the oxidative potential of skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 139(2), 147-152.
- Johnson, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R., & Vroman, N.B. (1997). Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(4), 224-229.
- Jürimaä, J., Abernethy, P. J., Quigley, B. M., Blake, K., & McEInery, M. T. (1997). Differences in muscle contractile characteristics among bodybuilders, endurance trainers and control subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 75, 357-362.
- Kaikkonen, H., Yrjämä, M., Siljander, E., Byman, P., & Laukkanen, R. (2000). The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 211-215.
- Karlsson, J., Nordesjö, L. O., Jorfeldt, L., & Saltin, B. (1972). Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *Journal of Applied Physiology*, 33(2), 199-203.
- Komi, P. V. (1992). Strength and power in sport. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Kraemer, W. J., Nobel, B. J., Clark, M. J., & Culver, B. W. (1987). Physiologic responses to heavy exercise with very short rest periods. *International Journal of Sports Medicine*, 8(4), 247-252.
- Kumar, A. and Reena. (2013). Relationship between Blood Lactate, Load and Load Volume in Weight Lifters. *Journal of Exercise Science and Physiotherapy*, 9(2), 119-124.
- Lehmann, M., Schmid, P., Jakob, E., & Keul, J. (1985). Verhalten von Plasmakatecholaminen, Herzfrequenzen, Laktatspiegel und Sauerstoffaufnahme bei

- dynamisch Trainierten, statisch Trainierten und Untrainierten während stufenweiser Fahrradergometrie. (p372-376). In: Franz, I. W.,  
Lehmann, M. and Keul, J. (1986). Free Plasma Catecholamines, Heart Rates, Lactate Levels, and Oxygen Uptake in Competition Weight Lifters, Cyclists, and Untrained Control Subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 7(1), 18-21.
- Liessen, H. and Hollmann, W. (1981). Ausdauersport und Stoffwechsel. Schomdorf:Hofmann. Sportmedizin. 4 Auflage, p520-522.
- Lippmann, J. (1985). Experimentelle Untersuchungen zur Erhöhung der Wirksamkeit des Anschlussstrainings im DGV der DDR unter besonderer Betonung der Maximalkraftentwicklung. Unveröffentlichte Dissertation, FKS, Leipzig.
- MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., & Moroz, J. R. (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58(3), 785-790.
- Machado-Vidotti, H. G., Mendes, R. G., Simoes, R. P., Castello-Simoes, V., Catai, A. M., &  
Borghi-Silva, A. (2014). Cardiac autonomic responses during upper versus lower limb resistance exercise in healthy elderly men. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 18(1), 9-18.
- Mader, A. (1994). Aussagekraft der Laktatleistungskurve in Kombination mit anaeroben Tests zur Bestimmung der stoffwechselkapazität. In: Clasing, D., Weicker, H., Böning. (Hrsg). Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Stuttgart Jena. New York. Fischer.
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1993). Handbuch Trainingslehre, 2, Auflage.
- McLellan, T. M. and Skinner, J. S. (1982). Blood lactate removal during active recovery related to the aerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 224-229.
- Mellerowicz, H., & Noack, W. (Hrsg.), Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer
- Meucci, M. and Peric, R. (2016). Correlation Between Aerobic Threshold And Point Of Maximal Fat Utilization In Male Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(5 Suppl 1), 466-467.
- Mihl, C., Dassen, W. R., & Kuipers, H. (2008). Cardiac remodelling: concentric versus eccentric hypertrophy in strength and endurance athletes. *Netherlands Heart Journal*, 16(4), 129-133.
- Minigalin, A. D., Shumakov, A. R., Baranova, T. I., Danilova, M. A., Kalinski ĭ, M. I., & Morozov, V. I. (2001). Acute and remote biochemical and physiological effects of exhaustive weightlifting exercise. *Fiziol Cheloveka*, 37, 86-91.
- Mitchell, J. H. (1990). J.B. Wolffe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(2), 141-154.

