

國立臺灣體育學院體育研究所
碩士學位論文

不同臨界速度對游泳選手有氧訓練時耗氧量、心跳率及乳酸之效應

The Effect of Different Critical Velocity Percentage on VO_2 ,
HR, LA during Aerobic Training in Swimmers



研究生：周志松 撰

指導教授：呂欣善 教授

中華民國九十四年六月

The Effect of Different Critical Velocity Percentage on VO₂, HR, LA during Aerobic Training in Swimmers

The purpose of this research aimed to discuss on taking different critical velocity (CV) as training indicator and conduct further observation in the respect of physical changes including heart rate (HR), blood lactate (LA), ventilation volume (VE), oxygen consumption (VO₂), and volume of carbon dioxide (VCO₂) of different CV intensity to confirm to adopt what intensity of CV for the important indicator when receiving aerobic exercise ability training intensity. Subjects of this research were consisted of fourteen senior high students (11 male students, 3 female students) from swimming team, age in 17 ± 0.67 , height in 168.22 ± 6.48 cm., and weight at 64.07 ± 7.54 kg. All subjects shall receive 50m, 100m and 200m front crawl test in maximum physical exertion, with the results carried over to D - T (distance - time) linear relation model to calculate each athlete's critical velocity (CV), followed by conducting 400m freestyle swimming in 80%, 85%, 90%, 95% and 100% of CV intensity respectively and then measuring each physical change. Findings of this research indicated that the average CV was 1.322 ± 0.118 m/sec, and for the negative association with results of 50m, 100m and 200m front crawl, the sequence is $r = -0.578, -0.702, -0.999$ ($p < .05$), all of which have reached marked standards. For LA, the result has reached marked standard ($p < .05$) through the analysis of one-way ANOVA, and LA was 3.79 ± 0.45 mM/L when at 90% CV intensity, LA is 5.22 ± 0.50 mM/L when at 95% CV intensity, LA is 6.42 ± 0.65 mM/L when at 100% CV intensity. HR, VE, VO₂, and VCO₂ had achieved marked standard ($p < .05$) through the analytic result of Factorial ANOVA. In the respect of prediction over freestyle swimming, findings indicated that CV could not predict 50-m front crawl in short period, but produces high prediction on 200-m and 400-m front crawl. At 95% and 100% CV intensity, it appears a phenomenon that LA was higher than 4mM/L, indicating if there is the participation of oxygen energy metabolism. Therefore, taking CV intensity as aerobic training intensity is exactly overestimated and it can hardly be maintained long-time sports.

Key Words: Critical Velocity, Aerobic Training, Swimming

謝 誌

經過多次的挑戰終於成為夢寐以求的研究生，當然更會珍惜在研究所的求學生活，並且更想把以往所學不足的地方，利用這段期間好好的加強，雖然其中的辛苦不足為道，但卻是人生當中一段美好回憶。畢業在即，感謝指導教授呂欣善博士以其豐富的學術涵養，悉心指導論文的完成，以及蘇金德博士、謝俊宏博士、李振昌老師的鼓勵與指導；在實驗過程中非常感謝育瑞、棋賢、士欣等學弟們與西苑高中擔任受試者的選手們之鼎力相助，才得以完成。

在這些日子中母親的鼓勵與愛妻淑惠的包容與支持，她擔負起照顧兩個女兒的責任與家庭中大部分的工作，才得以讓我順利完成學業，在此由衷的感謝。最後，僅將此份榮耀獻給親愛的家人、師長以及所有關愛我的人。

周志松 謹誌於

國立台灣體育學院體育研究所

中華民國 九十四年 六月

論文內容目錄

中文摘要-----	
英文摘要-----	
謝誌-----	
論文內容目錄-----	
表目錄-----	
圖目錄-----	
第壹章 緒論-----	1
第一節 前言-----	1
第二節 研究背景-----	2
第三節 研究目的-----	5
第四節 研究假設-----	6
第五節 研究範圍與限制-----	6
第六節 操作性定義-----	6
第七節 研究的重要性-----	8
第貳章 文獻探討-----	9
第一節 有關臨界負荷測驗方法的沿革與計算方式-----	9
第二節 臨界負荷在不同運動項目之研究-----	15
第三節 臨界負荷在游泳項目之研究-----	18
第四節 有關臨界負荷各項生理反應的研究-----	23
第五節 有關臨界負荷在運動訓練上影響的研究-----	27
第六節 本章總結-----	28
第參章 研究方法-----	30
第一節 研究對象-----	30
第二節 實驗日期與地點-----	30
第三節 實驗方法與程序-----	30

