

4324
2000
2651

國立台灣師範大學體育學系
博士學位論文

最大累積作功量及缺氧量評價
無氧運動能力之比較研究



臺灣體院圖書館



0140638

研究生：吳慧君
指導教授：林正常

中華民國八十九年十二月
中華民國台北市

最大累積作功量及缺氧量評價 無氧運動能力之比較研究

2000 年 12 月

研究生：吳慧君

指導教授：林正常

中文摘要

本研究之目的在建立無氧運動能力的物理檢測方法並與最大累積缺氧量法在預測 400m 最大努力跑步成績上進行比較。以 20 名男性大學田徑選手為受試對象，每人分別接受最大累積缺氧量 ($120\% \dot{V}O_2$, 90 rpm 及 40N, 全力衝刺) 之測驗、阻力 (68N、55N 及 48N) 一累積作功量測驗、Wingate 30 秒無氧踏車測驗、400m 最大努力跑步測驗與人體測量等多項測試，所得資料以混合設計雙因子變異數分析及皮爾森積差相關統計方法處理之，得到以下結果：不論是以傳統法或 40N 法所測得之 MAOD，速度組均顯著的高於耐力組；此外，40N 新方法較傳統法更能鑑別速度組與耐力組之差異性。在阻力一累積作功量方面，68N 阻力下的最大累積作功量 (Σ_{68N}) 及平均作功量 (MP_{68N}) 較可用於評價人體之無氧運動能力。在預測 400m 最大努力跑步成績方面， Σ_{68N} 和 MP_{68N} 的效果優於 MAOD 及 Wingate 30 秒無氧踏車測驗。本研究結果顯示，68N 最大累積作功量 (Σ_{68N}) 與 40N 法所測得之 MAOD 較能評鑑出人體無氧運動能力。

關鍵詞：最大累積作功量、最大累積缺氧量法、無氧運動能力、人體測量

The Comparison between Maximal Accumulated O₂ Deficit (MAOD) and Maximal Accumulated Total Work (MATW) in Evaluation of Anaerobic Capacity

Graduate: Wu, Huey-Chiun

Advisor : Lin, Jung-Chang

December, 2000

Abstract

In this thesis, we reported a method of the anaerobic ability which could evaluate the athlete's performance in 400-m running test. The result obtained from this method has been compared with that of maximal accumulated O₂ deficit (MAOD). Twenty male university athletes in track and field event were selected as subjects. Each subject took the physical measurements including methods of the traditional (120% $\dot{V}O_2$, 90rpm) and the 40N (40N cycle test) for MAOD, the force(68N, 55N and 48N) — accumulated work test, the Wingate 30-s cycle test, the 400-m running test and anthropometry. The data from these measurements were treated by two-way ANOVA and Pearson product-moment correlation, and showed that MAOD values of the speed group were higher than those of the endurance from both analyses of the traditional and the 40N. However, the 40N method was superior in distinguishing the MAOD difference between the speed group and the endurance group. Among the measurements of the force—accumulated work test, the maximal accumulated total work (Σ) and mean power (MP) of the 68N were the most suitable in evaluating the anaerobic ability. In addition, Σ_{68N} and MP_{68N} are better methods than MAOD and Wingate 30-s cycle test in predicting the athlete's performance in the 400-m running test. In conclusion, the 40N method and the Σ_{68N} are more accurate in evaluating the anaerobic ability.

Key words: Maximal Accumulated Total Work (MATW), Maximal Accumulated O₂ Deficit (MAOD), anaerobic ability, anthropometry

最大累積作功量及缺氧量評價 無氧運動能力之比較研究

目次

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
謝誌詞.....	III
目次.....	IV
表次.....	VII
圖次.....	IX
第壹章 緒論	
一、問題背景.....	1
二、研究目的.....	3
三、名詞操作定義.....	3
四、研究假設.....	4
五、研究的重要性.....	5
第貳章 文獻探討	
一、MAOD 檢測方法及其內在效度研究.....	6
二、MAOD 法的外在效度研究.....	12
三、結語.....	18
第參章 實驗步驟與設計	
一、實驗對象.....	19
二、實驗時間、地點.....	19
三、實驗設計.....	19

四、統計方法.....	24
-------------	----

第肆章 結果

一、40~85% $\dot{V}O_2$ max 次大運動時之 $\dot{V}O_2$ 穩定性.....	26
二、全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 值的影響.....	27
三、運動負荷模式和運動專項對全力運動時之理論需氧量 平均作功量和實際耗氧量的影響.....	35
四、全力運動下之負荷阻力和運動項目與最大累積作量及 平均作功量之間的關係.....	40
五、MAOD、68N 最大累積作功量、68N 平均作功量、30 秒 Wingate 平均無氧動力和 400m 最大努力跑步成績之 相關分析.....	43
六、MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate 30 秒平均無氧動力 評價人體無氧運動能力之區分度.....	44
七、負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響...	45

第伍章 討論

一、建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線圖的運動負荷模式.....	47
二、全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 值的影響.....	49
三、運動負荷模式和運動專項對全力運動時之理論需 氧量和實際耗氧量的影響.....	51
四、全力運動下負荷阻力 (48、55、68N) 和運動專項 (速度組、耐力組) 對最大累積作功量及平均作功 量之影響.....	52
五、MAOD、68N 最大累積作功量 (Σ_{68N})、68N 平均 作功量 (MP_{68N})、30 秒 Wingate 平均無氧動力 (Wingate MP) 和 400m 最大努力跑步成績之相關分析.....	53
六、MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate 30 秒平均無氧動力 評價人體無氧運動能力之區分度.....	54
七、負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響...	54

第六章 結論與建議

一、結論.....	56
二、建議.....	57
參考文獻	58
附錄一 受試者須知.....	63
附錄二 受試者同意書.....	64
附錄三 健康情況調查表.....	65
附錄四 受試者原始基本資料.....	66
附錄五 各項檢測之基本資料.....	67

表 次

表 2-1	不同運動項目選手 MAOD 值的測量結果.....	15
表 3-1	受試者基本資料	19
表 4-1	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值之變異 數分析摘要表	28
表 4-2	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值之檢測 結果	28
表 4-3	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值之 變異數分析摘要表	29
表 4-4	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值之 檢測結果	30
表 4-5	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對 值之變異數分析摘要表	31
表 4-6	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對 值之檢測結果	31
表 4-7	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對 值之變異數分析摘要表	32
表 4-8	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對 值之檢測結果	33
表 4-9	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量 相對值之變異數分析摘要表	34
表 4-10	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量 相對值之檢測結果	34
表 4-11	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時理論需氧量之變異數分析摘要表	35
表 4-12	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時理論需氧量之檢測結果	36
表 4-13	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時平均作功量之變異數分析摘要表.....	37
表 4-14	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時平均作功量之檢測結果	37
表 4-15	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時實際耗氧量之變異數分析摘要表	38
表 4-16	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動 時實際耗氧量之檢測結果	39

表 4-17	負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量之變異數分析摘要表	40
表 4-18	負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量之檢測結果	41
表 4-19	負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量之變異數分析摘要表	42
表 4-20	負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量之檢測結果	42
表 4-21	Wingate 平均無氧動力、 Σ_{68N} 和 MP_{68N} 與 400m 最大努力跑步成績之相關係數摘要表	43
表 4-22	MAOD 與 Wingate 平均無氧動力、400m 最大努力跑步成績、 Σ_{68N} 及 MP_{68N} 之相關係數摘要表	44
表 4-23	MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate MP 評價無氧運動能力之區分度	45
表 4-24	負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值之變異數分析摘要表	46
表 4-25	負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值之檢測結果	46

圖 次

圖 3-1	2 分鐘最大運動時 MAOD、耗氧量和需氧量之關係圖.....	20
圖 4-1	40-85% $\dot{V}O_2$ max 次大運動時之 $\dot{V}O_2$ 穩定性	26
圖 4-2	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值的影響...	28
圖 4-3	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值的 影響	30
圖 4-4	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對 值的影響	31
圖 4-5	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對 值的影響	33
圖 4-6	全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量 相對值的影響	34
圖 4-7	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時 理論需氧量的影響	36
圖 4-8	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時 平均作功量的影響	38
圖 4-9	全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時 實際耗氧量的影響	39
圖 4-10	負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量的 影響	41
圖 4-11	負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量的影響...	43
圖 4-12	負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響...	46

最大累積作功量及缺氧量評價 無氧運動能力之比較研究

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。

目前，檢測和評價無氧運動能力的方法仍未十分完善且再現性較差。雖曾有人以肌肉生檢法(muscle biopsy)直接測定人體骨骼肌中ATP-PC和肌乳酸含量來評價無氧運動能力，但肌肉生檢法所需之儀器昂貴、技術要求高且獲取肌肉過程不易，故難以在實際運動訓練中推廣和應用。因此，學者們相繼建立了一些易操作且又不失準確性的間接測量法，如Margaria-Kalamen(1968)動力測驗是以跑樓梯方式測驗出受試者下肢無氧動力(ATP-PC磷化物系統)的方法；Wingate(1977)30秒無氧動力測驗是以腳踏車測力器或手搖功率器做為工具，主要是測受試者之ATP-PC及無氧糖酵解系統，這些方法在評定人體無氧運動能力方面確實有一定的價值，但研究顯示也有許多不足之處，如再現性較差且具有相當程度的「特殊性」；就目前廣為採用的Wingate測試而言，30秒的運動時間尚不能完全激發糖酵解供能系統的活動，並且運動中所消耗能量的15%仍由有氧代謝提供(MacDougall, 1991)，而Margaria-Kalamen試驗，因其只適合

下肢肌肉屬於 ATP-PC 系統供能範圍內無氧動力評價，故也不能成為評價人體無氧運動能力的可靠方法。

1984 年，Hermansen 和 Medbø 首先提出了最大累積缺氧量 (maximal accumulated O_2 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 Medbø 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 2-16min 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，低估無氧運動能力便成為 MAOD 法的主要不足之處。

傳統上，評估無氧運動能力 (anaerobic ability) 都是分別透過無氧動力 (anaerobic power) 和無氧能力 (anaerobic capacity) 兩方面進行的，但目前尚無同時兼顧無氧動力和無氧能力的評價方法，而實際上，一個人的無氧運動能力是由以上二方面共同作用決定的。事實上，無氧運動能力可透過受試者在無氧代謝狀態下的累積作功量間接測量，但累積作功量與受試者對抗阻力的大小有關，故無氧運動能力實際上是負荷阻力狀態下的函數，既然，無氧運動能力是全力運動下負荷阻力的狀態函數，因此，如何對此函數進行研究，提出兼顧無氧動力和無氧能力的特徵參數來評價無氧運動能力，是極待解決的問題。

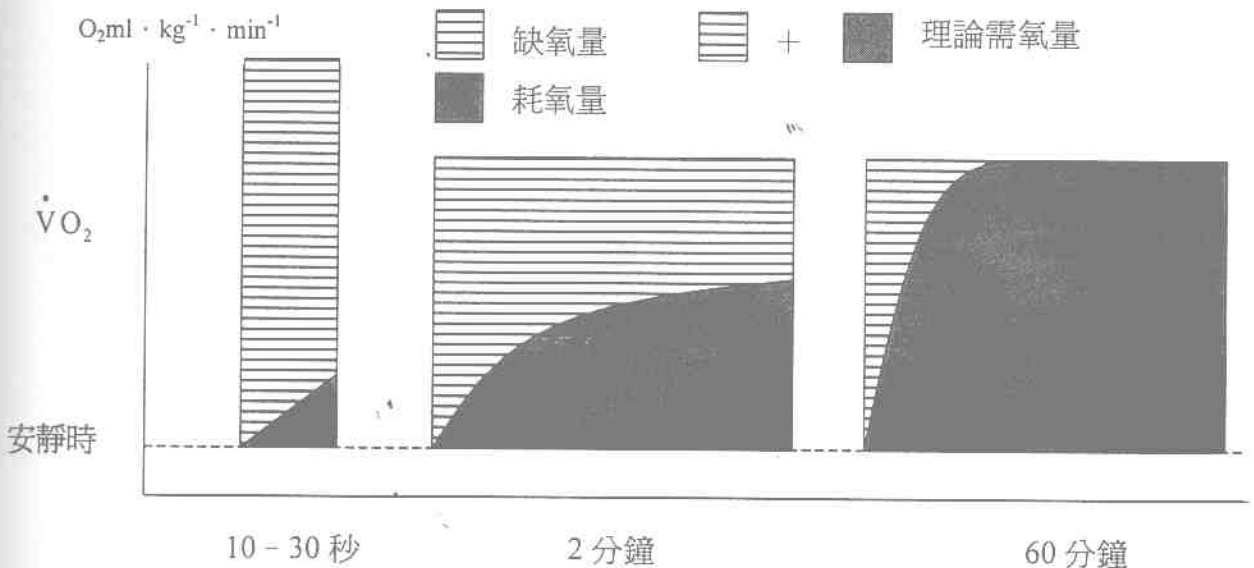
二、研究目的

本研究目的在建立無氧運動能力的物理檢測方法並與最大累積缺氧量法 (MAOD) 在預測 400m 跑步成績上進行比較，因此，其研究目的有四：

- (一) 比較受試者 (速度型和耐力型) 在不同模式 ($120\% \dot{V}O_{2\max}$ 負荷, 90rpm 和 40N 負荷, 全力衝刺) 進行 2-3 分鐘之超大運動對 MAOD 之影響。
- (二) 研究全力運動負荷下, 負荷阻力 (68N、55N、48N) 和運動專項 (速度型與耐力型) 對最大累積作功量和平均作功量之影響。
- (三) 比較 MAOD 法與最大累積作功量法評價無氧運動能力之區分度。
- (四) 比較 MAOD 法與最大累積作功量法預測 400m 最大努力跑步成績之差異。

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) 理論需氧量：指依據運動強度—耗氧量關係曲線計算得出 2-3 分鐘最大運動時的需氧量。
- (四) 實際耗氧量：指在 2-3 分鐘最大運動中實際攝入體內的氧量，由運動中耗氧量曲線計算得出。
- (五) 運動強度—耗氧量關係曲線：在 40-85% $\dot{V}O_2 \max$ 範圍內取 4 個點(40%、55%、70%、85% $\dot{V}O_2 \max$)，當做運動強度，每個強度持續運動 8 分鐘，間隔休息 20 分鐘，進行線性迴歸，所建立的關係曲線。
- (六) 阻力—累積作功量(Force-work)關係曲線：本研究阻力—累積作功量之關係曲線是以不同的阻力(N)當作縱座標，以在不同阻力下累積的作功量($N \cdot m$)當作橫座標所完成之曲線。
- (七) 無氧運動能力(anaerobic ability)：無氧運動能力是指人體依賴無氧代謝路徑，維持機體進行最大強度運動的能力。以無氧動力(anaerobic power)及無氧能力(anaerobic capacity)表現出。
- (八) 無氧動力(anaerobic power)：本研究無氧動力是指最高無氧動力，是單位時間內所完成的最大功($N \cdot m \cdot sec^{-1}$)，其動力來源得之於 ATP-PC 的分解。
- (九) 無氧能力(anaerobic capacity)：本研究無氧能力是指一定時間內所完成的功($N \cdot m$)，其動力來源主要得之於乳酸性成份。

四、研究假設

本研究之虛無假設為：

- (一) 不同模式(120% $\dot{V}O_2 \max$ 負荷，90rpm 與 40N 負荷，全力衝刺)進行 2-3 分鐘之超大運動和受試者運動專項(速度

型與耐力型)對MAOD的影響無顯著差異。

- (二) 全力運動負荷下，負荷阻力(68N、55N、48N)和運動專項(速度型與耐力型)對最大累積作功量和平均作功量無顯著相關。
- (三) MAOD法與最大累積作功量法評價無氧運動能力之區分度無顯著差異。
- (四) MAOD法與最大累積作功量法預測400m最大努力跑步成績無顯著差異。