- Monedero, J. and Donne, B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *International Journal of Sports Medicine*, 21(8), 593-597.
- Rogatzki, M. J., Wright, G. A., Mikat, R. P., & Brice, A. G. (2014). Blood ammonium and lactate accumulation response to different training protocols using the parallel squat exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1113-1118.
- Rost, R. and Hollmann, W. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren. Stuttgart: Thieme-Verlag.
- Sahlin, K. and Ren, J.M. (1985). Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. *Journal of Applied Physiology*, 67(2), 648-654.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 20(5), s135-145.
- Scala, D., McMillan, J., Blessing, D. Rozenek, R., & Stone, M. (1987). Metabolic cost of a preparatory phase of training in weight lifting: a practical observation. *The journal of applied sport science research*, 1(3), 48-52.
- Simões, R. P, Mendes, R. G, Castello, V., Machado, H. G., Almeida, L. B., Baldissera, V., Catai, A. M., Arena, R., & Borghi-Silva, A. (2010). Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1313-1320.
- Svedahl, K. and MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(2), 299-323.
- Tomlin, D. L. and Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, 31(1), 1-11.
- Twist, C., Waldron, M., Highton, J., Burt, D., & Daniels, M. (2010). Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. *Journal of Sports Science*, 30(4), 359-367.
- Veale, J. P. and Pearce, A. J. (2009). Physiological Responses of Elite Junior Australian Rules Footballers During Match-Play. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(3), 314-319.
- Wahl, P., Bloch, W., & Mester, J. (2009). Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57(3), 101-107.
- Weltman, A., Stamford, B. A., & Fulco, C. (1979). Recovery from maximal effort exercise: lactate disappearance and subsequent performance. *Journal of Applied Physiology*, 47(4), 677-682.
- Wu, C.L., Hung, W., Wang, S. Y., & Chang, C. K. (2008). Hormonal Responses in Heavy

Training and Recovery Periods in an Elite Male Weightlifter. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(4), 560-561.

Yakovlev, N.N. (1976). Biochemical mechanisms of adaptation of skeletal muscles to muscular activity. *Ukr. Biokhim. Zh.*, 48: 388-397.

Yoshida, T. and Watari, H. (1993). Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(3), 261-265.

## Relationship between Anaerobic Threshold Capacity and Specific Strength Endurance on Weightlifter

### Abstract

**Purpose:** To investigate whether the specific strength endurance response were affected by anaerobic threshold and the rate of lactate production on male college weightlifters.

**Methods:** 6 male college weightlifters (age:  $21.3 \pm 1.9$  years, height:  $171.6 \pm 4.8$  cm, body weight:  $84.6 \pm 11.8$  kg, training experience:  $7.8 \pm 3.2$  years) completed 1st: Incremental aero-anaerobic threshold cycling; 2nd: One maximum repetition test (1 RM); 3rd: Four bouts specific strength endurance test (include upper limb: bench press; lower limb: back half squat). Heart rate (HR), lactate (La), and exercise period were measured before, during, and after each test. One-way ANOVA repeated measures was used to assess specific test difference and Pearson correlation coefficient was used to assess the relationship between Larate and aero-anaerobic capacity. **Results:** Average HR and Power at Aero and Anaerobic Threshold (AeT and AnT) test: AeT  $70.2 \pm 31.0$  watt,  $114.1 \pm 16.0$  bpm; AnT:  $151.5 \pm 27.4$  watt,  $155.0 \pm 18.3$  bpm. During specific strength endurance test, HR (upper limb  $+10$  bpm,  $p > .05$ ; lower limb  $+18$  bpm,  $p < .05$ ) and La (upper  $+3.4$  mmol/l,  $p < .001$ ; lower limb  $+4.6$  mmol/l,  $p < .001$ ) were increase in session 4th than session 1st. There was a negative correlation between power output in AeT and the Larate of specific test (both upper  $r = -0.7$ ,  $p > .05$ ; lower limb  $r = -0.8$ ,  $p < .05$ ). The positive correlation was found in HRmax ( $r = 0.6$ ,  $p > .05$ ) between AnT and specific upper test. **Conclusion:** This results suggest that the relationship between Larate of specific strength endurance test and HR response is affected by AeT and AnT capacity (power output and HR) in male collage weightlifter. In specific test, HR and La were increase along with bouts in both upper and lower limb. Weightlifter with higher lactate threshold level might decrease the physiological stress while training and competitions.

**Keywords:** specific test, Kraft Ausdauer, aerobe Schwelle, recovery