



行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

應用最大累積作功量及最大累積
缺氧量評價無氧運動能力之
比較研究

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2320-B-034-002-

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：吳慧君 中國文化大學

共同主持人：林正常 國立台灣師範大學

計畫參與人員：

 協同主持人：蘇俊賢 中國文化大學

 研究生：巫青青、賴紫蘭、蔡宇柔 中國文化大學

執行單位：中國文化大學

中華民國九十年十月三十一日

應用最大累積作功量及最大累積 缺氧量評價無氧運動能力之 比較研究

吳慧君
中國文化大學
林正常
國立體育學院

摘要

本研究目的在比較不同運動專項（速度型和耐力型）之受試者，在不同模式（ $120\% \dot{V}O_2 \max$ ，90 rpm 和 40N 負荷，全力衝刺）下進行 2-3 分鐘之超最大運動對最大累積缺氧量之影響。受試者為大學體育系田徑隊男生共 20 名（速度型 10 名；耐力型 10 名），每位受試者均需接受一次 $\dot{V}O_2 \max$ 、四次非最大運動測驗（40%、55%、70%、85% $\dot{V}O_2 \max$ ，持續運動 8 分鐘）、二次 2-3 分鐘之超最大運動測驗（ $120\% \dot{V}O_2 \max$ ，90 rpm 和 40N 負荷，全力衝刺）、400m 測驗及人體測量等。所有資料以混合設計雙因子變異數分析之，其顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。所得結果顯示：（一）不論是以何種全力運動負荷模式（ $120\% \dot{V}O_2 \max$ ，90 rpm 或 40N，全力衝刺），速度組受試者測得之 MAOD 值均顯著的高於耐力組；此外，耐力組在 Medb ϕ 傳統法下所測得的 MAOD 值會顯著的高於在 40N 新方法下所測得之值，但在速度組則無運動負荷模式之差異存在。（二）在從事 2-3 分鐘超最大運動時，40N 方法（40N，全力衝刺）較 Medb ϕ 傳統法（ $120\% \dot{V}O_2 \max$ ，90rpm）更能鑑別出速度組與耐力組之 MAOD 差異性。

關鍵詞：全力運動模式、運動專項、最大累積缺氧量

主要聯絡者：吳慧君 中國文化大學

Tel：0937-496989

台北市陽明山華岡路 55 號

Fax：(02)28612399

壹、緒論

一、問題背景

無氧運動是指人體依賴肌肉無氧代謝路徑 (ATP-PC 和糖酵解) 所產生的 ATP, 維持機體進行最大強度運動的能力。由於該種能力直接涉及人體的運動速度和肌肉收縮的爆發力, 因此, 是決定無氧性運動項目成績的主因之一; 而無氧運動能力不若有氧能力般的廣泛被研究, 人們對無氧能力的瞭解較之有氧能力尚差一段相當長的距離, 因此發展出客觀的方法, 來檢測和評價人體無氧運動能力也就顯得特別重要。