五、研究的重要性

隨著競技運動的競爭激烈，選手對無氧能力的依賴也愈來愈大，不僅是無氧性的運動項目如此，就連混合性乃至有氧性的運動項目其最後致勝的關鍵，往往也與選手具有較強的無氧運動能力有關，然而，運動生理學中有關無氧運動能力檢測方法的研究卻不如有氧運動能力般的蓬勃發展，且對已有的無氧能力、無氧動力測驗，及近年來十分熱門的最大累積缺氧量(MAOD)等的研究仍存在著某些分歧。因此，發展出一套客觀、有效評定人體無氧運動能力的新方法也就顯得特別重要了。

貳、文獻探討

最大累積缺氧量 (MAOD) 試驗是由 Medbø 等人於 1988 年建立和發展的一種檢測和評價人體無氧代謝供能系統提供 ATP 能力的非侵體性方法。它是透過檢測人體在完成 2-3 分鐘超大強度運動時的理論需氧量和實際耗氧量之差所獲得的 MAOD 值；其中理論需氧量是以受試者在非最大強度運動時建立的運動強度-耗氧量關係曲線獲得。MAOD 法的建立是近十年來運動生理學在檢測和評價無氧運動能力上的重要進展之一，而引起研究人員關注的原因有二：一，做為一種新方法，MAOD 與以無氧代謝途徑提供 ATP 的最大能力之間是否有高度相關或互為因果關係？而 MAOD 試驗與其他檢測無氧能力的測驗方法有何不同？原因之二，隨著競技運動的競爭激烈，選手對無氧能力的依賴也愈來愈大，不僅是無氧性的運動項目如此，就連混合性乃至有氧性的運動項目其最後致勝的關鍵，往往與選手具有較強的無氧能力有關，然而，運動生理學中有關無氧能力檢測方法的研究卻不如有氧能力般的蓬勃發展，且對已有的無氧能力、無氧動力測驗，如臨界負荷測驗 (critical power test, CPT) 和 Wingate 無氧動力測驗 (Wingate Anaerobic power test) 等的研究仍存在著某些分歧。因此，MAOD 法的建立無疑是運動生理學研究的一項重要發展，而繼 Medbø 等人 (1988) 之後有關 MAOD 的研究，更是在方法學和應用上證實了 MAOD 的科學性和實用性。

一、MAOD 檢測方法及其內在效度研究

Medbø 等人最初 (1988) 在計算 MAOD 差值時，是透過以下兩個實驗來進行的。首先，他們先讓受試者在介於 35-100% $\dot{V}O_2\max$ 的強度內選擇 20 個運動強度，並對每一強度進行維持 10 分鐘的跑步機運動負荷試驗，在每一運動負荷的 8-10 分鐘時蒐集呼出氣體，建立 $\dot{V}O_2$ -運動強度關係迴歸線；其次，再安排受試者完成 15 秒~4 或 5 分鐘的超大運動負荷，試驗中同步採氣，測定運動中的耗氧量，

然後再以超大運動強度為自變項，以 $\dot{V}O_2$ —運動強度迴歸線預測超大強度的理論需氧量，再計算其與實際耗氧量的差值，獲得 MAOD。後來，Medb ϕ (1988) 在同一篇研究中為簡化上述過程，特提出另一種簡化 MAOD 計算的方式。該方法是以 $\dot{V}O_2$ —運動強度關係迴歸線在 $\dot{V}O_2$ 軸上的截距($5.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)為起點，透過在高強度運動(85-100% $\dot{V}O_{2\text{max}}$)時的 $\dot{V}O_2$ 值，建立 $\dot{V}O_2$ —運動強度關係曲線。此外，Hill(1996)為再進一步簡化建立 $\dot{V}O_2$ —power 關係曲線的繁複過程，提出一種不需採用外推的計算方法，該方法首先讓受試者完成在 90-600 秒內達衰竭的運動，然後透過 $\text{AOD} = \text{需氧量} (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}) \times \text{運動時間} (\text{分}) \times \text{功率} (\text{W}) - \text{累積耗氧量} (\text{ml})$ 之公式計算出 AOD，研究發現，以此方法獲得的 MAOD 與 Medb ϕ 的方法有很高的相關 ($r = .96$)。最近，Hill 等人又提出無需讓受試者從事多次非最大運動的測驗，而只需在 4 次超大運動(95%、100%、105%及 110% $\dot{V}O_{2\text{max}}$)的速度運動至衰竭，即可計算出 MAOD (Hill, Ferguson & Ehler, 1998)。

(一) 建立 $\dot{V}O_2$ —power 關係曲線的運動負荷模式

繼 Medb ϕ 之後，許多學者為了克服傳統 MAOD 測定法耗時的缺點，在非最大強度運動負荷的模式下作了一些改變。其中，在運動負荷上，有些學者是採連續性運動，而有些學者則是採非連續性運動；而在每一次運動負荷的持續時間方面，有人採用 10 分鐘或更長的時間，也有人則採 4-6 分鐘。例如，Scott 等人 (1991) 在比較不同項目選手 MAOD 的差異時，採用了 MAOD 的簡化測定法，取 3 個介於 85~100% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 的強度分別在三天內進行，每個強度運動 10 分鐘，此為非連續性長時間運動；Weyand 等 (1994) 在比較不同性別短、中距離田徑選手的 MAOD 時，採用的也是長時間非連續性運動，但其 $\dot{V}O_2$ 的分析是在每一運動負荷的第 4-5 分鐘時進行；Bangsbo 等人 (1990) 在研究優秀的國家級及國際級選手的無氧能力時，採用的是連續性短時間運動；漸增負荷強度間歇休息 2-10 分鐘不等，每一負荷持續 6 分鐘；Weyand 等 (1993) 在比較單、雙腿運動的 MAOD 時，採用的也是非連續性短時間運動，漸增負荷強度間歇休息 5 分

鐘，每一負荷持續運動 5 分鐘。Green 等 (1996a) 研究優秀自由車選手的無氧能力時，採用的是連續性短時間負荷法，負荷遞增率為 44W/4min，開始負荷為 90W；Olesen 等人 (1992) 比較了中、短距離選手的 MAOD 時，採用的是非連續性短時間負荷法，每一負荷間歇休息 3-7.5 分鐘不等，每一負荷持續運動 6 分鐘。顯然，不同研究雖都是建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線，但卻採用了不同的運動負荷模式。如此差異是否會導致 MAOD 的不同，此一問題已引起有關學者的關注。

一般而言，較高強度的非最大運動時， $\dot{V}O_2$ 會隨時間的延長而增加，也就意味著不同的持續時間所獲得的 $\dot{V}O_2$ 也會有所不同，因而造成從 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線計算出來的預測需氧量和 MAOD 的差異，關於此一推論，Bangsbo 等 (1993) 提供了有利的證據。Bangsbo 等人 (1993) 的研究發現，分別在非最大強度運動的第 4-6 和 8-10 分鐘採氣分析 $\dot{V}O_2$ ，建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線所造成的預測超大運動需氧量差異為 4%，而造成 MAOD 的差異則更高達 21%。此外，Green 等在 1996 年的一項研究中，提到了受試者在分別完成連續性短時間運動負荷和非連續性長時間運動負荷下所獲得的 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線各項參數、預測最大強度運動的需氧量及 MAOD 值時發現：在非最大強度持續時間相同的情況下，連續與非連續運動負荷對超大強度運動需氧量的預測結果無明顯影響，即不影響 $\dot{V}O_2$ -power 關係；而在非最大運動的持續時間方面，持續時間的延長可明顯增加 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線的斜率、預測需氧量(對 423W 的預測)及 MAOD 值 (Green, Dawson, Goodman & Carey, 1996b)。

但在此之前，Medbo 等人 (1990) 對此問題的研究卻認為 7-10 分鐘後，非最大強度運動時的 $\dot{V}O_2$ 不再隨時間的延長而增加。由此看來，在 1996 年以前的研究對於建立精確的 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線的運動負荷模式尚未達成共識，但最近的研究 (Buck, McNaughton, 1999) 以 8 名優秀之耐力型自由車選手在 10 個不同的固定負荷下，分別持續 2-4、4-6、6-8 和 8-10 分鐘的踏車運動，結果顯示，從 8-10

分鐘的固定負荷運動下所得的 AOD 值 ($53.4 \pm 14.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 顯著的高於從 2-4 分鐘所得到的值 ($39.6 \pm 11.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)。綜合以上文獻可見，對於建立精確的 $\dot{V}O_2$ -Power 關係曲線的運動負荷持續時間最好在 6-10 分鐘，因此，本研究之非最大運動負荷運動持續時間定為 8 分鐘。

MAOD 法是基於 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線對超大運動需氧量的預測上建立的一種檢測無氧能力的間接方法，而由此方法所獲得的結果與目前透過各種方法對此問題的直接測定是否一致，引起學者們從不同角度對此一問題進行探討。

為了證明 MAOD 是檢測與評價無氧運動的一項獨立性指標，Medb ϕ 等 (1988) 在最初建立此一方法時就曾對此做過研究，他分別讓受試者吸入不同含氧量的氣體 (21% 和 13.5%) 進行超最大運動負荷試驗和 $\dot{V}O_{2\max}$ 測驗，Medb ϕ 假設，如果 MAOD 確實能反應機體的最大無氧能力，那吸入氣體的 O_2 含量下降勢必造成 $\dot{V}O_{2\max}$ 的減少，但不會對 MAOD 造成影響。實驗結果證明，常氧與低氧下的 $\dot{V}O_{2\max}$ 的確有差異 (下降 22%)，而 MAOD 並無顯著差異，可惜的是，該研究的受試者只有三人。

MAOD 既是評價無氧運動能力的一項有效指標，那是否可以服用一些營養增補劑來提高 MAOD 值就成為一個最新且值得研究的領域。Jacobs 等人 (1997) 的研究顯示，連續補充口服肌酸 5 天 (每天 20g)，可顯著的增加 MAOD 值 (4.04 ± 0.31 增加至 $4.41 \pm 0.34L$, $p < .001$) 及延長超大運動 ($125\% \dot{V}O_{2\max}$) 至衰竭的時間之能力 (130 ± 7 增加至 141 ± 7 秒, $p < .01$)，且此一效果可持續至少一個星期 (139 ± 8 秒, $p < .01$)。此外，Doherty (1998) 的研究也顯示，在運動前一小時攝取咖啡因 ($5\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 可顯著提高 MAOD 值及短距離超最大跑步運動之成績。

(二) MAOD 與肌肉量的關係

一般而言，個體在從事超大運動時的能量消耗與參與運動的肌肉大小及數量有關(Neder, J. A., Nery, L. E., Andreoni, S., Sachs, A., & Whipp, B. J., 2000)，依此推論，最初 Medb ϕ 以雙腿跑步運動為主所測得的 MAOD 值，在運動方式改變後，如單腿運動或四肢共同運動等，也應有相對的改變，而對於此一方面的研究也是目前探討 MAOD 法內在效度的一個重要內容。Bangsbo 等(1993)曾讓 8 名男性受試者完成單腿伸膝試驗，測得的缺氧量(AOD)值為 1.4 升，明顯低於雙腿運動；Saltin(1990)也指出，當受試者同時完成腳踏車和手搖車複合式運動時的 AOD 值，較單純只有腳踏車運動高出約 60-70%，Saltin 還發現如果全身的肌肉(約 30kg)均同樣的參與超大強度運動，MAOD 的最大理論預測值可高達 151-200ml · Kg⁻¹BM。顯然以上兩項研究均證明 AOD 似乎與參與活動的肌肉有關，若果真如此，同在超最大強度運動下，AOD 與肌肉量間存在何種關係？而這種關係又是否具有性別差異？對此，Weyand 等做了系統的研究。

Weyand 等(1993)曾以 11 名男性和 9 名女性受試者，分別測定他們在單腿和雙腿踏車運動下的 $\dot{V}O_2$ 峰值 ($\dot{V}O_{2peak}$) 和 AOD，並以 L, ml · KgBM⁻¹, ml · kgFFM⁻¹ 和 ml · LFFLV⁻¹ (去脂腿體積) 表示 AOD，確定 AOD 與肌肉量的相關及性別差異。Weyand 的實驗結果證明，單腿運動下的 AOD 與預測的肌肉量之間的相關高達 .94；而無論以何種方式表示 AOD，男性的 AOD 均明顯高於女性。

Pizza 等人(1996)以 33 名男性受試者(12 名未訓練者，10 名耐力型選手及 11 名抗阻力型選手)參加 MAOD 試驗，並分別以體重、去脂體重及下肢肌肉量來表示。結果發現，抗阻力型選手及耐力型選手之各項 MAOD 值均顯著的高於未訓練者(分別為以體重表示的 52.5 ± 3.5、53.7 ± 3.7 vs 38.3 ± 3.4 ml · kg⁻¹；以去脂體重表示的 61.1 ± 3.9、59.2 ± 4.1 vs 44.9 ± 3.9 ml · kg⁻¹ 及以大腿肌肉量表示的 183.4 ± 12.6、185.2 ± 13.2 vs 143.8 ± 12.6 ml · kg⁻¹，p

<.05)。此外，Pizza 的研究還發現，只有抗阻力型選手的去脂體重及大腿肌肉量與 MAOD 的相關係數達顯著，其餘二組則無顯著相關；並進一步指出，抗阻力型選手之 MAOD 值 (L) 之所以比耐力型及無訓練者高，其主要原因在於抗阻力選手有較高的大腿肌肉量所致。

因此，Graham (1996) 在為「缺氧量 (oxygen deficit)」下結論時指出，要正確的測得 O_2D 時，必須先正確的測得耗氧量及正確的測出運動時所參與的肌肉量。

(三) MAOD 與無氧生成 ATP 的關係

Medb ϕ 等最初在以 MAOD 法檢測無氧能力時的一個重要假設是，人體在運動中依賴無氧代謝途徑再生 ATP 的數量，即 ATP 轉換率 (turnover rate) 會隨輸出功率 (power) 的增加而呈線性遞增，然而，人體運動中肌肉 ATP 的無氧再合成是否完全遵從此一假設，顯然是關係到 MAOD 法能否成立的基本條件。Medb ϕ 等在 1993 年針對此一問題進行研究。他以 16 名未受過訓練的健康受試者，分別讓他們完成 30 秒~3 分鐘的衰竭性運動，透過肌肉生檢法獲得運動前、後的肌肉樣本，分析其中的 $\Delta [La]$ 、 $\Delta [PC]$ 及 $\Delta [ATP]$ 等，計算 ATP 的無氧生成速率，由此來驗證 ATP 的無氧再生與輸出功率之間的關係。此外，還測定受試者在分別完成 30 秒、1 分鐘和 2-3 分鐘衰竭性運動時的 AOD，探討 AOD 與肌肉無氧 ATP 再生之間的關係。實驗結果發現，以 $mmol ATP \cdot S^{-1} \cdot Kg^{-1}$ 表示的有氧氧化率在 30 秒、1 分鐘和 2-3 分鐘衰竭性運動中基本上相等 (0.82、0.76、0.8)，但 La 生成率 ($mmol \cdot S^{-1} \cdot Kg^{-1}$) 和 PC 分解率會隨輸出功率下降而下降，從而使無氧 ATP 轉換率和 ATP 總轉換率 ($mmol \cdot S^{-1} \cdot Kg^{-1}$) 的產生會隨輸出功率增加而增加的現象；此外，AOD 也隨著功率的增加而增加，30 秒、1 分鐘和 2-3 分鐘衰竭運動的 AOD 值分別為 1.87、2.16 和 2.35 升，顯然，最大 AOD 值發生在 2-3 分鐘的運動中，此一結論也與 Ramsbottom 等人於 1994 年的研究結果相一致；三種功率運動中 ATP 的無氧生成量與 AOD 間的相關係數高達 0.94。以上結果