第四節 實驗流程-----	35
第五節 資料處理-----	35
第肆章 結果-----	37
第一節 受試者基本資料-----	37
第二節 兩次捷泳測驗成績與 CV 計算之結果-----	37
第三節 游泳臨界速度與 50m、100m、200m 捷泳成績之相關-----	40
第四節 以 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績之結果-----	40
第五節 不同 CV 強度運動時之血乳酸反應結果-----	43
第六節 不同 CV 強度運動時之心跳率與自覺量表反應結果-----	45
第七節 不同 CV 強度在運動後呼吸系統反應結果-----	51
第伍章 討論-----	58
第一節 游泳臨界速度與 50m、100m、200m 捷泳成績之相關-----	58
第二節 以 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績-----	59
第三節 不同 CV 強度運動時血乳酸反應-----	60
第四節 不同 CV 強度運動時之 HR 與自覺量表反應-----	61
第五節 不同 CV 強度在運動後呼吸系統反應-----	62
第陸章 結論與建議-----	63
第一節 結論-----	63
第二節 建議-----	63
參考文獻-----	64
附錄一、受試者參與研究須知及同意書-----	72
附錄二、實驗流程圖-----	74
附錄三、運動後血乳酸單因子變異數分析事後比較摘要表-----	75
附錄四、運動後自覺量表單因子變異數分析事後比較摘要表-----	76

表目錄

表 4-1、受試者基本資料摘要表-----	37
表 4-2、兩次捷泳測驗成績摘要表-----	38
表4-3、兩次最大努力測驗之相關信度統計表-----	38
表 4-4、50、100、200 公尺最佳成績與 CV 摘要表-----	39
表 4-5、臨界速度與各捷泳成績之相關係數表-----	40
表 4-6、CV 預測 50、100、200 及 400 公尺捷泳成績之回歸方程式與預測變數解釋量-----	41
表 4-7、50 公尺回歸模式之變異數分析摘要表-----	41
表4-8、100公尺回歸模式之變異數分析摘要表-----	42
表4-9、200公尺回歸模式之變異數分析摘要表-----	42
表4-10、400公尺回歸模式之變異數分析摘要表-----	43
表 4-11、不同 CV 強度運動前後血乳酸反應摘要表-----	44
表 4-12、運動後血乳酸的單因子變異數分析摘要表-----	44
表 4-13、運動後血乳酸變異數分析事後比較結果-----	44
表 4-14 不同 CV 強度運動中心跳率反應摘要表-----	46
表 4-15、運動中心跳率變異數分析摘要表-----	47
表 4-16、不同 CV 強度運動後自覺量表摘要-----	49
表 4-17、運動後自覺量表單因子變異數分析摘要表-----	50
表 4-18、運動後自覺量表變異數分析事後比較結果-----	51
表 4-19、不同臨界速度運動後恢復期 VE 反應摘要表-----	52
表 4-20、不同臨界速度運動後恢復期 VE 反應變異數分析摘要表-----	52
表 4-21 不同臨界速度運動後恢復期 VCO ₂ 反應摘要表-----	54
表 4-22 不同臨界速度運動後恢復期 VCO ₂ 反應變異數分析摘要表-----	54
表 4-23、不同臨界速度運動後恢復期 VO ₂ 反應摘要表-----	56
表 4-24、不同臨界速度運動後恢復期 VO ₂ 反應變異數分析摘要表-----	56

圖目錄

圖 2-1、速度-時間的非線性關係模式-----	10
圖 2-2、距離-時間的線性關係模式-----	11
圖 2-3、速度-時間的倒數線性關係模式-----	11
圖 2-4、漸增強度(ramp)運動測驗模式-----	12
圖 2-5、三參數非線性關係模式-----	13
圖 4-1、不同 CV 強度血乳酸反應圖-----	45
圖 4-2-1、80%CV 運動中心跳率反應圖-----	47
圖 4-2-2、85%CV 運動中心跳率反應圖-----	47
圖 4-2-3、90%CV 運動中心跳率反應圖-----	48
圖 4-2-4、95%CV 運動中心跳率反應圖-----	48
圖 4-2-5、100%CV 運動中心跳率反應圖-----	48
圖 4-3、不同 CV 強度運動自覺量表反應圖-----	50
圖 4-4、不同 CV 強度運動後恢復期 VE 之反應圖-----	53
圖 4-5、不同 CV 強度運動後恢復期 VCO ₂ 之反應圖-----	55
圖 4-6、不同 CV 強度運動後恢復期 VO ₂ 之反應圖-----	57

第壹章 緒 論

第一節 前言

在競技運動訓練的過程中，運動強度負荷的決定是每一位教練最重視的問題，訓練強度的決定必然會影響到運動訓練實施的成效。游泳訓練中耐力訓練是所有選手必備的課程之一，在現今一些游泳強國如美國、澳洲、德國，亞洲的大陸、日本等國家在訓練上，採取的是質量並重的訓練方式，所以在耐力訓練課程中，如何讓選手能夠以最快的速度維持較長的訓練時間與距離，並且不讓選手因乳酸的堆積而導致疲勞提早出現，這是教練們一直在研究的一個課題。