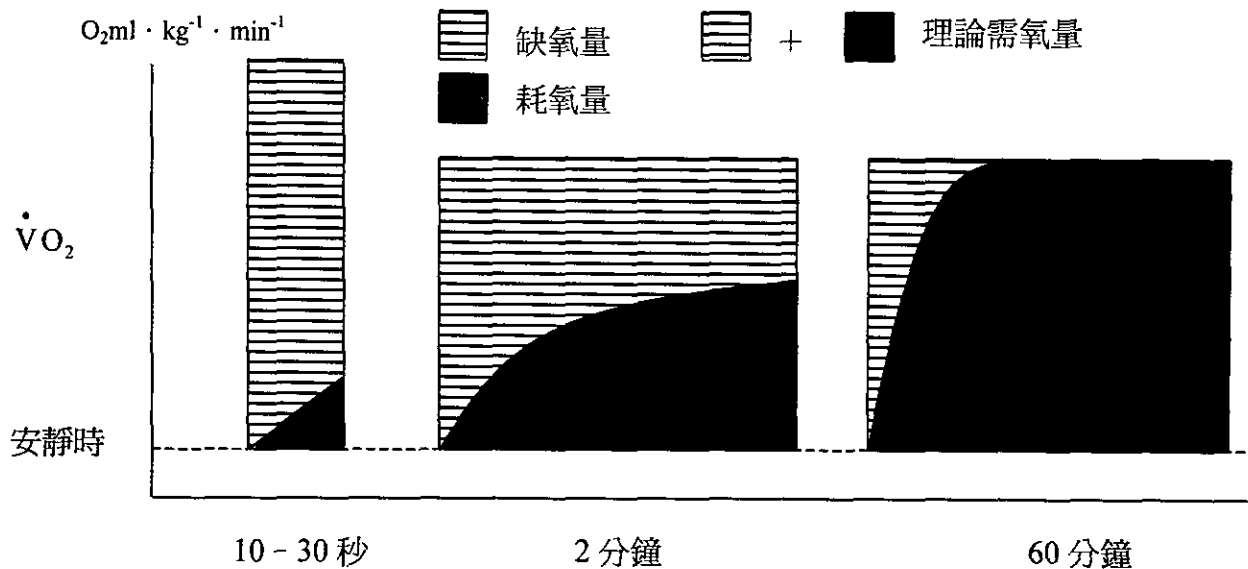
1984 年, Hermansen 和 Medb ϕ 首先提出了最大累積缺氧量 (maximal accumulated O₂ deficit, MAOD) 能夠評價人體無氧運動能力的觀點, 開始了學者們對 MAOD 的系列研究。繼 1984 年後 Medb ϕ 等人又於 1988 年透過多次的衰竭性原地跑步機運動試驗, 證明了最大累積缺氧量在持續 2-16 分鐘的高強度運動中保持不變, 並能獨立於有氧代謝系統而存在, 因此, 進一步證實了最大累積缺氧量法是評價人體無氧運動能力的可靠指標。之後也有一些學者在此方面進行了研究, 探討最大累積缺氧量的運動項目特徵與速度型項目運動成績的相關性等 (Weyand, 1994; Bangsbo, 1993)。但在不同無氧運動能力測定方法間的比較和一些學者對 MAOD 法的質疑 (Bangsbo, 1996a, 1996b) 等方面研究尚屬缺乏; 其中 MAOD 法受到學者最大質疑的地方是 MAOD 法是以透過非最大 (submaximal) 強度運動的耗氧量曲線來推測超大 (supramaximal) 強度運動之需氧量, 而實際上, 在耗氧量小於或等於 100% $\dot{V}O_2 \max$ 時, 吸氧或耗氧尚可滿足運動需求, 但在耗氧量大於 100% $\dot{V}O_2 \max$ 時, 耗氧量並不等於需氧量, 此時的需氧量是耗氧量與無氧代謝的氧當量之和, 因此, 本研究擬比較不同運動專項之受試者, 在不同模式下進行 2-3 分鐘之超大運動對 MAOD 的影響。

二、研究目的

本研究目的在比較不同運動專項 (速度型和耐力型) 之受試者, 在不同模式 (120% $\dot{V}O_2 \max$, 90 rpm 和 40N 負荷, 全力衝刺) 下進行 2-3 分鐘之超大運動對 MAOD 之影響。

三、名詞操作定義

(一) 缺氧量：運動初期，人體的能量無法完全以有氧反應方式來供給，而需以無氧反應方式（ATP-PC、乳酸系統）來補給所需的能量，稱為缺氧量（ O_2 deficit）。



(二) 最大累積缺氧量：本研究最大累積缺氧量 (maximal accumulated O_2 deficit, MAOD) 是指在 2-3 分鐘之最大強度運動中理論需氧量與實際耗氧量的差值。

(三) 不同模式之全力運動：本研究全力運動負荷模式分為超最大強度 ($120\% \dot{V}O_2 \text{ max}$)、恆速 (90 rpm) 運動及非最大強度 (40N)、非恆速 (全力衝刺) 運動二種。

(四) 運動專項：本研究運動專項是指速度型及耐力型；其中速度型分別有 100、200 及 400m 選手；耐力型有 3000、5000、10000m 及馬拉松選手。

貳、研究方法與步驟

一、受試對象

本研究實驗對象為大學體育系田徑隊男生共 20 名 (速度型運動員 10 名；耐力型運動員 10 名) 為受試對象。

二、實驗設計

(一) 最大累積缺氧量 (MAOD) 測驗

1、 $\dot{V}O_2$ max 測驗

(1) 負荷工具：腳踏車功率計 (ergometer)

(2) 負荷模式：自 80watt 開始遞增負荷；每 2 分鐘增加 25watt，轉速維持在 60rpm 直至衰竭，以氣體分析儀求出 $\dot{V}O_2$ max。