驗證了 Medbø 等最初的理論假設。然而，在同一年中 Green 等的研究卻得到不盡相同的結果。Green 等讓優秀自由車選手完成強度 $432 \pm 41\text{W}$ 、持續時間 173 ± 24 秒的超大強度運動，以 Medbø 等的方法測定 MAOD，也透過肌肉生檢法分析肌肉能源及代謝物濃度，計算 MAOD 與 ATP 無氧生成量 (Anaerobic ATP, $\text{mmol} \cdot \text{kgdW}^{-1}$) 的相關係數，結果發現其間並無顯著相關 ($r = -0.38$)；此外，Bangsbo 等關於足球、徑賽和自由車選手無氧能力比較的研究也未能發現 MAOD 與反應肌肉無氧能力的某些指標 (如 ST%、肌乳酸峰值、LDH) 和緩衝能力間有顯著相關 (Bangsbo、Michalsik & Petersen, 1993)。

由以上研究可發現，雖然 MAOD 法建立已有 10 餘年且已廣泛應用，但有關 MAOD 法內在效度及其某些方法學方面的問題尚未達成共識，其中，MAOD 能夠反應多少肌肉的無氧 ATP 生成、非最大運動時的 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線應建立在何種運動負荷模式上等問題，均需更多的研究和論證來說明。

二、MAOD 法的外在效度研究

MAOD 能否有效區分不同代謝性質項目選手的代謝特性，靈敏的反應無氧性訓練的效果，準確的預測無氧性運動項目的運動成績以及是否比其他反應無氧能力的試驗更具有鑑別力等，均屬於 MAOD 的外在效度研究。

(一) 不同項目運動員的 MAOD 水準

Olesen 等 (1994) 曾比較中、短距離田徑選手 (SMDR) 與無訓練的休閒性跑者 (RR) 的 MAOD 值；其中包括了三名 400m 跑選手 (成績 $48.5 \sim 52.0$ 秒) 和五名 800-1500m 跑選手 (1000m 成績 $115.3 \sim 123.3$ 秒)，以跑步機為運動工具，分別測定在三種超大運動負荷下，即：15% 坡度運動 1 分鐘、15% 坡度運動 2-3 分鐘和 1% 坡度運動 2-3 分鐘的 MAOD 值，另透過肌肉生檢測定腓腸肌外側的 LDH、肌纖維類型、PC、微血管分佈等，測定結果發現，SMDR 組在三種超大

運動負荷下的 MAOD 均高於 RR 組，但無明顯統計差異；SMDR 組的 $\dot{V}O_2\max$ 明顯大於 RR 組 (72.3 vs 57.8 ml · kg⁻¹ · min⁻¹)；MOD 與乳酸含量及 400、800m 跑成績無明顯相關，但 400-800m 跑成績與 $\dot{V}O_2\max$ 的相關達 0.72-0.87。因此，Olesen 等認為，SMDR 的 MOD 與 RR 組相似，MOD 可以區分 400m 跑選手與 RR 組，但不能區分 800-1500m 跑選手與 RR 組。

Bangsbo 等 (1993) 分別以跑步機、腳踏車及划船器測定賽跑、足球、划船和自由車選手的 AOD 值，並探討 MAOD 與肌肉代謝酶、緩衝能力等相關性。研究發現，划船選手 (5 人) 的 AOD 值為 47.3 ml · kg⁻¹，足球選手 (15 人) 為 49.5 ml · kg⁻¹、賽跑選手 (14 人) 為 51.9 ml · kg⁻¹、自由車選手 (短距離項目 3 人) 為 56.5 ml · kg⁻¹；不同項目選手的 AOD 值與肌肉的檸檬酸合成酶、乙醯輔酶 A 去氫酶、乳酸去氫酶活性、肌纖維微血管分佈、ST% 和肌細胞的緩衝能力間均無明顯相關；此外，以划船器所獲得的 AOD 值較跑步機所測之值高約 36%。

Green 等 (1996) 採用腳踏車功率計測定 10 名自由車選手的 O₂D 值，其中 2 名追逐賽，1 名短距離選手，其餘 7 名為耐力項目選手，研究發現，短距離選手的 O₂D 值為 48.4 ml · kg⁻¹，2 名 pursuitist 平均為 56.05 ml · kg⁻¹，7 名耐力選手平均為 55.86 ml · kg⁻¹；10 名自由車選手的平均 O₂D 值為 55.2 ± 10.3 ml · kg⁻¹。此外，O₂D 值與無氧 ATP 生成量之間並無明顯相關 (r = - 0.38, p > .05)。

Scott 等人 (1991) 採用 Medbφ 的簡化方法，以跑步機為負荷工具，比較長距離選手 (3000m, 4 人)、中距離選手 (800-1500m, 5 人)、短距離選手 (200-400m, 3 人) 和一般對照組 (4 人) 間的 MAOD 值，研究發現，中、短距離選手於 2-3 分鐘的 125-140% $\dot{V}O_2\max$ 強度運動時的 MAOD 值 (74 ml · kg⁻¹，78 ml · kg⁻¹) 顯著高於長距離選手和一般人對照組 (57 ml · kg⁻¹，56 ml · kg⁻¹)；證明前兩組選手有較高的無氧能力；此外，超大強度運動時由無氧代謝供能佔總

能量消耗的比例上來看也有顯著組間差異，即短距離組（39%）>中距離組（37%）>長距離組（30%）（ $p < .05$ ）。

Weyand 等（1994）採用 Medb ϕ 最初使用的長時間跑步機運動負荷法（10 分鐘），取第 4-5 分鐘呼出的氣體建立 $\dot{V}O_2$ -speed 關係曲線，測定不同性別的短跑（男 9 人，女 7 人）和長跑（男 13 人，女 12 人）選手的缺氧量峰值（peak oxygen deficit），結果發現，男短跑選手為 $55.1 \pm 5.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，長跑選手為 $46.8 \pm 11.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；女短跑選手為 $45.3 \pm 6.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，長跑選手為 $37.8 \pm 7.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。顯然的，缺氧量峰值具有明顯的性別差異和項目差異存在。

Nummela 等（1995）探討速度和耐力型選手在從事超大原地跑步機衰竭運動時，其有氧與無氧能量供給情形及 MAOD 與 EPOC 及運動後最大血乳酸峰值之關係時發現，速度型和耐力型選手運動至衰竭的時間相同（ 49.5 ± 6.0 vs 49.0 ± 5.3 秒）；但速度型和耐力型之 O_2D 、EPOC 及血乳酸峰值顯著的高於阻力組，此外， O_2D 與 EPOC 沒有顯著相關，但運動後血乳酸峰值顯著的與 O_2D 及 EPOC 有關。最後 Nummela 結論出，速度和耐力型運動員能量釋放的差異，只有在超大衰竭跑步運動中的後 15 秒的差異，當時，速度型選手使用較多的無氧路徑（43-47%的有氧）；而耐力型運動員能量的產生則用了較多的有氧路徑（54-63%的有氧）。茲將不同運動項目選手之 MAOD 值彙整如表 2-1 所示。

表 2-1 不同運動項目選手 MAOD 值的測量結果

項 目	人 數	性 別	測定工具	MAOD (ml · kg ⁻¹)	作者及年代
長距離	4	男	跑步機	56	Scott 等 (1991)
中距離	5	男	跑步機	74	"
短距離	3	男	跑步機	78	"
輕艇	12	男	划船器	45.91	Terrados 等 (1992)
徑賽	14	男	跑步機	51.9	Bangsbo 等 (1993)
足球	15	男	跑步機	49.5	"
划船	5	男	跑步機	47.3	"
自由車	3	男	跑步機	56.5	"
中短距離	8	男	跑步機	82.9	Olesen 等 (1994)
短距離	9	男	跑步機	55.1	Weyaned 等 (1994)
短距離	7	女	跑步機	45.3	"
長距離	13	男	跑步機	46.8	"
長距離	12	女	跑步機	37.8	"
短距離	8	男	跑步機	53.9	Nummela 等 (1995)
耐力選手	6	男	跑步機	43.1	"
自由車	10	男	腳踏車	55.2	Green 等 (1996)
抗阻力選手	11	男	腳踏車	52.5	Pizza 等 (1996)
耐力型	10	男	腳踏車	53.7	"
短距離	19	男	腳踏車	68.6	Calbet 等 (1997)
短距離	8	男	跑步機	71.5	Naughton 等 (1997)
長距離	8	女	跑步機	58.6	"
自由車 (長)	8	男	腳踏車	53.4	Buck 等 (1999)
自由車 (長)	10	男	腳踏車	56.8	Woolford 等 (1999)

(二) MAOD 與無氧性運動項目成績之關係研究

MAOD 反應個體以無氧代謝途徑提供 ATP 的最大能力，故在理論上應當與無氧性運動項目的成績間有較高的相關；或與反應個體無氧合成 ATP 的其他生理、生化指標間有較大的關連性，對於以上的假設，一些研究給予肯定的支持。例如，Scott 等人 (1991) 研究發現，12 名長、中長及短距離項目選手的 300m、400m 和 600m 跑成績與他們的 MAOD 值間的相關係數分別為 -0.76、-0.57 和 -0.00，其中 300m 跑成績和 MAOD 的相關達顯著性 ($p < .01$)。Weyand 等人 (1994)

研究 41 名不同性別短跑和長跑選手的跑步成績與 MAOD 的相關時發現，MAOD 與 100m、200m、400m、800m、1500m 和 5000m 跑成績的相關係數 r 值分別為 -0.66、-0.71、-0.71、-0.62、-0.52 和 -0.40，顯然，MAOD 與 100-400m 跑成績間有較大的相關。此外，Nummela 等人 (1995) 在研究短時間衰竭性運動中，其有氧、無氧代謝供能比例時也發現，MAOD 值與衰竭性運動後即刻的血乳酸峰值有顯著相關 ($r = 0.53, p < .05$)，但 MAOD 與 EPOC 間並無顯著相關。

然而，當以 AOD 來評估無氧能量在孩童及成人高強度運動時之供能比例時，在孩童方面會較成人大大的低估其無氧能量對高強度運動之貢獻 (Naughton & Carlson, 1998)。

(三) MAOD 與其他無氧能力檢測方法的比較

無氧能力檢測主要是依據個體在最大無氧代謝狀態下完成工作負荷的能力及運動中所累積的缺氧量、運動後的 EPOC 和最大血乳酸濃度等來進行的，常用的檢測方法包括 Wingate 無氧動力測驗、臨界負荷測驗、氧債、MAOD 及最大血乳酸等。由於不同的測驗方法都是基於無氧代謝的不同角度來進行的，故在應用以上方法檢測與評價無氧能力時或多或少存在一些差異。例如，Scott 等 (1991) 在以 MAOD 法和 Wingate 無氧動力測驗來評價長、中長、短距離和一般人的無氧能力時發現，以 MAOD 評價不同組別受試者的無氧能力時，有較大的區別 (D:56.9、MD:74.2、S:78.3，一般人:56.1 ml·kg⁻¹)，而以 Wingate 最高無氧動力 (peak power, W·kg⁻¹) 和 Wingate 無氧能力 (Wingate capacity, KJ) 來進行評價時的差異性則較小 (Wingate 最高無氧動力: D:13.2、MD:13.8、S:14.4，一般人:13.3 W·kg⁻¹。Wingate 無氧能力 D:20、MD:23.1、S:23.9，一般人:22.9 KJ)。此外，MAOD 與 300m 跑之間有顯著相關 ($r = -.76, p < .01$)，而與 Wingate 最高無氧動力則沒有顯著相關 ($r = .54, p > .05$)；Wingate 無氧能力及運動後血乳酸濃度雖也與 300m 跑成績有顯著相關 ($r = -.64$ 和 $-.67$)，但其相關程度不如 MAOD，顯然，MAOD 較 Wingate 無氧動力測驗更能有效評價無氧能力。Hill 等 (1994) 也曾以 MAOD

作為無氧能力測驗與評價的效標 (criterion measure) 來探討臨界負荷試驗的應用價值。Hill 是以 26 名大學體育系學生為受試者，採用非線性迴歸方法測定受試者的無氧能力，以腳踏車功率計測定 MAOD。結果發現，兩種方法在測定結果上具有高度相關 ($r = .77, p < .01$)；此外，不同性別的無氧能力測定值也無明顯方法學間的差異，並且不存在性別、方法學和無氧能力間的交互作用，證明了臨界負荷測驗也是無氧能力的一種有效方法。但是，正如許多研究的發現，臨界負荷測驗很難排除受試者主觀努力因素的影響，而這又往往是導致評價無氧能力測驗成敗的主要因素。另外，Calbet 等人 (1997) 研究發現在固定負荷強度 ($\approx 118\% \dot{V}O_{2\max}$, 80rpm) 下持續運動約 2 分鐘，所得到的 MOD 值 ($68.4 \pm 3.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 顯著的高過 Wingate 30 秒 ($53.7 \pm 1.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 45 秒 ($60.9 \pm 2.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 踏車測驗所測得之 MOD，而且 Calbet 還發現，30 秒 Wingate 踏車測驗所測得之 MOD 與 45 秒 Wingate 測驗之前 30 秒 MOD 相同；但與 30 秒之踏車測驗相比，45 秒之 Wingate 踏車測驗所得到的 MAOD 顯著的高出 30 秒測驗 10% ($p < .001$)

(四) MAOD 的性別差異與訓練效果

一般認為 MAOD 值的大小存在著性別差異，但差異的大小目前還不完全清楚。Medbø 等 (1990) 曾發現，未接受過訓練的女性的 MAOD 較男性低 17%，而經過 6 周的訓練後，男性增加 16%，女性只增加 5%，說明了 MAOD 存在著性別差異且訓練效果也不同。Weyand 等人 (1993) 研究指出，男性選手 MAOD 的絕對值較女性選手高出 95.6%，但若以體重表示、去脂體重和去脂大腿體積來計算 MAOD 的相對值，則男、女間的性別差異將減小，男子分別比女子高出 49.6%、36.7% 和 22.7%。

Naughton 等人 (1997) 以無氧性運動項目的青少年男、女選手 (14.8 ± 0.5 歲 vs 14.5 ± 0.2 歲) 為研究對象，其研究結果指出：男、女性別之 MAOD 存在著顯著差異 ($p < .05$)，其中，男性選手之 MAOD 為 $71.5 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 顯著的高過女性選手之 MAOD 值 ($58.6 \pm 3.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

kg⁻¹)。然而，過去有關 MAOD 性別差異的研究多未考慮訓練因素的影響，且缺乏在多因子實驗設計下的 MAOD 性別差異研究。

三、結語

綜合以上所述，自 Medbø 等人於 1988 年建立 MAOD 試驗法並將之運用在評價人體的無氧能力後，人們對 MAOD 法的內、外在效度都進行一些研究和驗證，在許多方面已獲得一致的共識，但也在某些方面上留下疑問，例如，傳統的和簡化的 MAOD 測驗法，是否會對 MAOD 值造成影響？而最佳的 MAOD 運動負荷為何？又 MAOD 法與其他評價無氧能力的生理學方法相比在哪些方面具優勢？而在多因子實驗設計下，MAOD 的性別差異及 MAOD 的可訓練性大小等問題，都是有待運動科學從業人員進一步研究及探討的。

參、實驗步驟與設計

一、實驗對象

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。

表 3-1 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 (%)	$\dot{V}O_2\max$ (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、實驗時間、地點

本實驗於民國八十九年一月一日至一月三十一日止，於中國文化大學運動生理實驗室內進行。

三、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 $\dot{V}O_2\max$ 。
- (3) 取運動後恢復期第 3、5、7 分鐘之肘前靜脈血量測血乳酸值。

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., & Koralsztein, J. P., 2000)、90rpm (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) 抽取運動後第 5、7、9、12 分鐘之靜脈血，測量其血乳酸值。

(3) 以 120% $\dot{V}O_{2,max}$ 的強度，90rpm 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