自從 Monod & Scherrer 於 1965 年提出以肌肉在動態 (dynamic) 與靜態 (static) 收縮時的「負荷耐力模式」之概念，證實肌肉在固定負荷下進行最大能力持續運動時，肌肉所作的功與最大持續運動時間呈直線正比關係，進而用來評估肌肉活動時的臨界負荷 (Critical Power 簡稱 CP) 與臨界力量 (Critical Force, 簡稱 CF)。這也代表了在此情況下肌肉能夠以固定之負荷持續極長時間的運動，因此這是最早臨界負荷形成的概念 (吳穎照，2003；王順正與林正常，1994)。若將此概念運用在以時間、距離為主的運動項目中，如游泳、跑步等其單位是以速度 (Velocity) 來顯示者，亦可稱為臨界速度 (Critical Velocity 簡稱 CV)。因此，CV 的定義即是肌肉在動態與靜態收縮時，能夠持續長時間運動而不覺得疲勞的最大固定負荷；這也是設定有氧運動能力的一個強度指標 (王順正與林正常，1994。李長生，1997)。

根據以往的研究顯示，最大攝氧量 (Maximal Oxygen intake 簡稱 VO_2max) 與無氧閾值 (Anaerobic Threshold 簡

稱 AT)，可作為耐力運動訓練強度的指標。雖然， VO_2max 和 AT 與耐力運動成績有高度相關，但一般而言 VO_2max 所代表的是選手個人有氧能力的潛能，AT 則是表示一個選手所能承受訓練的能力，但這兩者必須借助於昂貴的科學儀器測試及繁瑣的操作，甚至於侵體性的測量過程造成諸多不便。以往評估耐力性運動的指標是以最大攝氧量（ VO_2max ）為指標。但兩個具有同樣 VO_2max 的運動員在相同負荷下運動時，會因為對血乳酸濃度忍受程度的不同，而對運動持續時間亦有所不同。因此，漸漸地被無氧閾值（AT）、乳酸閾值（Lactate Threshold）、心跳閾值（Heart Rate Threshold）等所取代。而在非侵體性的方法中，則以心跳閾值、臨界負荷（CP）作為無氧閾值的訂定，應是最為方便的強度設定。臨界速度（CV）或臨界負荷（CP）是利用簡單、客觀、科學的評量方法提供準確的參數，成為應用在耐力運動訓練上的強度指標。並且為近年來運動科學研究者用來提升耐力性運動訓練上一個新的研究趨勢。而目前大部分學者對於游泳臨界速度的研究上，只是將選手在游泳池中所測得 50 至 800 公尺的成績加以組合計算，來預測長距離耐力游泳的成績，或以原位游泳水槽（swimming flume）來測量耐力性游泳的成效。但在實際訓練當中很多狀況並不是我們所能控制的，這些在實驗室中所推算出來的臨界速度，對於實際從事訓練工作但缺乏科學儀器的基層教練們是否真的有所幫助，而運用於實際訓練中成效如何，是值得進一步探討。

第二節 研究背景

運動科學訓練的日新月異，成績日益精進，在競技游泳

比賽中可說是分秒必爭，尤其近年來競技游泳成績突飛猛進，各項比賽中屢創佳績。教練為了尋求更有效的訓練方法以提昇選手體能、技術，以獲得較好的運動訓練成效。因此，在耐力訓練的過程中，運動負荷強度的決定一直是教練最關切的問題。然而位於基層的運動教練們，因為缺乏科學儀器與運科人員的支援，所以在訓練過程中對於運動強度，包括持續時間、重覆次數、運動休息時間的長短等，都無法做有效的控制。大部份的教練都是以經驗法則或是採用最原始的心跳率測量法來進行訓練工作，如此一來很容易造成訓練不足或是過度訓練；而且讓選手自行測量心跳也會造成誤差或是謊報次數，對教練與選手來說何嘗不是一種傷害，更直接影響到訓練實施的成效。

1965年 Monod & Scherrer 提出肌肉所作的功與最大持續運動時間呈直線正比關係，進而用來評估肌肉活動時的臨界負荷（CP）與臨界力量（CF）之後。1980年 DeVries 與 Moritani 首先將臨界負荷的概念運用在腳踏車的研究上，隨後相繼有許多學者，如 DeVries 等人（1982）、Nagate 等人（1983）、Bulbulian 等人（1986）、Housh 等人（1989、1991a、1991b）、Jenkins 和 Quigley 等人（1993）、Overend 等人（1992）、王順正與林正常（1992）、Hill 等人（1994）、Gaesser 和 Carnevale 等人（1995）、陳孟言（1997）、Williams 等人（1997）都是進行有關於腳踏車臨界負荷之研究。所以臨界負荷應用在腳踏車的運動研究中，是相當早就有學者在進行。