2、建立運動強度—攝氧量迴歸方程式

取 40-85% $\dot{V}O_2$ max 範圍內的 4 個強度 (40%、55%、70%、85% $\dot{V}O_2$ max)，每個強度持續運動 8 分鐘，取第 6-8 分鐘之平均攝氧量作為穩定狀態 (steady state) 之耗氧量，間隔休息 20 分鐘，以耗氧量為縱座標，以運動負荷強度為橫座標進行線性迴歸，建立運動強度—攝氧量關係曲線。

3、進行 2-3 分鐘超最大運動

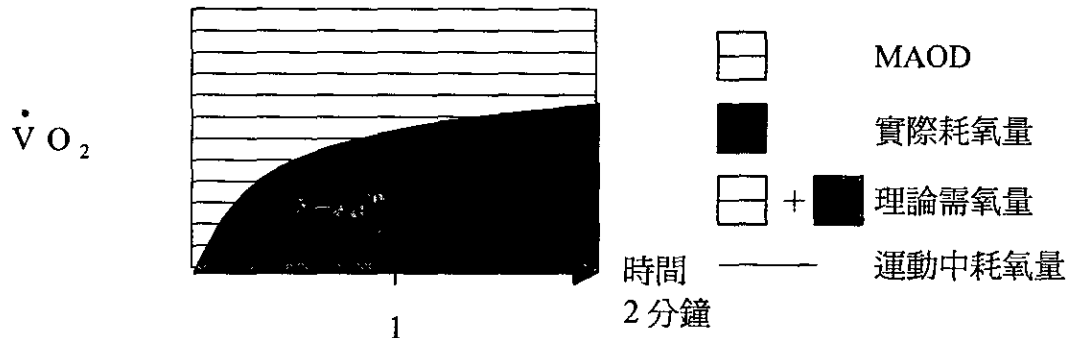
(1) 在腳踏車功率計上以 120% $\dot{V}O_2$ max 的強度 (Renoux, J. C., Petit, B., Billat, V., & Koralsztejn, J. P., 2000)、90 rpm (Woolford, S. M., Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. C., Stanef, T., & McKenzie, I., 1999) 或 40N 的負荷全力衝刺，進行 2-3 分鐘超最大運動，直到衰竭為止，求出平均最大功率值 (watt/min)。再將此值代入運動強度—攝氧量迴歸方程式，以確定超最大運動之理論需氧量。

(2) 以 120% $\dot{V}O_2$ max 的強度，90 rpm 完成的超大運動是 MAOD 傳統法；以 40N 負荷全力衝刺的是新方法。

4、計算 MAOD

$$\begin{aligned} \text{MAOD} &= \text{理論需氧量} (L \cdot 2\text{min}^{-1}) - \text{實際耗氧量} (L \cdot 2\text{min}^{-1}) \\ &= \text{理論需氧量} (L \cdot 2\text{min}^{-1}) - \int_0^2 Ae^{bx} dx \end{aligned}$$

$O_2 \text{ml} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$



圖一 2分鐘最大運動時 MAOD、耗氧量和需氧量之關係圖

(二) 人體測量

測量的部位都是在右邊，標準的人體測量及皮脂夾之詳細說明參照 Shephard 等 (1988) 之方法，其測量之項目有：1、手臂五個部位之圍度；2、手臂長；3、腿部五個部位之圍度；4、腿長；5、七處皮下脂肪厚度；6、三個標準的直徑（兩肩峰，肱骨的髁間及股骨的髁間），由以上測量結果計算出脂肪量、骨骼量、肌肉量及肌肉質量等。

三、統計方法

(一) 以混合設計雙因子變異數分析 (two-way ANOVA) 探討不同全力運動負荷模式 ($120\% \dot{V}O_{2max}$, 90rpm 與 40N, 全力衝刺) 和受試者運動項目 (速度型、耐力型) 對各種 MAOD 值的影響。