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

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

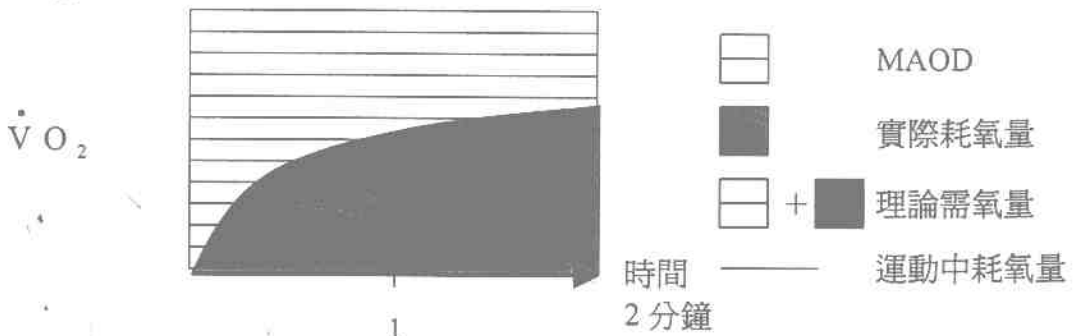


圖 3-1 2 分鐘最大運動時 MAOD、耗氧量和需氧量之關係圖

(二) 阻力 (N) — 累積作功量 (N·m) 測驗

經多次的先前實驗(pilot study)找出受試者可全力衝刺 10-20 秒、30-40 秒及 60 秒的負荷阻力，分別是 68N、55N 及 48N，再以此三個負荷建立阻力 (N) — 累積作功量 (N·m) 之關係曲線。

1、10~20 秒踏車測驗(68N)

10~20 秒踏車測驗是以 Monark 829E 為實驗工具，剛開始的負荷是依受試者的體重而定 [$(0.098 \times \text{體重} \times 9.8) \div 3$]。當“開始”指令發出後，受試者全力踏車 10 秒，以克服車輪的慣性；同時主試者在 2-3 秒內調整阻力至 68N，但此時受試者仍要維持踏板的速率在 80rpm。從“開始”指令發出後，受試者盡全力踏車至少 10 秒。在第一次 10 秒踏車測驗後休息 10 分鐘再進行第二次測驗，求出最高無氧動力值 (Watt & W/Kg)。

在兩次的測驗當中，受試者都必須：

- (1) 踏車過程中，臀部不可離開座墊。
- (2) 當受試者在開始的 2-3 秒內快速調整負荷時，其踩踏速度要維持在 80rpm。
- (3) 當聞“開始”指令後，受試者要儘速快踩踏 10-20 秒，使其每一踩踏都是 Pmax。
- (4) 測驗結果分析項目：

① 最高無氧動力 ($N \cdot m \cdot s^{-1}$; W) = [最大圈數 \times 6m \times 負荷阻力 (68N)]

註：踏板每轉一圈，車輪行經 6m 的距離

② 無氧能力 (即累積作功量, total work, 單位: N·m)
= 68N \times 10-20 秒內總圈數 \times 6m

③ 測量運動後即刻及第 1、3、5、7 分鐘之血乳酸值。

2、30~40 秒踏車運動(55N)

(1) 準備運動

受試者在較低的運動強度下從事準備運動達 5 分鐘，踏板轉速維持在 50-60rpm 其間從事 4 至 5 次為時 4-6 秒的最快速全力踏車。

(2) 休息階段

準備運動後，受試者做 2-5 分鐘的休息（或受試者主觀上感覺休息夠了），或負荷阻力調至最小繼續做動態休息。

(3) 加速期

加速期時間為 15 秒，前 10 秒的負荷阻力是正式測驗阻力的 1/3，其踏板轉速為 20-50rpm；後 5 秒逐漸增加阻力到 55N，然而，全部的加速期不得超過 15 秒。

(4) 正式測驗

當“開始”口令發出後，受試者即儘快踏車，以克服車輪的慣性。測驗者並開始計算踏車圈數，持續計時達 40 秒，在 40 秒內受試者盡全力踏車。

(5) 恢復活動

在 40 秒最大用力踏車後，繼續踏車 2-3 分鐘，在此時間負荷漸輕，可設定 5-20N，踏板轉速在 50rpm。

(6) 測驗結果分析項目

①最高無氧動力（最高無氧動力 peak anaerobic power, Peak-AnP）—40 秒內最大圈數所算出的 watt 數，即為最高無氧動力，動力來源得之於 ATP 和 PC 的分解。

· 最高無氧動力 ($N \cdot m \cdot s^{-1}$; W) = $[55N \times \text{最大圈數} \times 6m]$

②無氧能力 (anaerobic capacity, AnC; total work) — 為 40 秒內所完成的圈數算出的 $N \cdot m$ 或 Watt。動力來源得之於無氧醣酵解及磷酸化系統；即主要是乳酸性成份（約 70%），非乳酸性成份（約 15%）及有氧成份（約 15%）。

· 無氧能力 ($N \cdot m$) = $55N \times (40 \text{ 秒內總圈數} \times 6m)$

③測量運動後第 3、5、7、9、12 分鐘之血乳酸值。

3、60 秒踏車測驗(48N)

60 秒踏車測驗是以 Monark 829E 踏車及電子計數器為實驗工具。當“開始”口令發出，受試者即盡全力快速踏車，主試者在 1.5 秒內調整阻力至規定負荷 48N，持續時間 60 秒，同樣的測驗時間內，受試者不可為了克服車輪阻力而臀

部離開座椅。

(1) 測驗結果分析項目---

① 最高無氧動力 ($48N \cdot m \cdot s^{-1} : W$) = (最大圈數 $\times 6m \times 48N$)。

② 無氧能力 ($N \cdot m$) = (60 秒內總圈數 $\times 6m \times 48N$)。

③ 測量運動後恢復期第 5、7、9、12 分鐘之血乳酸值。

(三) Wingate 30 秒無氧踏車測驗

所有實施步驟同(二)之 2，惟其負荷阻力 (N) = 體重 (kg) $\times 0.9$ (男)。

(四) 400m 最大努力跑步測驗

1、測驗二次，取最佳成績 (秒)。

2、抽取運動後第 3、5、7、9、12 分鐘之肘前靜脈血，測量其血乳酸值。

(五) 人體測量方法

測量的部位都是在右邊，標準的人體測量用具及皮脂夾之詳細說明參照 Shephard 等 (1988) 之方法。

1、測量手臂五個部位之圍度：與縱軸呈 90° (腋下、二頭肌放鬆時之最大圍、肘關節上之最小圍，前臂放鬆時之最大圍及腕關節最小圍)

2、手臂長度的測量：從肩峰量到腕關節的最小圍。

3、測量腿部五個部位之圍度：與縱軸呈 90° (大腿最上方、大腿中間、膝蓋下一點、腓腸肌最大圍及踝關節上來一點點之最小圍)。

4、腿長度的測量：是從腸骨上方到踝關節最小圍。

5、皮下脂肪七處測量部位：肱二頭肌、三頭肌、肩胛下方及腸骨上方，將此四處皮脂厚帶入 Durnin & Womersley (1974) 之公式：男：身體密度 = $1.1765 - 0.0744 (\log_{10} \Sigma S)$ ；其中 ΣS 是四處皮脂厚之總和 (mm)。

體脂肪百分比 = $[(4.95 / \text{身體密度}) - 4.50] \times 100$

另外的三處分別是前臂的後面，大腿前及小腿後。

- 6、三個標準的直徑（兩肩峰，肱骨的髁間及股骨的髁間）由人體測量之測徑器測得。
- 7、肢體總量的計算方式是 $(\sum C^2) L / 62.8$ ，其中 C^2 是每一圍度的平方； L 是肢體長度。
- 8、脂肪量的計算方法是 $(\sum C / 5) (\sum S / 2n) L$ ；其中 $\sum C$ 是五個圍度的總和， $\sum S$ 是該肢段皮脂厚之和，而 n 是量測該肢段皮脂處之數目。
- 9、骨骼量的計算：從髁間的直徑，修正過多的脂肪。過去的文獻發現，手臂的平均骨半徑是修正後肱骨髁間直徑的 21%，而腿骨的平均半徑是修正後股骨髁間的 23.5%。骨骼量的計算是 $3.14R^2L$ ， R 是該肢段骨的半徑 $\times 0.235$ 。
- 10、肌肉量的計算公式是肢體量 (limb volume) - (脂肪量 + 骨骼量)。
- 11、肌肉質量 (muscle mass) 的計算是肌肉量 $\times 1.10g \cdot cm^{-3}$ 。
- 12、最後所得之值 $\times 2$ (假設左、右肢體的肌肉質量是相等的)

四、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 ($120\% \dot{V}O_{2max}$ 負荷, 90rpm 與 40N 負荷, 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下, 負荷阻力 (48、55、68N) 和運動專項 (速度型、耐力型) 對最大累積作功量和平均作功量之影響。
- (三) 以區分度 % 比較 MAOD 法、最大累積作功量法及 Wingate 30 秒無氧動力法, 評價無氧運動能力之區分度。
- (四) 以皮爾森積差相關比較 MAOD 法、最大累積作功量法與 Wingate 30 秒無氧動力法預測 400m 最大努力跑步成績之差異。

- (五) 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下，負荷阻力 (48、55、68N) 和運動專項 (速度型、耐力型) 對血乳酸峰值之影響。
- (六) 本研究以 $\alpha = .05$ 為顯著水準。

肆、結果

一、40-85% $\dot{V}O_{2max}$ 非最大運動時之 $\dot{V}O_2$ 穩定性

如圖 4-1 所示，受試者在完成 8 分鐘的 40-85% $\dot{V}O_{2max}$ 非最大強度運動時， $\dot{V}O_2$ 在 0-6 分鐘階段處於不穩定變化狀態，而在第 6-8 分鐘階段處於穩定變化狀態，此一結果提供了本研究在建立運動強度—攝氧量關係曲線時，取 40-85% $\dot{V}O_{2max}$ 範圍內的四個強度（40%、55%、70%、85% $\dot{V}O_{2max}$ ）持續運動 8 分鐘，以第 6-8 分鐘之平均攝氧量作為穩定狀態（steady state）之 $\dot{V}O_2$ 的依據。

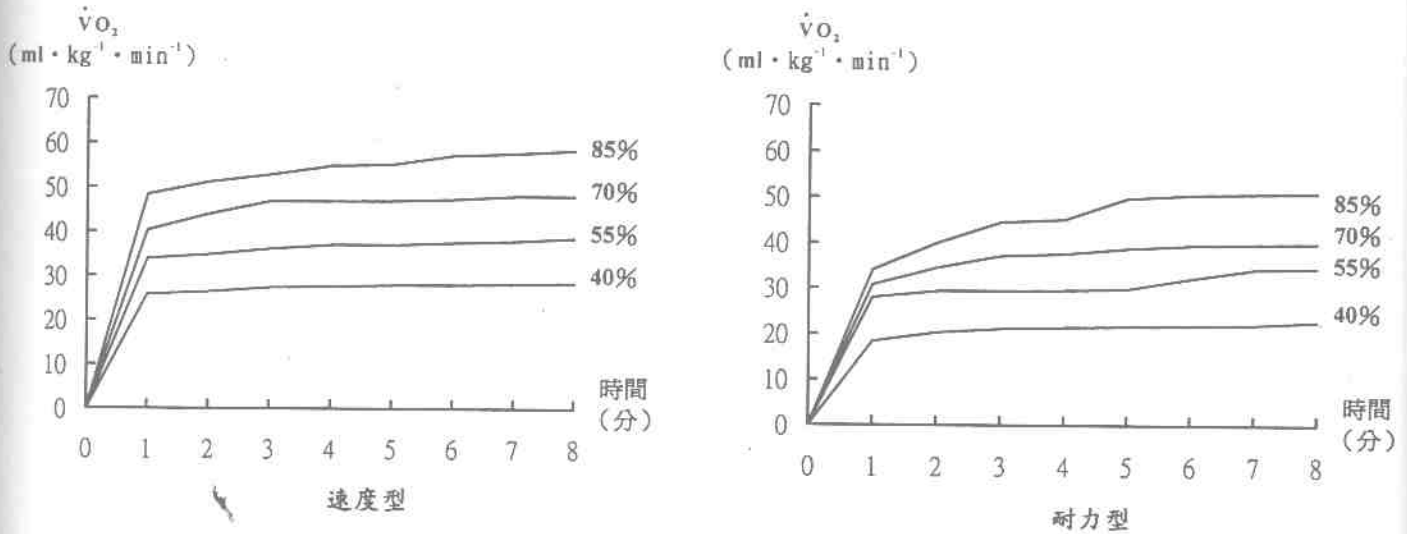


圖 4-1 40-85% $\dot{V}O_{2max}$ 非最大運動時之 $\dot{V}O_2$ 穩定性

二、全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 值的影響

本研究探討了全力運動負荷模式 ($120\% \dot{V}O_{2\max}$, 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 ($\text{ml} \cdot \text{kg 體重}^{-1}$)、去脂體重相對值 ($\text{ml} \cdot \text{kg 去脂體重}^{-1}$)、下肢體積相對值 ($\text{ml} \cdot \text{L 下肢體積}^{-1}$) 與下肢肌肉質量相對值 ($\text{ml} \cdot \text{kg 下肢肌肉質量}^{-1}$) 表示的 MAOD 值的影響, 結果如下:

(一) MAOD 絕對值 (L)

不同全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 絕對值 (L) 的影響見表 4-1、4-2。雙因子變異數分析 (ANOVA) 結果顯示 (表 4-1), MAOD 絕對值與全力運動負荷模式和運動專項有明顯的交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 5.94, P = .025$); 此外, 全力運動負荷模式和運動項目的主要效果也均達顯著水準 (全力運動負荷模式 $F_{(1,18)} = 22.15, P = .000$; 運動項目 $F_{(1,18)} = 50.77, P = .000$)。由圖 4-2 可見, 速度型受試者不論是在何種負荷模式下, 其 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, 耐力組所測得之 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。

表 4-1 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	136.57	19		
運動項目 (B)	100.84	1	100.84	50.77*
群內受試 (S/B)	35.73	18	1.99	
受試者內	15.96	20		
全力運動負荷模式 (A)	7.67	1	7.67	22.15*
運動項目×負荷模式 (B×A)	2.06	1	2.06	5.94*
負荷模式×群內受試 (A×S/B)	6.23	18	0.35	
全體	152.53	39		

*p<.05

表 4-2 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值之檢測結果

(L)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	6.11	3.39	5.69	2.06
(標準差)	(±1.23)	(±0.78)	(±1.37)	(±0.82)
最大值	8.52	4.96	8.86	4.09
最小值	4.05	2.68	3.64	1.26

A1:Med ϕ 法、A2:40N法；B1:速度型、B2:耐力型

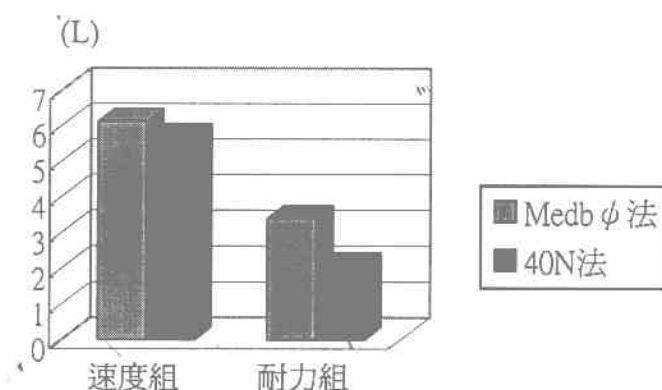


圖 4-2 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 絕對值的影響

(二) MAOD 體重相對值 ($\text{ml} \cdot \text{kg} \text{ 體重}^{-1}$)