臨界負荷（CP）與臨界速度（CV）兩者如果運用在不同的運動項目時，會因為所採用的單位不同而有所區別。例如以原地腳踏車或舉重項目來實施測驗時，所要求的是力量，

因此單位為「動力 (Power)」，所以以動力為主的測驗統稱為「臨界負荷 (CP)」。另外，以時間、距離為主的項目如游泳、跑步，很明顯的其單位是以「速度 (Velocity)」來顯示，所以在測驗中稱為「臨界速度 (CV)」。1984年 Hughson等人研究發現以臨界速度可有效預測長距離跑步成績的表現。而 Pepper等人 (1992)、王順正與林正常 (1994)、Kolbe等人 (1995)、Kachouri等人 (1996)、Hill與Rowell (1996)、王順正 (1998)、吳穎照 (2003) 等研究，都進行有關於跑步臨界速度的相關研究。

而Wakayoshi和Moritani等人 (1992a) 首次將臨界速度的概念應用在游泳方面的研究，並且發現對於競技游泳選手的耐力表現有極高的相關。後續則有Wakayoshi等人 (1992b , 1993) Steward等人 (1994) 戴堯種 (1995) Hill等人 (1995) Finke等人 (1996)、李長生 (1997)、Martin L等人 (2000)、吳忠芳等人 (1998) 陳福財 (2002) 張育瑞與周志松 (2004) 周志松與呂欣善 (2005) 等人，也都進行相關的研究。然而游泳項目在臨界速度的相關研究中起步最晚，但游泳臨界速度的研究卻是在臨界負荷這個研究中發展最快的一個項目。

從以往許多文獻的研究結果中可以發現，臨界速度與耐力運動項目表現有很高的相關，對於運動成績表現的預測能力，也有很高的信度與效度。而臨界速度的概念在理論上是指選手可以在CV的強度負荷下進行無限長時間的最大有氧性運動。王順正與林正常 (1995) 也利用整合分析

(meta-analysis) 的效度概化 (validity generalization) 研究法，證實了CV對於AT的評量方式是有效的。李長生 (1997) 也運用25m、50m、100m、200m、400m、800m的捷泳在不同

距離的組合方式，來導出與臨界速度的相關，結果發現採用 50、100、200 公尺捷泳所組合出來的 CV 最適合運用在長距離的有氧訓練中，其解釋力高達 93% 以上。這對於在基層從事訓練工作的教練來說，要實施有氧耐力訓練確實是一種便捷的計算方式。但也有多位學者認為如 Poole 等人 (1988)、Housh 等人 (1989, 1991a, 1991b)、Pepper 等人 (1992)、Overend 等人 (1992)、王順正與林正常 (1992, 1994)、Billat 等人 (1994)、王順正等人 (1995)、陳孟言 (1997) 等人的研究發現，CV 的強度有顯著高於 AT 的情形，或是其生理狀態無法呈現穩定的現象。

基於以上所述，CV 與 AT 雖然有顯著的相關，但又有學者認為有高估的現象，因此本研究希望透過選手實際在游泳池中以 CV 的各種強度來從事游泳有氧運動能力，並測量選手的心跳率 (Heart Rate, 簡稱 HR)、換氣量 (Ventilation, 簡稱 VE)、耗氧量 (Oxygen intake, 簡稱 VO_2)、二氧化碳產生量 (Carbon dioxide output, 簡稱 VCO_2)、血乳酸 (Blood Lactate, 簡稱 LA) 等人體的生理反應的穩定性，加以驗證以 CV 強度從事游泳有氧性運動訓練是否適合，或是必須降低其強度，則是本研究想要進一步探討的問題。

第三節 研究目的

本研究的目的是，將探討在游泳池中所測量得到的 CV，並以 CV 的各種強度 (80%、85%、90%、95%、100%) 作為訓練的指標，進行 400 公尺捷泳訓練。並且針對受試者在各種不同 CV 強度中的心跳率 (HR)、換氣量 (VE)、耗氧量 (VO_2)、二氧化碳產生量 (VCO_2)、血乳酸 (LA) 等生理變

化加以觀察。以確認採用何種的 CV 強度訓練，適合做為游泳有氧運動能力訓練強度的重要指標。

第四節 研究假設

本研究假設如下：

受試者以不同 CV 強度作為有氧運動能力訓練的指標，進行捷泳訓練時，受試者在各種不同游泳 CV 強度中的各項生理反應包含心跳率 (HR)、換氣量 (VE)、耗氧量 (VO_2)、二氧化碳產生量 (VCO_2)、血乳酸 (LA) 等人體的生理變化無顯著差異。