(二) 以 $\alpha = .05$ 為顯著水準。

參、結果

一、受試者基本資料

表一、受試者基本資料

	速度組 (100、200、400m)					(N= 10)	
	年齡 (yr)	身高 (cm)	體重 (kg)	體脂肪 (%)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ min ⁻¹)	400m (sec)	下肢肌肉質量 (kg)
平均數	21.1 (±1.43)	175.9 (±1.76)	70.9 (±3.46)	11.7 (±0.66)	49.7 (±3.82)	54.5 (±0.67)	25.9 (±1.84)
最大值	24	180	76	12.3	57	54.93	27.8
最小值	20	174	65	10.7	45	53.00	20.8
	耐力組 (3000 障礙、5000、10000、馬拉松)					(N= 10)	
平均數	21.9 (±1.67)	174.8 (±3.83)	67.7 (±3.0)	9.67 (±3.08)	60.3 (±10.09)	58.2 (±2.36)	22.8 (±1.28)
最大值	25	182	73	18.2	86	65.40	25.3
最小值	20	168	63	7.0	46	56.32	20.8

二、全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 的影響

本研究探討了全力運動負荷模式 ($120\% \dot{V}O_{2max}$, 90rpm 與 40N, 全力衝刺) 和運動專項 (速度型、耐力型) 對以下五種不同方式：絕對值 (L)、體重相對值 (ml·kg 體重⁻¹)、去脂體重相對值 (ml·kg 去脂體重⁻¹)、下肢體積相對值 (ml·L 下肢體積⁻¹) 與下肢肌肉質量相對值 (ml·kg 下肢肌肉質量⁻¹)

表示的 MAOD 值的影響，結果如下：

表二、全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 值的影響

變項	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
L 絕對值	6.11 ± 1.23 ^{*b}	3.39 ± 0.78 ^{*a,c}	5.69 ± 1.37 ^{*b}	2.06 ± 0.82
ml · kg ⁻¹ 體重	86.5 ± 17.99 ^{*b}	49.6 ± 10.99 ^{*a,c}	80.2 ± 18.62 ^{*b}	30.3 ± 10.95
ml · kg ⁻¹ 去脂體重	99.0 ± 19.51 ^{*b}	56.1 ± 13.53 ^{*a,c}	91.9 ± 21.15 ^{*b}	34.5 ± 14.00
ml · kg ⁻¹ 下肢體積	225.3 ± 40.39 ^{*b}	142.6 ± 26.96 ^{*a,c}	207.0 ± 35.84 ^{*b}	86.0 ± 38.96
ml · kg ⁻¹ 下肢肌肉質量	236.7 ± 45.17 ^{*b}	148.5 ± 29.30 ^{*a,c}	219.3 ± 49.02 ^{*b}	89.6 ± 29.11

^a：負荷模式間有顯著差異；^b：運動專項間有顯著差異；

*^c：負荷模式與運動專項間有顯著交互作用存在。

肆、討論

一、不同運動項目運動員的 MAOD 水準

(一) 以 L 絕對值表示的 MAOD 值

本研究速度組受試者之 MAOD，無論是以 Medb ϕ 傳統法或 40N 新方法所測得的值均顯著的高於耐力組，而造成此一結果的原因，很可能是與速度型選手擁有較多的肌肉量及肌肉中白肌纖維比例有關。

(二) 以 ml · kg⁻¹ 體重⁻¹表示的 MAOD 值

本研究短距離速度組（100、200、400m）受試者不論是以 Medb ϕ 傳統法或 40N 新方法所測得之 MAOD 值（86.5 ± 17.99 vs 80.20 ± 18.62 ml · kg⁻¹）均略高於 Bangsbo 等人（1993）以自由車選手（短距離項目 3 人）所測得的 56.5 ml · kg⁻¹、Weyand 等（1994）以短跑選手（男 9 人）所測得的 55.1 ± 5.7 ml · kg⁻¹、Nummela 等（1995）以短距離選手（男 8 人）所測得的 53.9 ml · kg⁻¹ 及 Calbet 等（1997）以短距離選手（男 19 人）所測得的 68.6 ml · kg⁻¹；但與 Olesen 等（1994）所測得的 82.9 ml · kg⁻¹ 及 Naughton 等（1997）以短距離選手所測得之值（71.5 ml · kg⁻¹）相近。

而在耐力型運動員受試者方面，耐力型受試者以 MAOD 傳統法所測出之值，顯著的高於以 40N 新方法所測出之值（49.60 ± 10.99 vs 30.30 ± 10.95 ml · kg⁻¹），而用傳統法所測出之 MAOD 值與過去文獻其他學者所

研究之結果相一致。

(三) 以 $\text{ml} \cdot \text{kg}$ 去脂體重⁻¹、 $\text{ml} \cdot \text{kg}$ 下肢體積⁻¹ 與 $\text{ml} \cdot \text{kg}$ 下肢肌肉質量⁻¹ 表示的 MAOD 值