不同全力運動負荷模式和運動專項對以體重表示的 MAOD 檢測結果的影響見表 4-3、4-4。雙因子變異數分析結果顯示 (表 4-3)，MAOD 體重相對值與全力運動負荷模式和運動專項有明顯之交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 5.81, P = .027$)；此外，全力運動負荷模式和運動項目的主要效果也均達顯著水準 (全力運動負荷模式 $F_{(1,18)} = 22.53, P = .000$ ；運動專項 $F_{(1,18)} = 49.21, P = .000$)。由圖 4-3 可見，速度型受試者不論是在何種負荷模式下，其以體重相對值表示的 MAOD 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，耐力組所測得之 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。

表 4-3 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	25725.10	19	18835.6	
運動項目 (B)	18835.60	1	18835.60	49.21*
群內受試 (S/B)	6889.50	18	382.75	
受試者內	3370.00	20		
全力運動負荷模式 (A)	1638.40	1	1638.40	22.53*
運動項目 \times 負荷模式 (B \times A)	422.50	1	422.50	5.81*
負荷模式 \times 群內受試 (A \times S/B)	1309.10	18	72.73	
全 體	29095.10	39		

* $p < .05$

表 4-4 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值之檢測結果

	(ml · kg ⁻¹)			
	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	86.50	49.60	80.20	30.30
(標準差)	(±17.99)	(±10.99)	(±18.62)	(±10.95)
最大值	120.00	68.00	123.00	56.00
最小值	54.00	40.00	56.00	18.00

A1:Med ϕ 法、A2:40N法；B1:速度型、B2:耐力型

(ml · kg⁻¹)

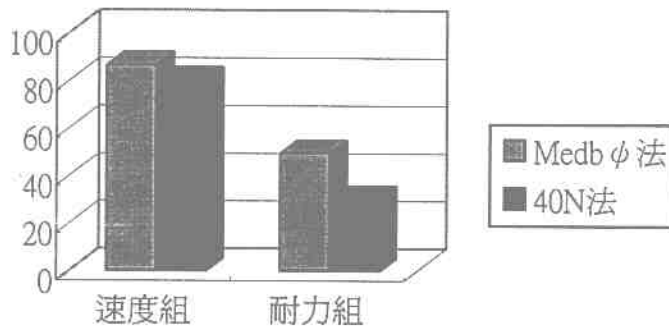


圖 4-3 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 體重相對值的影響

(三) MAOD 去脂體重相對值 (ml · kg 去脂體重⁻¹)

不同全力運動負荷模式和運動專項對以去脂體重表示的 MAOD 檢測結果見表 4-5、4-6 及圖 4-4。雙因子變異數分析結果顯示 (表 4-5)，MAOD 去脂體重相對值與全力運動負荷模式和運動專項有明顯的交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 5.56, P = .03$)；此外，全力運動負荷模式和運動項目的主要效果也均達顯著水準 (全力運動負荷模式 $F_{(1,18)} = 21.78, P = .000$ ；運動專項 $F_{(1,18)} = 49.41, P = .000$)。由圖 4-4 可見，速度型受試者不論是在何種負荷模式下，其以去脂體重表示的 MAOD 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，耐力組所測得之 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。

表 4-5 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	34312.88	19		
運動項目 (B)	25150.23	1	25150.23	49.41*
群內受試 (S/B)	9162.65	18	509.04	
受試者內	4286.51	20		
全力運動負荷模式 (A)	2059.23	1	2059.23	21.78*
運動項目×負荷模式 (B×A)	525.63	1	525.63	5.56*
負荷模式×群內受試 (A×S/B)	1701.65	18	94.54	
全 體	38599.39	39		

*p<.05

表 4-6 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對值之檢測結果
(ml · kg⁻¹)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	99.00	56.10	91.90	34.50
(標準差)	(±19.51)	(±13.53)	(±21.15)	(±14.00)
最大值	134.00	83.00	142.00	69.00
最小值	62.00	45.00	65.00	20.00

A1:Med ϕ 法、A2:40N法；B1:速度型、B2:耐力型

(ml · kg⁻¹)

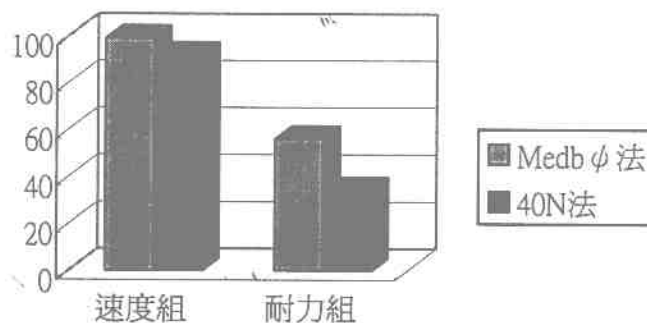


圖 4-4 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 去脂體重相對值的影響

(四) MAOD 下肢體積相對值 ($\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$ 下肢體積 $^{-1}$)

不同全力運動負荷模式和運動專項對以下肢體積表示的 MAOD 相對值檢測結果見表 4-7、4-8 及圖 4-5。雙因子變異數分析結果顯示(表 4-7)，MAOD 下肢體積相對值與全力運動負荷模式和運動專項有明顯的交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 5.16, P = .036$)；且全力運動負荷模式的主要效果達顯著水準(全力運動負荷模式 $F_{(1,18)} = 144.63, P = .000$)。因此，速度型和耐力型之 MAOD 下肢體積相對值有無差異，須視全力運動負荷模式而定。由表 4-8、圖 4-5 可見，40N 新方法下，速度組以下肢體積表示的 MAOD 值顯著高於耐力組；而耐力組在 Medb ϕ 傳統法下所獲得的 MAOD 值則顯著的高於在 40N 法下所得到的值。

表 4-7 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	45187.00	19		
運動項目 (B)	13901.71	1	13901.71	7.99
群內受試 (S/B)	31285.29	18	1738.07	
受試者內	120523.72	20		
全力運動負荷模式 (A)	103887.10	1	103887.10	144.63*
運動項目 \times 負荷模式 (B \times A)	3707.55	1	3707.55	5.16*
負荷模式 \times 群內受試 (A \times S/B)	12929.07	18	718.28	
全體	165710.72	39		

* $p < .05$

表 4-8 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對值之檢測結果
($\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	225.3	142.6	207	86.0
(標準差)	(± 40.39)	(± 26.96)	(± 35.84)	(± 38.96)
最大值	310.0	190.2	292.4	153.8
最小值	143.6	111.1	164.7	50.0

A1:Med ϕ 法、A2:40N法；B1:速度型、B2:耐力型

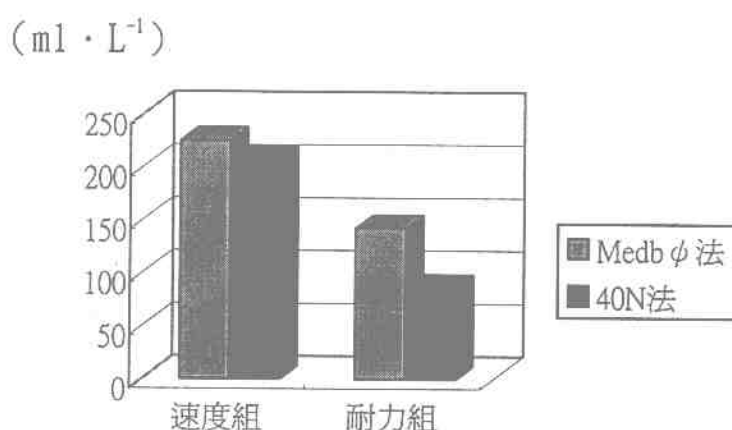


圖 4-5 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢體積相對值的影響

(五) MAOD 下肢肌肉質量相對值 ($\text{ml} \cdot \text{kg}$ 下肢肌肉質量 $^{-1}$)

不同全力運動負荷模式和運動專項對下肢肌肉質量表示的 MAOD 相對值檢測結果見表 4-9、4-10 及圖 4-6。雙因子變異數分析結果顯示(表 4-9)，MAOD 下肢肌肉質量相對值與全力運動負荷模式和運動專項有明顯的交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 4.96$, $P = .039$)；且全力運動負荷模式和運動項目的主要效果也均達顯著水準(全力運動負荷模式 $F_{(1,18)} = 136.58$, $P = .000$ ；運動專項 $F_{(1,18)} = 5.70$, $P = .028$)。由圖 4-6 可見，速度型受試者不論是在何種負荷模式下，其以下肢肌肉質量表示的 MAOD 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，耐力組所測得之 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。

表 4-9 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量相對值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	60324.95	19		
運動項目 (B)	14504.67	1	14504.67	5.70*
群內受試 (S/B)	45820.28	18	2545.57	
受試者內	138841.42	20		
全力運動負荷模式 (A)	118864.50	1	118864.5	136.58*
運動項目×負荷模式 (B×A)	4311.85	1	4311.85	4.96*
負荷模式×群內受試 (A×S/B)	15665.07	18	870.28	
全 體	199166.37	39		

* $p < .05$

表 4-10 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量相對值之檢測結果 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	236.7	148.5	219.3	89.6
(標準差)	(± 45.17)	(± 29.30)	(± 49.02)	(± 29.11)
最大值	321.5	199.1	350.2	161.7
最小值	145.7	115.2	175.0	51.9

A1:Med ϕ 法、A2:40N法 ; B1:速度型、B2:耐力型

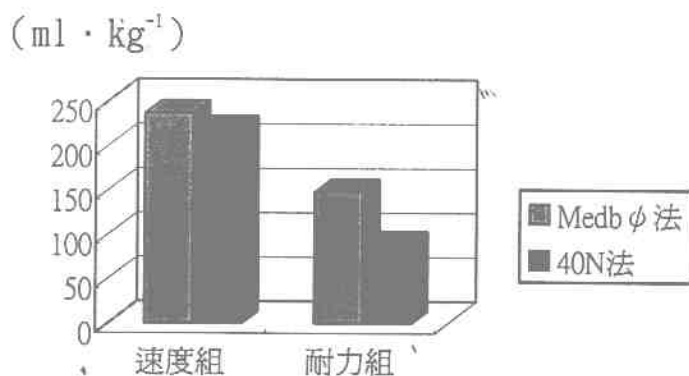


圖 4-6 全力運動負荷模式和運動專項對 MAOD 下肢肌肉質量相對值的影響

三、運動負荷模式和運動專項對全力運動時之理論需氧量、平均作功量和實際耗氧量的影響

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）和選手的運動專長項目（速度型、耐力型）對 2-3 分鐘全力運動時之理論需氧量（ $ml \cdot kg^{-1}$ ）、平均作功量（watt）和實際耗氧量（ $ml \cdot kg^{-1}$ ）的影響，結果如下：

（一）對理論需氧量的影響

全力運動負荷模式和運動項目對 2-3 分鐘全力運動時之理論需氧量的影響見表 4-11、4-12。雙因子變異數分析顯示（表 4-11），運動負荷模式和運動專項對全力運動時的理論需氧量均無主要效果存在，但兩者之間的交互作用對理論需氧量是有顯著影響的（ $F_{(1,18)} = 14.12, P = .001$ ）；由圖 4-7 可見，耐力型的運動員在 120% $\dot{V}O_{2max}$ ，90rpm 的負荷模式下所測得的理論需氧量明顯的高於在 40N、全力衝刺的運動負荷模式下所測得的值；而在 40N 的負荷模式下，速度組之 2-3 分鐘理論需氧量則顯著的高於耐力組。

表 4-11 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時理論需氧量之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	11972.48	19		
運動項目 (B)	616.23	1	616.23	.97
群內受試 (S/B)	11356.25	18	630.90	
受試者內	9890.51 ^m	20		
全力運動負荷模式 (A)	837.23	1	837.23	2.97
運動項目 × 負荷模式 (B × A)	3980.03	1	3980.03	14.12***
負荷模式 × 群內受試 (A × S/B)	5073.25	18		
全體	21862.99	39		

* $p < .05$

表 4-12 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時理論需氧量之檢測結果

	(ml·kg ⁻¹)			
	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	162.30	174.40	173.10	145.30
(標準差)	(±28.53)	(±19.60)	(±17.23)	(±18.18)
最大值	205.00	190.00	205.00	174.00
最小值	116.00	121.00	155.00	108.00

A1:Medbφ法、A2:40N法；B1:速度型、B2:耐力型

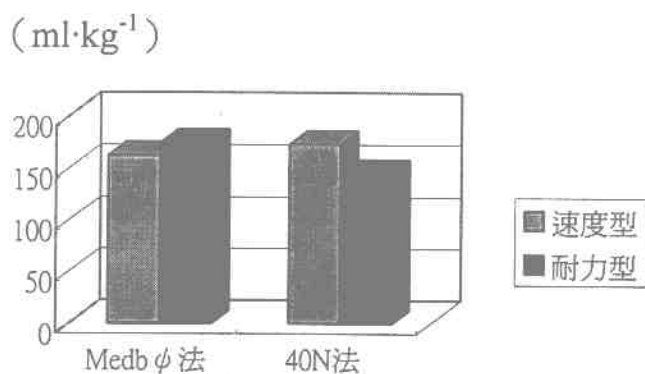


圖 4-7 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時理論需氧量的影響

(二) 對平均作功量的影響

運動負荷模式和運動項目對 2-3 分鐘全力運動時平均作功量 (watt) 的影響見表 4-13、4-14。雙因子變異數分析結果顯示 (表 4-13)，運動負荷模式對平均作功量有顯著的主要效果 ($F_{(1,18)} = 568.31, P = .000$)，且與運動項目對平均作功量有顯著的交互作用存在 ($F_{(1,18)} = 27.36, P = .000$)。因此，速度組和耐力組之平均作功量有無顯著差異，須視全力運動負荷模式而定。

表 4-13 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時平均作功量之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	7849.10	19		
運動項目 (B)	1537.60	1	1537.60	4.39
群內受試 (S/B)	6311.50	18	350.64	
受試者內	549576.00	20		
全力運動負荷模式 (A)	508953.60	1	508953.60	568.31*
運動項目×負荷模式 (B×A)	24502.50	1	24502.50	27.36*
負荷模式×群內受試 (A×S/B)	16119.90	18	895.55	
全體	557425.10	39		

*p<.05

由圖 4-8 可見，在 Medb ϕ 傳統法之負荷模式下，速度組之平均作功量會顯著的高於在 40N 新方法下所測得的值；此外，在 40N 法之負荷模式下，耐力組之平均作功量會顯著的高過速度組。

表 4-14 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時平均作功量之檢測結果 (watt)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	357.20	320.10	294.10	333.00
(標準差)	(±18.64)	(±31.81)	(±14.29)	(±15.33)
最大值	408.00	354.00	312.00	368.00
最小值	345.00	256.00	277.00	308.00

A1: Medb ϕ 法、A2: 40N 法 ; B1: 速度型、B2: 耐力型

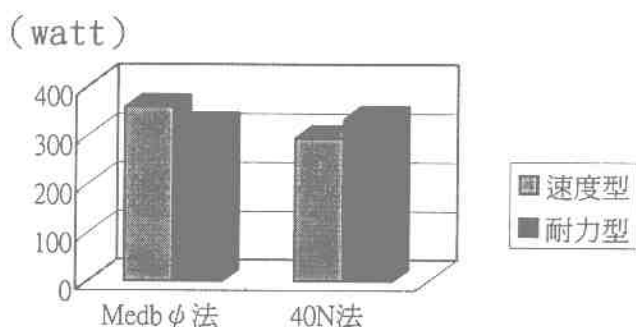


圖 4-8 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時平均作功量的影響

(三) 對實際耗氧量的影響

運動負荷模式和運動項目對 2-3 分鐘全力運動時之實際耗氧量的影響見表 4-15、4-16。雙因子變異數分析結果顯示，運動負荷模式和運動項目對實際耗氧量均有顯著的主要效果 ($F_{(1,18)} = 2067.78$, $P = .000$; $F_{(1,18)} = 48.75$, $P = .000$) 及交互作用 ($F_{(1,18)} = 9.46$, $P = .007$) 存在。