第五節 研究範圍與限制

由於本研究是讓受試者在水中進行實際的 400 公尺捷泳，因此在耗氧量的採氣部份，因為儀器無防水裝置，所以無法進行運動中的採氣，只能進行運動後恢復期的氣體收集。

第六節 操作性定義

一、臨界速度 (Critical Velocity)

在運動過程中，只要是持續長時間的運動項目，不論是單一肌肉的活動、腳踏車、跑步或游泳等，運動強度與持續時間可以發現會呈現一種特定關係。在高強度負荷運動時，持續時間較短；低強度負荷運動時，持續運動時間較長，兩者呈現性關係。臨界負荷 (CP) 是以單一肌肉收縮或以原地腳踏車，推算可以維持一段長時間的運動強度，並將這個強度稱之為臨界負荷 (CP) (Monod & Scherrer, 1965; Moritani 等人, 1981)。若將此概念運用在游泳或跑步時，運動強度則

以速度 (Velocity) 來代表。因此，將 CP 運用在這些運動項目時，稱為臨界速度 (Critical Velocity; CV) (王順正，1998)。本研究是以不同的固定游泳距離對其游泳時間的直線關係求出迴歸直線，此直線的斜率則為臨界負荷，以公式表示如下 (李長生，1997)：

$$D(\text{距離}) = AWC(\text{無氧工作能力}) + CV(\text{臨界速度}) \times T(\text{時間})$$

二、有氧運動能力

有氧運動能力是長時間持續運動的重要指標，這類型態的運動主要能量是藉由有氧系統的途徑來供給。以能量系統的供給時間來說，只要運動時間超過三分鐘，身體的能量供給系統即進入有氧能量 (林正常，1987。黃彬彬，1993。蘇金德，1987)。龔憶琳 (1990) 則認為最大攝氧量是評定個人有氧作業能量最佳的指標。另外，無氧閾值在生理上的意義代表著能量來源將由有氧路徑轉為無氧路徑的一個轉折點。林正常 (1996) 也確認無氧閾值與最大攝氧量及運動能力之間有高度相關的事實。因此，本研究所指的有氧運動能力，是藉由從泳池中測得之捷泳成績所推算的 CV，以及心跳率、換氣量、耗氧量、二氧化碳產生量、血乳酸等來代表有氧運動能力。

三、不同游泳臨界速度

本實驗所訂定之不同游泳臨界速度為，受試者經過三種距離 (50m、100m、200m) 的最大努力捷泳測驗後，經由公式求出每位受試者的 CV，此 CV 為 100% 的強度。然後在依據 100% 的強度分別換算出 80%、85%、90% 與 95% 的 CV 強度，這些強度皆代表不同游泳的臨界速度。

第七節 研究的重要性

無氧閾值一直是評量有氧運動能力的一個指標，但必須借助於昂貴的科學儀器測試及繁瑣的操作，甚至於侵體性的測量過程造成諸多不便。而 CV 是近年來運動科學研究者用來提升有氧運動能力的一種簡便且更經濟方法。但對此方法仍然有許多學者有不同的看法，本研究若能再一次驗證以 CV 強度確實可做為有氧運動能力的指標，那基層教練將可以運用更簡便的方式，來訂定適宜的運動強度。

第貳章 文獻探討

第一節 有關臨界負荷測驗方法的沿革與計算方式

Monod 與 Scherrer 於 1965 年提出肌肉臨界負荷的概念，他們測量受試者肌肉動態與靜態的肌力，和肌肉所能持續活動的最大時間關係。發現肌肉在固定負荷下進行最大能力運動時，肌肉所做的功與最大持續運動時間成直線正比關係。因此，Monod 與 Scherrer 提出臨界負荷（CP）與臨界力量（CF），若將此概念運用在以時間、距離為主的項目中，如游泳、跑步等其單位是以速度來顯示，所以亦可稱為臨界速度（CV）。因此，CV 的定義即是肌肉再動態與靜態收縮時，能夠持續長時間運動而不覺得疲勞的最大固定負荷；這是設定有氧運動能力的一個強度指標（王順正與林正常，1994。李長生，1997）。