當以各種相對值表示 MAOD 時，不論是速度型或耐力型選手，其以 40N 法所得到的 MAOD 值均小於以 Medb ϕ 傳統法所得之值；此外，不論是在 Medb ϕ 傳統法或是 40N 新方法下，速度組之 MAOD 值均顯著的高於耐力組。就運動負荷模式和運動專項對 MAOD 值的交互作用來看，速度型選手之 MAOD 值較不受運動負荷模式的影響，但在耐力型選手方面則會發現，耐力型選手在 Medb ϕ 傳統法下所測得的 MAOD 值會顯著的高於在 40N 新方法下所測得之值。由於過去的文獻極少將 MAOD 值以去脂體重、下肢體積及下肢肌肉質量等相對指標來表示，因此，本研究結果只能與 Weyand 等 (1993) 及 Pizza 等 (1996) 的研究結果相比較。

Weyand 等 (1993) 以 11 名男性受試者測試其 MAOD 值，結果其去脂體重 MAOD 值為 $66.0 \pm 7.2 \text{ ml} \cdot \text{kg FFM}^{-1}$ 、去脂下肢體積 MAOD 值為 $265.0 \pm 35.1 \text{ ml} \cdot \text{L FFLV}^{-1}$ ；Pizza 等人 (1996) 以 11 名抗阻力選手及 10 名耐力型選手測試其 MAOD 值，結果其去脂體重 MAOD 值為 61.1 ± 3.9 vs $59.2 \pm 4.1 \text{ ml} \cdot \text{kg FFM}^{-1}$ 、下肢肌肉質量 MAOD 值為 183.4 ± 12.6 vs $185.2 \pm 13.2 \text{ ml} \cdot \text{kg LMM}^{-1}$ 。由表二可見，本研究之速度型受試者其以去脂體重及下肢肌肉質量表示的 MAOD 值 ($99.00 \pm 19.51 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 $236.7 \pm 45.17 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 明顯的高於 Weyand 等人的 $66.0 \pm 7.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 Pizza 等人的 $61.1 \pm 3.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 $183.4 \pm 12.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；而本研究耐力型受試者在以下肢肌肉質量表示的 MAOD 值方面，則明顯的較低於 Pizza 等人的研究結果 (148.5 ± 29.30 vs $185.2 \pm 13.2 \text{ ml} \cdot \text{kg LMM}^{-1}$)。

二、運動負荷模式和運動專項對 MAOD 之影響

本研究探討了 2-3 分鐘全力運動負荷模式 ($120\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 負荷, 90 rpm 與 40N, 全力衝刺) 和運動專項 (速度型、耐力型) 對以各種方法 (絕對值、體重相對值、去脂體重相對值、下肢體積相對值、下肢肌肉質量相對值) 表示的 MAOD 的影響，結果發現，全力運動負荷模式和運動專項對各種方法表示的 MAOD 值均有顯著的交互作用存在；而且，全力運動負荷模式和運

動專項的主要效果也均達顯著水準，並進一步發現，速度組受試者不論是在何種負荷模式下，其測得之 MAOD 值均顯著的高於耐力組；此外，耐力組之 MAOD 值有明顯的運動負荷模式差異，亦即在 Medb ϕ 傳統法下所測得之 MAOD 值會顯著的高於在 40N 新方法下所測得之值，但在速度組則無運動負荷模式之差異存在。

伍、結 論

- 一、不論是以何種全力運動負荷模式（ $120\% \dot{V}O_{2max}$ ，90 rpm 或 40N，全力衝刺），速度組受試者測得之 MAOD 值均顯著的高於耐力組。此外，在 Medb ϕ 傳統法下耐力組所測得的 MAOD 值會顯著的高於在 40N 新方法下所測得之值，但在速度組則無運動負荷模式之差異存在。
- 二、在從事 2-3 分鐘超最大運動時，40N 方法（40N，全力衝刺）較 Medb ϕ 傳統法（ $120\% \dot{V}O_{2max}$ ，90 rpm）更能鑑別出速度組與耐力組之 MAOD 差異性。