表 4-15 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時實際耗氧量之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	7788.48	19		
運動項目 (B)	5688.23	1	5688.23	48.75*
群內受試 (S/B)	2100.25	18	116.68	
受試者內	501861.51	20		
全力運動負荷模式 (A)	495285.03	1	495285.03	2067.78*
運動項目×負荷模式 (B×A)	2265.03	1	2265.03	9.46*
負荷模式×群內受試 (A×S/B)	4311.45	18	239.53	
全體	509649.99	39		

* $p < .05$

表 4-16 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時實際耗氧量之檢測結果 (ml · kg⁻¹)

	A1B1	A1B2	A2B1	A2B2
人數	10	10	10	10
平均數	82.10	144.00	86.60	95.40
(標準差)	(±16.88)	(±29.12)	(±8.73)	(±14.03)
最大值	106.00	165.00	102.00	110.00
最小值	49.00	65.00	77.00	65.00

A1: Medb ϕ 法、A2: 40N法 ; B1: 速度型、B2: 耐力型

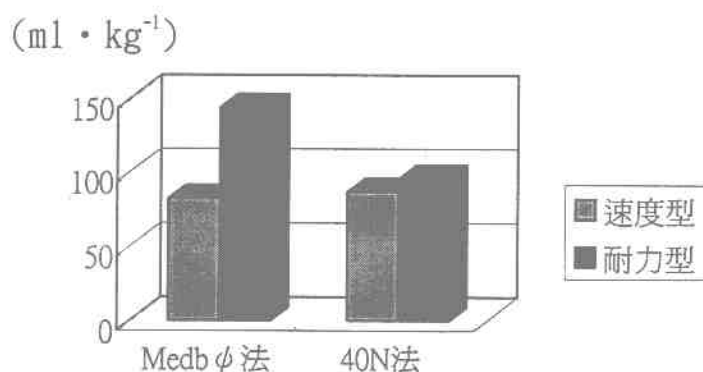


圖 4-9 全力運動負荷模式和運動專項對 2-3 分鐘全力運動時實際耗氧量的影響

由圖 4-9 可見在 Medb ϕ 法下，耐力型運動員在 2~3 分鐘全力運動時之實際耗氧量顯著的高於速度組；而在 40N 法之負荷模式下，二組則無顯著差異。此外，耐力組在 Medb ϕ 傳統法下所測得之實際耗氧量顯著的高於在 40N 法所測得之值，而速度組則無顯著差異。

由於 MAOD 之計算方法為 2~3 分鐘之理論需氧量—實際耗氧量而來，由表 4-11~16 可見，在 40N 負荷模式下速度組之理論需氧量顯著的高於耐力組 (173.10 ± 17.23 vs 145.30 ± 18.18, P < .001)，但在實際耗氧量上兩組卻無差異 (86.60 ± 8.73 vs 95.40 ± 14.03, P > .05)；而在 Medb ϕ 傳統法下，雖然耐力組之理論需氧量略高於

速度組 (174.40 ± 19.60 vs 162.30 ± 28.53)，但在實際耗氧量上卻顯著的高於速度組 (144.00 ± 29.12 vs 82.10 ± 16.88 , $P < .001$)，因此，或許可說在從事 2-3 分鐘超大運動負荷時，40N 新方法 (40N，全力衝刺) 較 Medb ϕ 傳統法 ($120\% \dot{V}O_{2max}$) 更能鑑別運動員之無氧能力。

四、全力運動下之負荷阻力和運動項目與最大累積作功量及平均作功量之間的關係

本研究設計令受試者分別以 48、55 和 68N 阻力進行最大全力運動踏車測驗，以考驗負荷阻力和運動項目與最大累積作功量及平均作功量之間的關係，其結果如下：

(一) 負荷阻力和運動項目對全力運動下最大累積作功量的影響

負荷阻力和運動項目對全力運動下最大累積作功量的影響見表 4-18 及圖 4-7。單純主要效果考驗結果，55N 阻力下，速度和耐力組在最大累積作功量上無顯著差異；而在 48 和 68N 阻力下，兩組的最大累積作功量有顯著差異，其中，48N 阻力下耐力組的最大累積作功量明顯高於速度組，而 68N 阻力下則是速度組的最大累積作功量顯著高於耐力組。ANOVA 分析結果發現 (表 4-17)，負荷阻力和運動專項與最大累積作功量之間有顯著的交互作用存在，此外，負荷阻力對最大累積作功量有顯著的主要效果，而運動專項的作用則不顯著。由表 4-18 及圖 4-7 可見，在 48N 阻力下耐力組的累積作功量顯著高於速度組；而在 68N 阻力下則是速度組顯著的高於耐力組。此外，耐力組受試者在 48N 阻力下所得到的最大累積作功量又顯著的高過在 55N 及 68N 阻力下所獲得之值。

表 4-17 負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量之變異數分析摘要表

變異來源	SS	Df	MS	F
受試者間	79200683.4	19		
運動項目 (B)	783869.4	1	783869.4	.181
群內受試 (S/B)	7116814.0	18	4356489.7	
受試者內	13.45E+0.8	40		
全力運動負荷阻力 (A)	8.03E+0.8	2	4.01E+0.8	96.39*
運動項目×負荷阻力 (B×A)	3.92E+0.8	2	1.96E+0.8	47.09*
負荷阻力×群內受試(A×S/B)	1.50E+0.8	36	4164642.3	
全 體	13.45E+79200683.4	59		

*p<.05

表 4-18 負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量之檢測結果

(N·m)

	A1B1	A2B1	A3B1	A1B2	A2B2	A3B2
人數	10	10	10	10	10	10
平均數 (標準差)	25798.7± (2319.25)	22862.7± (1357.08)	23502.8± (2315.83)	32206.0± (1501.74)	21806.1± (3046.67)	17466.3± (1118.25)
最大值	29332.0	25493.0	28906.0	35267.0	29398.0	19707.0
最小值	22070.0	21067.0	19747.0	29315.0	17474.0	16129.0

A1: 48N、A2: 55N、A3: 68N； B1: 速度型、B2: 耐力型

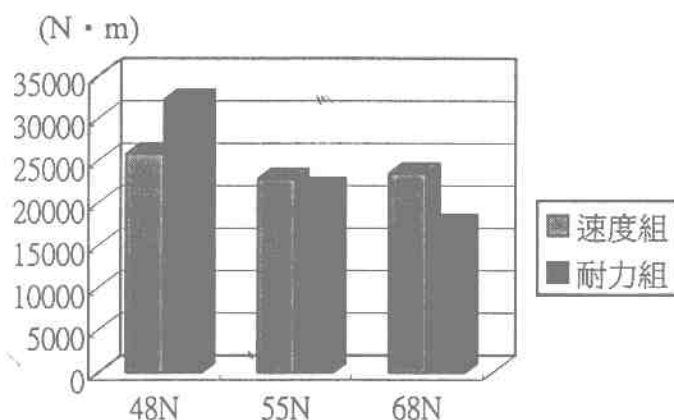


圖 4-10 負荷阻力和運動專項對全力運動下最大累積作功量的影響

(二) 負荷阻力和運動項目對全力運動下平均作功量的影響

負荷阻力和運動項目對全力運動下平均作功量的影響見表 4-19 及圖 4-11。雙因子變異數分析結果顯示，負荷阻力和運動專項對全力運動下之平均作功量均有顯著的主要效果 ($F_{(2,36)} = 38.061$, $P = .000$; $F_{(1,18)} = 66.749$, $P = .000$) 及交互作用存在 ($F_{(2,36)} = 5.67$, $P = .007$)。由圖 4-11 可見，不論速度或耐力組其平均作功量均會隨著負荷阻力的增加而增加；此外，在每一負荷阻力下均顯現出速度組之平均作功量高於耐力組之現象，特別是在 68N 阻力下，速度組之平均作功量顯著的高於耐力組。

此一結果顯示，68N 阻力下的最大累積作功量或平均作功量均可用於評價人體無氧運動能力。

表 4-19 負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	137384.60	19		
運動項目 (B)	108205.07	1	108205.07	66.749*
群內受試 (S/B)	29179.53	18	1621.085	
受試者內	88268.1	40		
全力運動負荷阻力 (A)	141937.23	2	70968.62	38.061*
運動項目×負荷阻力 (B×A)	21143.03	2	10571.52	5.67*
負荷阻力×群內受試(A×S/B)	67125.07	36	1864.59	
全體	225652.7	59		

* $p < .05$

表 4-20 負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量之檢測結果

(N · m · S⁻¹)

	A1B1	A2B1	A3B1	A1B2	A2B2	A3B2
人數	10	10	10	10	10	10
平均數 (標準差)	531.9 ± (42.10)	550.0 ± (64.44)	677.40 ± (27.11)	456.40 ± (14.78)	505.60 ± (35.34)	542.50 ± (50.73)
最大值	584.0	640.0	723.0	481.0	575.0	621.0
最小值	449.0	462.0	638.0	433.0	474.0	450.0

A1: 48N、A2: 55N、A3: 68N; B1: 速度型、B2: 耐力型

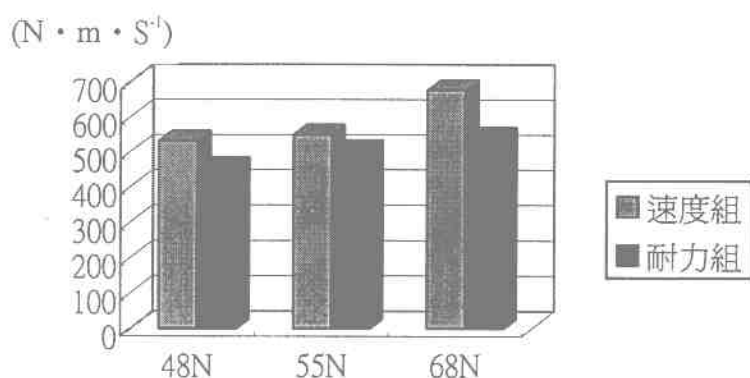


圖 4-11 負荷阻力和運動專項對全力運動下平均作功量的影響

五、MAOD、68N 最大累積作功量 (Σ_{68N})、68N 平均作功量 (MP_{68N})、30 秒 Wingate 平均無氧動力和 400m 最大努力跑步成績之相關分析

由表 4-17、18、19 可得知，68N 阻力下之最大累積作功量及平均作功量可用來評價人體無氧運動能力，因此，在此處將更進一步比較 MAOD、68N 最大累積作功量 (Σ_{68N})、68N 平均作功量 (MP_{68N}) 和 Wingate 平均無氧動力與 400m 最大努力跑步成績之相關 (見表 4-21、4-22)。由表 4-22 我們可以發現，無論是以 Medb ϕ 法或 40N 法完成的超最大運動負荷所獲得的 MAOD 絕對值及各種相對值，其均與 68N 最大累積作功量、68N 平均作功量、Wingate 平均無氧動力和 400m 最大努力跑步成績間有顯著相關 ($P=0.00$)，其中，以 Σ_{68N} 和 MP_{68N} 與 400m 最大努力跑步成績的相關係數最高，其次是以各種方法表示

的 MAOD，最後才是 Wingate30 秒無氧動力測驗的平均動力。此一結果說明了以 Σ_{68N} 和 MP_{68N} 預測 400m 最大努力跑步成績的效果優於 MAOD 及 Wingate30 秒平均無氧動力測驗。

表 4-21 Wingate 平均無氧動力、 Σ_{68N} 和 MP_{68N} 與 400m 最大努力跑步成績之相關係數摘要表

	Wingate 平均動力	Σ_{68N}	MP_{68N}
400m 跑步成績	-.79 0.00*	-.94 0.00*	-.95 0.00*

*p<.05

表 4-22 MAOD 與 Wingate 平均無氧動力、400m 最大努力跑步成績、 Σ_{68N} 及 MP_{68N} 之相關係數摘要表

	40N 最大全力運動負荷模式							
	Wingate	P	400m	P	Σ_{68N}	P	MP_{68N}	P
MAOD 絕對值	.65	0.01*	-.85	0.01*	.84	0.01*	.69	0.01*
MAOD 體重相對值	.65	0.01*	-.86	0.01*	.85	0.01*	.71	0.01*
MAOD 去脂體重相對值	.64	0.01*	-.85	0.01*	.83	0.01*	.69	0.01*
	Medb ϕ 全力運動負荷模式							
	Wingate	P	400m	P	Σ_{68N}	P	MP_{68N}	P
MAOD 絕對值	.58	0.01*	-.86	0.01*	.87	0.01*	.69	0.01*
MAOD 體重相對值	.56	0.01*	-.87	0.01*	.86	0.01*	.70	0.01*
MAOD 去脂體重相對值	.57	0.01*	-.86	0.01*	.85	0.01*	.68	0.01*

*p<.05

六、MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate30 秒平均無氧動力評價人體無氧運動能力之區分度

本研究定義區分度為某一指標的運動項目差異性。其計算方法為：區分度 = (速度組測定值 - 耐力組測定值) / 耐力組測定值，單位是 %。某一指標的區分度越大，其區分專項運動能力的效果就越好。MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate30 秒平均無氧動力的區分度見表

4-23。由表 4-23 可見，各項無氧運動能力指標的區分度順序為：40N 的最大全力運動負荷模式測得之 MAOD > Medb ϕ 全力運動負荷模式下測得之 MAOD > Σ_{68N} > Wingate MP > MP_{68N}。

表 4-23 MAOD、 Σ_{68N} 、MP_{68N} 和 Wingate MP 評價無氧運動能力之區分度

	(%)								
	MAOD1	MAOD2	MAOD3	MAOD4	MAOD5	MAOD6	Σ_{68N}	MP _{68N}	WMP
區分度	80.2	93.5	76.6	176.6	164.7	165.8	34.4	11.9	21.6

MAOD1~3：Medb ϕ 全力運動負荷下之 MAOD 絕對值、體重相對值和去脂體重相對值的區分度。

MAOD4~6：40N 最大全力運動負荷下之 MAOD 絕對值、體重相對值和去脂體重相對值的區分度。

七、負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響

本研究令受試者分別在 48、55 和 68N 負荷阻力下進行最大全力運動踏車測驗，並於每一負荷完成後之恢復期的第 3、5、7、9、12 分鐘，採集靜脈血測其乳酸濃度，以考驗負荷阻力與運動項目對運動後乳酸峰值的影響，其結果見表 4-25 及圖 4-12。混合設計雙因子變異數分析結果（表 4-24）顯示，負荷阻力與運動項目對血乳酸峰值有顯著的交互作用 ($F_{(2,36)}=3.67, P=.036$) 及運動專項的主要效果 ($F_{(1,18)}=6.84, P=.018$) 存在。由圖 4-12 可見，速度組在 55 及 68N 阻力下全力運動後之血乳酸峰值，均高過耐力組；其中又以在 68N 阻力下是顯著的高過耐力組。此外，在 48N 阻力下，則是耐力組全力運動後之血乳酸值高於速度組。

表 4-24 負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值之變異數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F
受試者間	37.67	19		
運動項目 (B)	10.37	1	10.37	6.84*
群內受試 (S/B)	27.30	18	1.52	
受試者內	23.52	40		
負荷阻力 (A)	.90	2	.45	8.6
運動項目×負荷阻力 (B×A)	3.83	2	1.91	3.67*
負荷阻力×群內受試(A×S/B)	18.79	36	.52	
全體	61.19	59		

*p<.05

表 4-25 負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值之檢測結果 (mmol · L⁻¹)

	A1B1	A2B1	A3B1	A1B2	A2B2	A3B2
人數	10	10	10	10	10	10
平均數	7.20 ±	7.51 ±	7.51 ±	7.74 ±	6.81 ±	6.33 ±
(標準差)	(1.27)	(1.17)	(0.99)	(1.21)	(0.90)	(1.17)
最大值	8.92	9.07	8.68	9.77	7.94	8.58
最小值	5.58	5.80	6.29	6.02	5.91	5.25