自從 1965 年 Monod 與 Scherrer 開始至今，對於 CV 的計算方式，大致有下列五種模式：

一、速度—時間的非線性關係模式（V—T）

此模式是有關 CV 計算模式中，由 Monod 與 Scherrer 於 1965 年最早提出的，他是藉由不同負荷強度的最大反覆持續運動時間與肌肉所做的功之關係。而肌肉的無氧工作能力（Anaerobic Work Capacity，簡稱 AWC）為截距，肌肉能夠持續極長運動時間的最大負荷為斜率（如圖 2-1）。其計算模式如下：

$$\text{最大持續運動時間} = \frac{\text{無氧工作能力(AWC)}}{\text{運動能力} - \text{CP}}$$

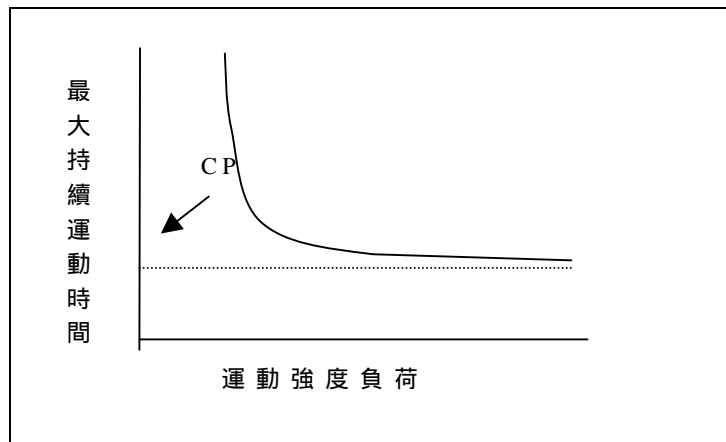


圖2-1：速度—時間的非線性關係模式(Monod et al;1965)

二、距離—時間的線性關係模式 (D—T)

是由 Moritani 等人於 1981 年提出，是透過腳踏車測功器的實驗，推算出最大做功（運動強度負荷乘以最大持續運動時間）與最大持續運動時間的線性正比關係（如圖 2-2）。主要的優點是以距離為測量單位的運動項目（如跑步、游泳、划船等），而且選手的資料取得容易，透過此數學模式為距離與運動時間成績的正比關係模式來評量，其計算模式如下：

最大功 = 運動強度負荷 × 最大持續運動時間（運動成績）

或

距離 (D) = 無氧工作能力 (AWC) + 臨界負荷 (CV) × 最大持續運動時間 (T)

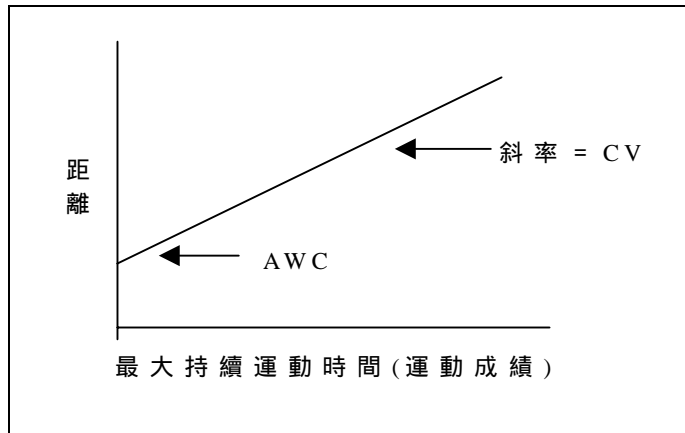


圖 2-2：距離—時間的線性關係模式(Moritani et al;1981)

三、速度—時間的倒數線性關係模式 (V—1/T)

是由 Hughson 等人於 1984 年所提出，並將此概念應用在跑步運動上，主要的模式是運動強度負荷與最大持續運動時間倒數的線性正比關係（如圖 2-3）。此模式比較簡單且容易實施，其計算模式如下：

$$\text{運動負荷}(P) = \text{臨界負荷}(CV) + \frac{\text{無氧工作能力}(AWC)}{\text{最大持續運動時間}}$$

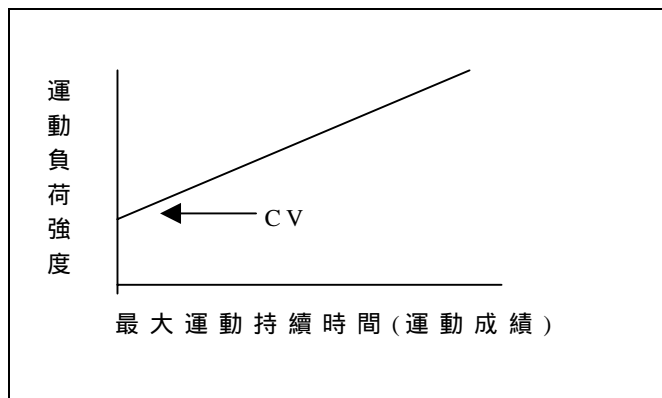


圖2-3：速度—時間的倒數線性關係模式(Hughson et al;1984)