參考文獻

- Bangsbo, J., Michalsik, L., & Petersen, A. (1993). Accumulated O_2 deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. International Journal of Sports Medicine, 14(4), 207-213.
- Bangsbo, J. (1996). Oxygen deficit: A measure of the anaerobic energy production during intense exercise? Canadian Journal of Applied Physiology, 21(5), 350-363.
- Bangsbo, J. (1996). Bangsbo responds to Medb ϕ 's paper. Canadian Journal of Applied Physiology, 21(5), 384-388.
- Calbet, J.A.L., Chavarren, J., & Dorado, C. (1997). Fractional use of anaerobic capacity during 30- and a 45-s Wingate test. European Journal of Applied Physiology, 76, 308-313.
- Hermansen, L., & Medb ϕ , J. I. (1984). The relative significance of aerobic and anaerobic processes during maximal exercise of short duration. Medicine and Sport Science, 17, 56-67.
- Medb ϕ , J. I., & Mohn, A. C., Tabata, I. Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O_2 deficit. Journal of Applied Physiology, 64(1), 50-60.

- Naughton, G. A., Carlson, J. S., Buttifant, D. C., Selig, S. E., Meldrum, K., Mckenna, M. J., & Snow, R. J. (1997). Accumulated oxygen deficit measurements during and after high-intensity exercise in trained male and female adolescent. European Journal of Physiology, *76*, 525-531.
- Neder, J. A., Nery, L. E., Andreoni, S., Sachs, A., & Whipp, B. J. (2000). Oxygen cost for cycling as related to leg mass in male and females, aged 20 to 80. International Journal of Sports Medicine, *21*, 263-269.
- Nummela, A., & Rusko, H. (1995). Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. International Journal of Sports Medicine, *16*(8), 522-527.
- Olesen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J., Secher, N. H. (1994). Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. European Journal of Applied Physiology, *69*, 140-146.
- Pizza, F.X., Naglieri, T.A., Holtz, R. W., Mitchell, J.B., Starling, R.D., & Braun, W.A. (1996). Maximal accumulated oxygen deficit of resistance trained men. Canadian Journal of Applied Physiology, *21*(5), 391-402.
- Renoux, J. C., Petit, B., Billat, V., & Koralsztein, J. P. (2000). Calculation of times to exhaustion at 100 and 120% maximal aerobic speed. Ergonomics, *43*(2), 160-166.
- Shephard, R.T., Bouhlel, E., Vandewalle, H., & Monod, H. (1988). Muscle mass as a factor limiting physical work. Journal of Applied Physiology, *64*, 1472-1479.
- Weyand, P.G., Cureton, K. J., Conley, D. S., & Higbie, E. J. (1993). Peak oxygen deficit during one-and two-legged cycling in men and women. Medicine and Science in Sports and Exercise, *25*, 584-591.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A., & Liu, Y. L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. Medicine and Science in Sports and Exercise, *26*(9), 1174-1180.
- Woolford, S. M., Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. C., Stanef, T., & McKenzie, I. (1999). Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds cyclists. European Journal of Applied Physiology, *80*, 285-291.

Effect of Different Maximal Exercise Modes and Sports Events on Maximal Accumulated Oxygen Deficit (MAOD)

Huey-June Wu

Chinese Culture University

Jung-Chang Lin

National College of Physical Education and Sport

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of 2-3 minutes of supramaximal exercise under different modes (120% $\dot{V}O_2$ max, 90 rpm and 40N load, full strength) on the maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) of subjects with different sports events (speed group and endurance group). The subjects were 20 male members of university physical education department track and field team (10 in speed group; 10 in endurance group). Each subject went through a $\dot{V}O_2$ max, four submaximal exercise tests (40%, 55%, 70% and 85% $\dot{V}O_2$ max, exercise continued for 8 minutes), two 2-3 minutes of supramaximal exercise tests (120% $\dot{V}O_2$ max, 90 rpm and 40N load, full strength), 400 M test and anthropometry etc. All data were analyzed by two-way ANOVA to have significance level $\alpha = .05$. The derived results showed that (1) No matter under what kind of maximal exercise mode (120% $\dot{V}O_2$ max, 90 rpm or 40N load, full strength), MAOD of speed group was significantly higher than that of endurance group; besides, MAOD of endurance group derived by Medb ϕ traditional method was significantly higher than that by 40N new method. (2) When 2-3 minutes of supramaximal exercise was taken, 40N method (40N, full strength) is better than Medb ϕ traditional method (120% $\dot{V}O_2$ max, 90 rpm) to identify the difference between speed group and endurance group.

Keywords: exercise mode, sports event, maximal accumulated oxygen deficit, MAOD