A1: 48N、A2: 55N、A3: 68N ; B1: 速度型、B2: 耐力型

(mmol · L⁻¹)

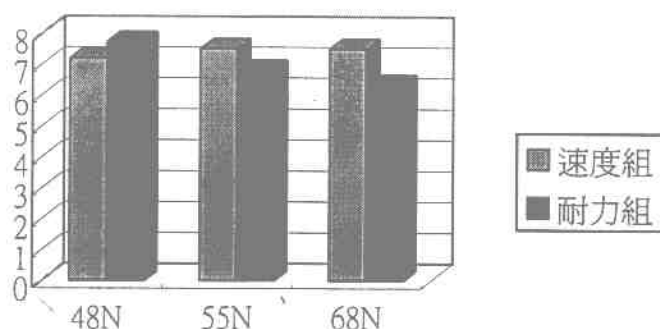


圖 4-12 負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響

伍、討論

一、建立 $\dot{V}O_2$ —power 關係曲線圖的運動負荷模式

最大累積缺氧量 (maximal accumulated O_2 deficit, MAOD) 試驗是由 Medb ϕ 等人於 1988 年建立的一種檢測和評價人體無氧代謝供能系統提供 ATP 能力的非侵體性方法。它是透過檢測人體在完成 2-3 分鐘超大運動時 (supermaximal exhaustive exercise) 的理論需氧量和實際耗氧量之差所獲得的 MAOD 值；而其中理論需氧量是以受試者在非最大強度運動時 (submaximal exercise) 建立的運動強度—耗氧量關係曲線獲得。

Medb ϕ 等人最初 (1988) 在建立 $\dot{V}O_2$ —運動強度關係曲線時，是讓受試者在 35-100% $\dot{V}O_{2max}$ 的強度內取 20 個運動強度，並對每一強度進行持續 10 分鐘的跑步機測驗，在每一運動負荷的 8-10 分鐘蒐集呼出氣體，建立 $\dot{V}O_2$ —運動強度關係曲線。而繼 Medb ϕ 之後，許多學者為了克服 MAOD 測定法費時長的缺點，在非最大強度運動負荷的模式上作了一些改變。其中，在運動負荷上，有些學者是將所選定的負荷在一天內完成；而有些學者則分多天進行；而在每一次運動負荷持續時間方面，有人採用 10 分鐘或更長時間，也有人採 4-6 分鐘。例如，Scott 等 (1991) 在比較不同項目選手 MAOD 的差異時，是取 3 個介於 85-100% $\dot{V}O_{2max}$ 的強度分別在三天內進行，而每個強度運動 10 分鐘；Weyand 等 (1993) 在比較不同性別短、中距離田徑選手的 MAOD 時，採用的也是長時間非一天內完成的運動，但其 $\dot{V}O_2$ 的分析是在每一負荷的第 4-5 分鐘時進行；Bangsbo 等人 (1990) 在研究優秀的國家級及國際級選手的無氧能力時，採用的是每一負荷持續運動 6 分鐘，漸增負荷強度間歇休息 2-10 分鐘不等，Weyand 等 (1993) 在比較單、雙腿運動 MAOD 的差異時，採用的也是每一負荷持續 5 分鐘，漸增負荷強度間歇休息 3-7.5 分鐘不等。顯然，不同研究雖都在建立 $\dot{V}O_2$ —power 關係曲線，但卻採用了

不同的負荷模式，如此之差異是否會導致求出的 MAOD 的不同，此一問題已引起有關學者的注意。Bangsbo 等人 (1993) 分別在每一非最大強度運動的第 4-6 和 8-10 分鐘採氣分析 $\dot{V}O_2$ ，建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線所造成的預測超大運動需氧量之差異為 4%，而造成 MAOD 的差異則更高達 21%。此外 Green 等在 1996 年的一項研究中發現，在非最大強度持續時間相同的情況下，連續或非連續（即所有負荷是否一天內完成）運動負荷不影響 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線；而在非最大運動的持續時間方面，持續時間的延長可明顯增加 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線之斜率及 MAOD 值 (Green, Dawson, Goodman & Carey, 1996)。但在此之前，Medbø 等人 (1990) 對此問題的研究卻認為 7-10 分鐘後，非最大強度運動時的 $\dot{V}O_2$ 不再隨時間的延長而增加。此外，最近有關此一方面的研究 (Buck, McNaughton, 1999) 以 8 名優秀之耐力型自由車選手在 10 個不同的固定負荷下，分別持續踏車運動 2-4、4-6、6-8 和 8-10 分鐘，結果顯示，從 8-10 分鐘的固定負荷下所得到的 AOD 值顯著的高於從 2-4 分鐘所得之值。綜合以上文獻可見，對於建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線的非最大運動負荷持續時間最好在 6-10 分鐘，而所有負荷是否一天內完成均不影響 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線。

本研究建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線的強度，是取 40-85% $\dot{V}O_{2max}$ 範圍內的 4 個強度 (40%、55%、70%、85% $\dot{V}O_{2max}$)，每個強度持續運動 8 分鐘，遞增負荷間歇休息 20 分鐘，以第 6-8 分鐘之平均 $\dot{V}O_2$ 為依據。由圖 4-1 可見，所有受試者在完成 8 分鐘的 40%-85% $\dot{V}O_{2max}$ 非最大強度運動時， $\dot{V}O_2$ 在第 0-6 分鐘階段處於不穩定變化狀態，而在第 6-8 分鐘階段均處於穩定狀態，此一結果與 Medbø 等人 (1990) 及 Buck 等人 (1999) 的研究發現相一致，也說明了本實驗設計採第 6-8 分鐘之平均 $\dot{V}O_2$ 作為建立 $\dot{V}O_2$ -power 關係曲線的合理性。

二、全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 值的影響

本研究在進行 2-3 分鐘超大運動時，分別設計並比較了兩種運動負荷模式。其中一種是採用 Medb ϕ 的傳統法，也就是以 120% $\dot{V}O_2$ max 的強度，固定速度 90rpm 踏車至衰竭的 MAOD 傳統法；另一種是本研究設計的新方法，也就是以 40N 的負荷，全力衝刺至衰竭。試圖比較不同全力運動負荷模式（固定速度&全力衝刺）和不同受試者運動專項（速度型&耐力型）對 MAOD 值的影響。

一般而言，個體在從事超大運動時的能量消耗與參與運動的肌肉大小及數量有關（Neder, J. A., Nery, L. E., Andreoni, S., Sachs, A., & Whipp, B. J., 2000），因此，本研究在探討全力運動負荷模式和運動項目對 MAOD 的影響時，除了觀察絕對值（L）外，也分別以各種相對值（ml · kg 體重⁻¹、ml · kg 去脂體重⁻¹、ml · L 下肢體積⁻¹及 ml · kg 下肢肌肉體積⁻¹）來表示，以確定不同運動負荷模式和運動項目對 MAOD 的影響。

（一）不同運動項目運動員的 MAOD 水準

1. 以 L 絕對值表示的 MAOD 值

本研究速度組受試者之 MAOD 值，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（表 4-2），而造成此一結果的原因，很可能與速度型選手較耐力型選手擁有較多的肌肉量（表一）及肌肉中白肌纖維比例有關。

2. 以 ml · kg 體重⁻¹表示的 MAOD 值^{'''}

本研究短距離速度型組（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 $53.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 Calbet 等 (1997) 以短距離選手(男 19 人)所測得的 $68.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$; 但與 Olesen 等(1994) 所測得的 $82.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 Naughton 等 (1997) 中以以短距離選手所測得的之值 ($71.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 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 $30.30 \pm 10.95 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)，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。

3. 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 4-6 及 4-10 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, 90rpm 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 傳統法下耐力組所測得之 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。

三、運動負荷模式和運動專項對全力運動時之理論需氧量和實際耗氧量的影響

由表 4-12 可見，耐力型的運動員在 Medb ϕ 傳統法 ($120\% \dot{V}O_2 \text{ max}$, 90rpm) 的負荷模式下，全力踏車運動 2-3 分鐘所測得的理論需氧量明顯的高於本研究所設計的新方法 (40N、全力衝刺) 所測得的值；而在 40N，全力衝刺的負荷模式下，速度組之 2-3 分鐘理論需氧量則顯著的高於耐力組。在實際耗氧量方面，由表 4-16 可見，在 Medb ϕ 傳統法下耐力組在 2-3 分鐘全力運動時之實際耗氧量顯著的高於速度組；而在 40N 新方法之負荷模式下，二組則無顯著差異 (表 4-16)。

由於 MAOD 之計算公式為受試者在 2-3 分鐘全力運動時之理論需氧量—實際耗氧量而來，由表 4-12 及 4-16 可發現，在 40N 法負荷模式下其速度組之理論需氧量顯著的高於耐力組 (173.10 ± 17.23 vs $145.30 \pm 18.18 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)，但在實際耗氧量上兩組卻無差異 (86.60 ± 19.60 vs $95.40 \pm 14.03 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)；而在 Medb ϕ 傳統法負荷模式下，雖然耐力組之理論需氧量略高於速度組 (174.4 ± 19.60 vs $162.3 \pm 28.53 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)，但在實際耗氧量上卻顯著的高於速度組 (144.0 ± 29.12 vs $82.10 \pm 16.88 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)，因此，在從事 2-3 分鐘超最大運動計算 MAOD 時，本研究所設計的 40N 全力衝刺法顯然較 Medb ϕ ($120\% \dot{V}O_{2\max}$, 90rpm) 傳統法更能鑑別運動員之 MAOD 差異性。

四、全力運動下之負荷阻力 (48、55、68N) 和運動專項 (速度組、耐力組) 對最大累積作功量及平均作功量之影響

負荷阻力和運動項目對全力運動下最大累積作功量的影響見表 4-17 及 4-18。混合設計雙因子變異數分析結果顯示，負荷阻力和運動項目與最大累積作功量之間有顯著的交互作用存在，並進一步發現其主要效果為負荷阻力。當負荷阻力在 48 和 68N 時，兩組的最大累積作功量有顯著的差異；其中，在 48N 阻力下耐力組的最大累積作功量明顯的高於速度組，而在 68N 阻力下則是速度組顯著高於耐力組。在 55N 阻力下，兩組之最大累積作功量並無顯著差異。此一結果顯示，68N 阻力下的最大累積作功量可用於評鑑人體的無氧運動能力。

而負荷阻力和運動項目對全力運動下平均作功量的影響見表 4-19 及 4-20。ANOVA 分析結果顯示，負荷阻力和運動專項對全力運動下之平均作功量均有顯著的交互作用及主要效果存在。並進一步發現，不論哪一型受試者其平均作功量均會隨著其負荷的增加而增加；此外，在每一負荷阻力下均顯現出速度組之平均作功量高於耐力組之現象，特別是在 68N 阻力下，速度組之平均作功量顯著的高於耐力組。

因此，和 48N 及 55N 阻力相比，68N 阻力下的最大累積作功量或平均作功量較可用來評價人體之無氧運動能力。

五、MAOD、68N 最大累積作功量 (Σ_{68N})、68N 平均作功量 (MP_{68N})、30 秒 Wingate 平均無氧動力 (Wingate MP) 和 400m 最大努力跑步成績之相關分析

本研究目的之一在於比較 MAOD 與最大累積作功量預測 400m 最大努力跑步成績之差異。由於先前的研究結果證明 68N 阻力下的最大累積作功量及平均作功量較 48N 及 55N 更能評價人體無氧運動能力，因此，在此處的最大累積作功量僅以 68N (Σ_{68N}) 為代表；此外， Σ_{68N} 除了與 MAOD 作比較外，本研究也測試了受試者的 Wingate 30 秒無氧動力測驗，期望一併得到此三種無氧運動能力檢測方法與 400m 最大努力跑步成績之關係。

本研究 MAOD、68N 最大累積作功量 (Σ_{68N})、68N 平均作功量 (MP_{68N}) 和 30 秒 Wingate 無氧動力測驗與 400m 最大努力跑步成績之相關係數分別為 -.86、-.94、-.95 和 -.79，均達顯著相關 ($P < .05$)，其中又以 Σ_{68N} 及 MP_{68N} 的相關最高。此外，在 MAOD 與 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 及 Wingate MP 此三種無氧能力檢測方法的比較方面，其相關係數分別為 .86、.69 和 .57，且均達顯著相關 ($P < .05$)。

Scott 等 (1991) 比較 MAOD 與 300m 最大努力跑步成績及 Wingate 30 秒無氧動力測驗之相關時發現，MAOD 與 300m 跑步成績之間有顯著相關 ($r = -.76$, $P < .05$)，而與 Wingate 最高無氧動力則沒有顯著相關 ($r = .54$, $P > .05$)；Wingate 30 秒無氧能力雖也與 300m 跑步成績有顯著相關 ($r = -.67$)，但其相關程度不如 MAOD，而此一結果也與本研究結果相一致，顯然，MAOD 較 Wingate 無氧動力測驗更能有效評價無氧能力 (Weyand, 1994; Nimmela, 1995)。

六、MAOD、 Σ_{68N} 、 MP_{68N} 和 Wingate30 秒平均無氧動力(Wingate MP) 評價人體無氧運動能力之區分度

本研究定義區分度為某一指標的運動項目差異性。其計算方法為：區分度 = (速度組測定值 - 耐力組測定值) / 耐力組測定值，單位是 %。某一指標的區分度越大，其區分專項運動能力的效果就越好。本研究結果各項無氧運動能力指標的區分度順序為：40N 的最大全力運動負荷模式測得之 MAOD > Medb ϕ 法之 MAOD > Σ_{68N} > Wingate MP > MP_{68N} ，而此一結果與 Scott 等人 (1991) 的研究發現相一致。

Scott 等 (1991) 在以 MAOD 法和 Wingate 無氧動力測驗來評價長、中長、短距離選手及一般人的無氧能力時發現，以 MAOD 評價不同組別受試者的無氧能力時，有較大的區分度，而以 Wingate 最高無氧動力及無氧能力來進行評價時，區分度較小。

過去的文獻探討無氧運動能力檢測方法間的區分度的只有 Scott 等 (1991) 的研究，雖然，Hill 等 (1994) 也曾以 MAOD 作為無氧能力測驗與評價的效標，但他是探討臨界負荷的應用價值，並未與 Wingate 無氧動力測驗作比較；而 Calbet 等人 (1997) 雖然是比較在 Medb ϕ 傳統法下所得到的 MAOD 值及在 Wingate30 秒與 45 秒下所得到的 MAOD 值之差異，但也並未作方法間區分度的探討，因此，比較各種無氧運動能力檢測方法間的運動項目區分度，是值得未來的研究進一步分析及探討的。

七、負荷阻力和運動專項對全力運動下血乳酸峰值的影響

本研究受試者分別在 48、55 和 68N 負荷阻力下進行最大全力踏車測驗，並於每一負荷全力運動後之第 3、5、7、9、12 分鐘，採肘前靜脈血測其乳酸濃度，以考驗負荷阻力和運動專項對血乳酸峰值的影響。結果發現，負荷阻力和運動專項對血乳酸峰值有顯著的交互作用存在，而且其主要效果為運動專項，也就是在 48N 負荷阻力