四、漸增強度 (ramp) 運動測驗模式

是由 Morton 於 1944 年所提出，是利用漸增運動測驗的無氧工作能力、臨界負荷與最大運動時間的平衡方程式來計算（如圖 2-4），而這種方法可以獲得有效的 CP 負荷值，其測量值和傳統的測量方法也極為接近（王順正等人，1995；Morton，1997；王順正，1998）。並且可以避免傳統測驗中，有關 CP 測量值偏高和 AWC 偏低的現象。其計算模式如下：

$$\text{漸增強度運動時間} = \frac{\text{臨界負荷(CP)}}{\text{強度增加率}} + \sqrt{\frac{2 \times \text{無氧工作能力}}{\text{強度增加率}}}$$

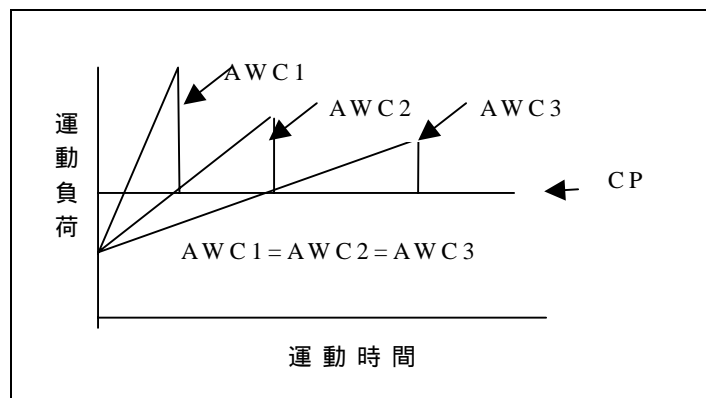


圖 2-4：漸增強度(ramp)運動測驗模式(Morton;1994)

五、三參數非線性關係模式 (3P)

是由 Hopkins 等人於 1989 年所發展出來的，它是以最大持續運動時間、運動負荷、最大瞬間運動負荷（maximal instantaneous power，簡稱 Pmax）此三個參數的非線性 CP 計算模式，所計算出來的 CP 值也與漸增強度運動測驗模式

一樣，可避免傳統 CP 測量值偏高的現象，且能提供一個最大運動負荷的值（吳忠芳，1998；王順正，1998），其計算模式如下：

$$\text{最大持續運動時間} = \frac{\text{無氧工作能力(AWC)}}{\text{臨界負荷(CP) - 最大瞬間運動負荷(Pmax)}}$$

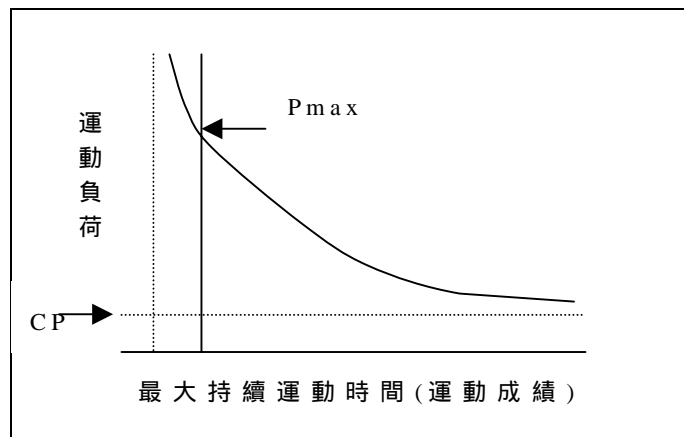


圖 2-5：三參數非線性關係模式(Hopkins et al;1989)

以上五種計算模式是目前研究臨界速度的主要方向，在 1995 年王順正等人，利用效度概化的理論，分析 16 篇有關臨界負荷效度的研究資料（測驗方式為踏車 10 篇、游泳 5 篇與跑步 1 篇），發現 CP 評估 AT 的效度達到概化，CP 評估 AT 的真正效度為 0.905，以踏車與游泳為測驗方式的 CP 效度亦達概化，其真正效度分別為 0.895 與 0.921。另外，吳忠芳等人（1998）將四種臨界速度的推算模式相互比較，即速度—時間非線性關係模式（V—T），速度—時間的倒數線性關係模式（V—1/T）、距離—時間的線性關係模式（D—T）和三

參數非線性關係模式 (3P), 結果顯示, 各數學模式 CV 中, V—T 非線性模式、V—1/T 線性模式、D—T 線性模式分別高於 3P 非線性模式 3.7%、6.0% 和 11.2%, 發現兩線性數學模式之 CV 有偏高現象, 而非線性數學模式之 CV 可減少偏高的現象。不同 CV 的計算方式之中, D—T 線性模式是最為簡便的, 3P 非線性模式的 CV 值是最低的, 這兩種的推算模式相關高達 $r=0.97$ 。可見臨界負荷是可以運用在運動訓練上, 而這五種數學模式都是有效的 CP 計算模式。