下，耐力組全力運動後其血乳酸峰值高於速度組，而在 55 及 68N 負荷阻力下，則是速度組高於耐力組。

此一結果可由表 4-18、圖 4-7 和 4-8 兩組受試者在不同負荷阻力全力運動下最大累積作功量及平均作功量之結果看出，耐力組受試者在 55 和 68N 阻力下，其最大累積作功量均不如速度組，但在 48N 負荷阻力下，其最大累積作功量卻顯著超過速度組 ($P < .001$) (但平均作功量卻又低於速度組)，由於 48、55 和 68N 全力運動其主要能量來源均為乳酸系統，因此，此一結果與過去文獻相一致 (Nummela, Rusko, 1995)。Nummela 等人 (1995) 比較了速度型選手和耐力型選手在超最大衰竭運動後之血乳酸峰值，結果發現，兩組運動達衰竭的時間無顯著差異 (49.5 ± 6.0 vs 49.4 ± 5.3 秒, $P > .05$)，但速度型選手之 O_2D 、EPOC 及血乳酸峰值均顯著高於耐力組 ($P < .01$)，顯現出運動專項之差異性，這與本研究主要效果為運動專項之結果相一致。本研究在 55N 及 68N 阻力下全力運動至衰竭的時間，兩組均無差異，但速度組之血乳酸峰值顯著高於耐力組 ($P < .05$)，其因可能是速度型選手使用了較多的無氧能量，而耐力型運動員能量的產生利用了較多的有氧系統所致。

陸、結論與建議

一、結論

- (一) 不論是以何種全力運動負荷模式 ($120\% \dot{V}O_{2max}$, 90rpm 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 ($120\% \dot{V}O_{2max}$, 90rpm) 更能鑑別出速度組與耐力組之 MAOD 差異性。
- (三) 和 48、55N 相比, 68N 阻力下的最大累積作功量 (Σ_{68N}) 及平均作功量 (MP_{68N}), 較可用來評價人體之無氧運動能力。
- (四) 以 Σ_{68N} 和 MP_{68N} 預測 400m 最大努力跑步成績的效果, 優於 MAOD 及 Wingate30 秒平均無氧動力測驗。
- (五) 不論是 40N 法或 Medb ϕ 傳統法所測得之 MAOD 與 Σ_{68N} 最能有效區分出速度組與耐力組之差異性。

二、建議

本研究結論顯示， Σ_{68N} 與 40N 新方法所測得之 MAOD 最能評鑑出人體之無氧運動能力（與 Wingate MP、MP_{68N}、 Σ_{55N} 、 Σ_{48N} 、MP_{55N}、MP_{48N} 相比），因此，建議日後有志從事無氧運動能力檢測方法研究之學者，亦能考慮最大累積作功量法和 40N 之 MAOD 法與所要研究方法之間的比較，以確定最大累積作功量法及以 40N 所測得之最大累積缺氧量法之應用價值。

此外，過去的文獻很少作方法間區分度的探討，因此，比較各種無氧運動能力檢測方法間的運動項目區分度，是值得未來的研究進一步分析及探討的。

參考文獻

- Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in human. Journal of Physiology(Lond), 422, 539-559.
- Bangsbo, J., Michalsik, L., & Petersen, A. (1993). Accumulated O₂ 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.
- Bangsbo, J. (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise, 30(1), 47-52.
- Buck, D., & McNaughton, L. (1999). Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min periods. Medicine and Science in Sports and Exercise, 31(9), 1346-1349.
- 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.
- Doherty, M. (1998). The effects of caffeine on maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. International Journal of Sport Nutrition, 8(2), 95-104.

- Graham, T. E. (1996). Oxygen deficit: Conclusion. Canadian Journal of Applied Physiology, 21(5), 389-390.
- Green, S., Dawson, B. T., Goodman, C., & Carey, M. F. (1994). The y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 69, 550-556.
- Green, S., Dawson, B. T., Goodman, C., & Carey, M. F. (1996). Anaerobic ATP production and accumulated O₂ deficit in cyclists. Medicine and Science in Sports and Exercise, 28(3), 315-321.
- Green, S., & Dawson, B. T. (1996). Methodological effects on the $\dot{V}O_2$ -power regression and the accumulated O₂ deficit. Medicine and Science in Sports and Exercise, 28(3), 392-397.
- Hermansen, L., & Medbo, J. I. (1984). The relative significance of aerobic and anaerobic processes during maximal exercise of short duration. Medicine and Sport Science, 17, 56-67.
- Hill, D. W., & Smith, J. C. (1994). A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 34, 23-37.
- Hill, D.W. (1996). Determination of accumulated O₂ deficit in exhaustive short-duration exercise. Canadian Journal of Applied Physiology, 21(1), 63-74.
- Hill, D. W., Ferguson, C. S., & Ehler, K. L. (1998). An alternative method to determine maximal accumulated O₂ deficit in runners. European Journal of Applied Physiology, 79, 114-117.

- Jacobs, I., Bleue, S., & Goodman, J. (1997). Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. Canadian Journal of Applied Physiology, 22(3), 231-243.
- Medb ϕ , J. I., & Mohn, A. C., Tabata, I. Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. Journal of Applied Physiology, 64(1), 50-60.
- Medb ϕ , J. I., & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. Journal of Applied Physiology, 67(5), 1881-1886.
- Medb ϕ , J. I., & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. Medicine and Science in Sports and Exercise, 22(4), 501-507.
- 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.
- Naughton, G. A., & Carlson, J. S. (1998). The accumulated oxygen deficit measure and its application in pediatric exercise science. Pediatric Exercise Science, 10(1), 12-20.
- 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.

Olesen, H. L. (1992). Accumulated oxygen deficit increase with inclination of uphill running. Journal of Applied Physiology, 73(3), 1130-1134.

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.

Ramsbottom, R., Nevill, A. M., Nevill, M. E., Newport, S., & Williams, C. (1994). Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. Journal of Sports Science, 12, 447-453.

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.

Saltin, B. (1990). Anaerobic capacity. Past, prospective. In: Biochemistry of Exercise, edited by A.W. Taylor Champaign, IL: Human Kinetics, 387-412.

Scott, C. B., Roby, F.B., & Lohman, T. G. (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. Medicine and Science in Sports and Exercise, 23(5), 618-624.

Shephard, R.T., Bouhrel, 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.

本研究之題目為「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」，目的在建立無氧運動能力的物理檢測方法與最大累積缺氧量在預測 400m 最大努力跑步成績上之比較。在本實驗過程中，您將接受一次最大耗氧量、四次次大踏車測驗、二次 2~3 分鐘超最大踏車測驗和各一次的 68N、55N、48N 全力踏車測驗、400m 最大努力跑步測驗及人體測量等測試。為獲得正確研究結果，請您遵守下列須知：

1. 在運動測試前 24 小時內，請勿從事任何激烈的運動。
2. 在實驗期間，請保持正常的生活作息及飲食習慣。
3. 在約定時間前 30 分鐘，穿著運動服裝到達實驗室。

感謝您的協助與合作！

中國文化大學體育學系

副教授 吳慧君 敬上

論文題目：最大累積作功量及缺氧量評價無氧運動能力之比較研究

研究者：吳慧君

單位：中國文化大學體育學系

聯絡電話：(0)(02)2861-2399

(H)(02)8635-1035

依實驗研究之規定，研究者應將研究過程中可能發生的危險向受試者說明清楚，且應盡其所能保護受試者之健康與權益，並隨時回答受試者的問題。受試者如改變意願時，可隨時退出實驗而不受任何限制，但應事先通知實驗者。

參與本實驗研究的受試者，必須瞭解並同意下列事項：

1. 實驗時間自民國八十八年七月一日至七月三十日止。
2. 在約定時間前穿著運動服裝到達實驗室。
3. 您將接受一次最大耗氧量、四次次大踏車測驗、二次 2-3 分鐘超最大踏車測驗和 68N、55N、48N 全力踏車測驗、400m 最大努力跑步測驗及人體測量。
4. 在二次的 2-3 分鐘超最大踏車測驗和 68N、55N、48N 全力踏車測驗及 400m 最大努力跑步測驗後的第 3、5、7、9、12 分鐘，採集肘前靜脈血，分析血乳酸值。
5. 參與本實驗之受試者可以藉此瞭解自己的最大攝氧量及無氧動力和無氧能力。
6. 本研究所獲得的資料僅供研究之用，並絕對保密。

本研究需要您的參與和合作。敬請在表下姓名欄內簽名，表示同意並願遵守受試者須知與同意書內所列之各項有關規定。

志願者：_____ 簽名

日期：89 年__月__日

本表主旨在幫助您瞭解自己之健康情況，並協助檢測人員在實驗前，是否需要更進一步的健康檢查。敬請據實回答，過去一年內，醫師是否告訴您有下列狀況：

(請您在有、無、不確定欄內打“✓”)

	有	無	不確定
1. 高血壓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 心臟病或血管硬化症	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 糖尿病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 支氣管炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 貧血	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 心律不整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 藥物過敏	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 緊張、情緒或心理異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 氣喘	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 很快站起來時，會頭暈或輕微頭痛	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. 暈倒或失去知覺	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. 經常性胃痛	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. 運動或跑步後，極端疲憊很難恢復	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. 過去半年間是否有過其他病症發生？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

請說明

姓名：_____

填表日期：89年__月__日

附錄四

受試者原始基本資料

速度項目組

編號	專項 (公尺)	身高 (公分)	體重 (公斤)	體脂肪 (%)	$\dot{V}O_2\max$ (ml · Kg ⁻¹ · min ⁻¹)	400 公尺 成績(秒)	下肢肌 肉體積 (升)	下肢肌 肉質量 (公斤)
1	100,200	174	72	12.1	45	54.46	26.0	25.3
2	100,200	176	71	10.7	57	53.00	27.5	26.5
3	100,200	175	65	12.6	48	54.91	22.1	20.8
4	100	176	75	12.1	49	54.70	28.2	27.8
5	200	175	73	11.3	48	54.20	27.1	26.2
6	100,200	178	70	12.2	52	54.70	28.3	27.1
7	100	176	73	10.8	45	54.93	26.5	25.8
8	200,400	174	66	12.3	47	53.80	27.2	26.8
9	200	175	68	11.5	51	54.33	28.1	27.2
10	100,200	180	76	10.9	55	54.79	26.7	25.9

耐力項目組

編號	專項 (公尺)	身高 (公分)	體重 (公斤)	體脂肪 (%)	$\dot{V}O_2\max$ (ml · Kg ⁻¹ · min ⁻¹)	400 公尺 成績(秒)	下肢肌 肉體積 (升)	下肢肌 肉質量 (公斤)
11	3000 障	182	73	18.2	51	57.91	26.6	25.3
12	1500, 3000 障	171	67	10.7	46	56.32	23.3	22.6
13	馬拉松、超級鐵人	171	64	7	86	57.60	21.0	20.8
14	馬拉松	168	70	7.8	61	57.50	25.2	24.3
15	5000	176	63	8.8	59	65.41	22.5	21.5
16	10000	177	69	9.1	62	57.91	23.4	22.5
17	5000	176	68	7	64	56.92	24.3	23.1
18	10000	177	65	8.4	62	57.43	22.9	21.8
19	5000	172	67	9.5	54	57.15	24.5	23.4
20	10000	178	71	10.2	58	57.94	23.6	22.8

附表 5-1 Medb ϕ 法與 40N 法所測得之 MAOD 值

速度項目組							
編號	專項(M)	Medb ϕ 法			40N 法		
		L	ml · Kg ⁻¹ BW	ml · Kg ⁻¹ L BW	L	ml · Kg ⁻¹ BW	ml · Kg ⁻¹ L BW
1	100,200	7.20	100.0	114.0	8.86	123.0	142.0
2	100,200	8.52	120.0	134.4	6.67	94.0	105.3
3	100,200	5.14	79.0	91.1	3.64	56.0	64.5
4	100	4.05	54.0	61.5	5.03	67.0	76.3
5	200	6.50	89.0	103.0	5.99	82.0	94.9
6	100,200	5.81	83.0	94.6	4.90	70.0	79.8
7	100	5.11	70.0	81.0	5.18	71.0	82.1
8	200,400	6.60	100.0	111.73	5.81	88.0	98.3
9	200	5.98	88.0	102.3	5.44	80.0	93.0
10	100,200	6.23	82.0	96.0	5.40	71.0	83.1
耐力項目組							
編號	專項(M)	Medb ϕ 法			40N 法		
		L	ml · Kg ⁻¹ BW	ml · Kg ⁻¹ L BW	L	ml · Kg ⁻¹ BW	ml · Kg ⁻¹ L BW
11	3000 障	4.96	68.0	83.2	4.09	56.0	68.5
12	1500, 3000 障	2.68	40.0	44.8	2.08	31.0	34.7
13	馬拉松、超級鐵人	2.69	42.0	45.2	1.41	22.0	23.7
14	馬拉松	2.80	40.0	45.2	1.26	18.0	20.3
15	5000	4.28	68.0	74.5	1.83	29.0	31.8
16	10000	2.90	42.0	47.6	1.59	23.0	26.1
17	5000	3.74	55.0	62.0	2.58	38.0	42.9
18	10000	3.12	48.0	53.3	1.95	30.0	33.3
19	5000	3.84	52.0	58.4	2.28	34.0	38.2
20	10000	2.91	41.0	47.0	1.56	22.0	25.2

附表 5-2 30 秒 Wingate 無氧動力測驗結果

速度項目組				
編號	專項 (M)	Pmax (W)	MP (W)	$\Delta P\%$
1	100,200	865	717	45
2	100,200	838	649	52
3	100,200	876	571	58
4	100	1012	671	65
5	200	867	645	52
6	100,200	835	627	50
7	100	820	618	49
8	200,400	905	660	54
9	200	850	640	52
10	100,200	829	621	49
耐力項目組				
編號	專項 (M)	Pmax (W)	MP (W)	$\Delta P\%$
11	3000 障	690	558	37
12	1500, 3000 障	702	584	34
13	馬拉松、超級鐵人	627	484	43
14	馬拉松	630	520	38
15	5000	594	500	33
16	10000	627	508	36
17	5000	691	545	40
18	10000	658	526	38
19	5000	676	537	39
20	10000	621	518	36

附表 5-3 不同阻力下之最大累積作功量 (N·m)、平均作功量 (W) 及血乳酸峰值 (mmol·L⁻¹)

速度項目組										
編號	專項(M)	48N 測驗			55N 測驗			68N 測驗		
		Σ_{48N}	MP _{48N}	BLa peak	Σ_{55N}	MP _{55N}	BLa peak	Σ_{68N}	MP _{68N}	BLa peak
1	100,200	27250	584	6.47	21197	623	7.83	23623	638	6.79
2	100,200	25128	483	5.41	25493	607	7.34	28906	723	6.29
3	100,200	22070	513	8.92	24041	462	9.07	19747	658	8.68
4	100	23347	449	7.82	21758	640	6.25	22542	704	8.28
5	200	25471	530	5.91	23320	487	7.54	23905	687	6.69
6	100,200	23816	529	6.77	21067	610	7.63	22866	664	8.28
7	100	29332	553	7.52	22950	520	6.75	22388	654	8.08
8	200,400	25650	582	8.42	23524	540	7.34	24737	705	6.99
9	200	27820	556	6.47	22255	520	8.57	23635	681	6.79
10	100,200	28103	540	7.82	23022	491	7.83	22679	660	8.28
耐力項目組										
編號	專項(M)	48N 測驗			55N 測驗			68N 測驗		
		Σ_{48N}	MP _{48N}	BLa peak	Σ_{55N}	MP _{55N}	BLa peak	Σ_{68N}	MP _{68N}	BLa peak
11	3000 障	25267	459	7.60	19646	491	7.89	16204	450	6.14
12	1500, 3000 障	31867	455	9.77	22050	565	7.94	17374	621	8.58
13	馬拉松, 超級鐵人	32405	450	6.02	17474	485	6.10	19700	547	5.25
14	馬拉松	31778	454	7.19	29398	474	6.22	17823	557	5.65
15	5000	31617	445	8.13	21186	481	5.91	18020	600	6.02
16	10000	31645	433	7.40	21443	496	6.31	16191	518	5.45
17	5000	32416	477	6.23	21936	510	6.72	18250	563	5.94
18	10000	33346	445	9.47	22681	575	7.44	17189	540	6.52
19	5000	29315	481	7.39	20824	493	6.10	17771	552	5.65
20	10000	32104	465	8.13	21423	486	7.46	16129	480	8.08