運用 CP 測量運動負荷, 其測驗項目該用幾項, 1990 年 Housh 等人進行四個固定負荷的最大持續運動時間測驗, 發現以二個固定負荷所測得的 CP 與四個固定負荷所測得的 CP 強度值是相同的。Clingeffer 等人 (1994a) 以划船項目進行測驗, 也發現以二次最大持續運動時間, 也可以獲得準確的 CV 測量結果。Hill (1993) 指出以四至五個固定負荷來評量 CP 是理想的測驗次數。Wakayoshi 等人 (1993) 以八名游泳選手為受試者, 進行 CV 與該速度乳酸堆積之間的關係研究, 受試者須接受 400m 最大努力游泳及 85% 400m 最大努力游泳測驗, 求出 VO_{2max} 及乳酸閾值泳速 (V-OBLA), 再以 200m 及 400m 最大努力測驗求出 CV, 並認為 CV 可由二次不同距離最大努力游泳求出, 且臨界速度可反應出最大乳酸穩定堆積的運動強度。李長生 (1997) 針對游泳項目, 探討不同游泳距離進行組合來計算出 CV 負荷的差異, 發現可以測量選手的 50m、100m、200m 的捷泳成績成為有效的 CV 值。林正常 (2002) 也提到對於 CV 的計算可以測量跑者 400m、800m、1500m 的三個成績來求出 CV 值。因此, 對於 CV 負荷值的測量可以利用三個項目測驗所得的運動成績來求出。

而本研究主要是想提供基層運動教練們能夠運用一種簡單的模式，不需要複雜的科學儀器或侵入性的測試，就能夠設定最有效的有氧訓練強度，讓選手進行訓練。

第二節 臨界負荷在不同運動項目之研究

Clingeffer 等人 (1994a、1994b) 測量八名優秀的男性划船選手，進行 60 秒、240 秒、600 秒與 1200 秒的划船最大持續運動表現，結果發現，只要利用 90 秒與 240 秒二次的最大持續運動負荷表現，即可獲得有效的 CP 負荷值。

Jenkins 和 Quigley (1990) 以八位高度訓練的自由車選手做四個固定負荷強度 (360W、425W、480W 和 520W) 的踏車運動，由四個總作工量和到運動衰竭的時間來計算每位受試者的 CP。並要求受試者以 CP 的強度運動 30 分鐘，藉以判定 CP 的運動強度是否可以維持一段很長時間而不會產生疲勞，並且與最大乳酸穩定狀態時的運動強度相比較。結果發現，八位自由車選手中有六位無法以他們的 CP 強度維持 30 分鐘，其平均負荷低於預估知 CP 有 6.4%，而且發現 CP 有高估最大乳酸穩定狀態。作者認為在持續長時間運動時的血乳酸會比在漸增運動測驗而相同功率時的血乳酸還要高。另外，作者也確認 CP 可作為評量持續長時間運動強度簡單而又方便的方法。

Pepper 等人 (1992) 分別測量 10 名男性受試者在跑步機的臨界速度之後，進一步以臨界速度的 70%、85%、100%、115% 與 130% 的速度運動到衰竭，來探討預測與實測最大持續運動時間的差異。結果發現，CP 的 100% 到 130% 跑步速度的預測時間和實際衰竭時間之間有顯著不同，高於 CP 之跑步速

度的TL值和預測值之間的相關範圍從 $r=0.957\sim 0.980$ ，在85%臨界速度時則有8名完成60分鐘之跑步，在100%臨界速度時，平均運動時間則只有 16.43 ± 6.08 分鐘。作者認為此研究結果並未支持CP測驗能預測跑步機跑步之實際衰竭時間，並且顯示，其臨界速度約高估可以維持60分鐘的跑步速度15%。

王順正與林正常(1994)以29名男女生進行實地測量跑步成績來計算臨界速度，以及在原地跑步機上測量換氣閾值速度，比較兩種速度之間的相關。結果發現實地測量所得到之臨界速度顯著大於換氣閾值速度，但實測成績的臨界速度與換氣閾值速度的相關為 $r=0.87$ ($P<0.05$)，作者認為臨界速度可用來預測無氧閾值。

Housh等人(1991b)利用跑步機分別測量10名男性受試者臨界速度與 $VO_2\max$ ，結果發現臨界速度($14.0\pm 0.4\text{km/hr}$)與 $VO_2\max$ ($14.4\pm 0.4\text{km/hr}$)沒有顯著差異存在，但是相關高達 $r=0.86$ ($p<0.05$)。此外，臨界速度與HR($r=0.89$)、 VO_2 ($r=0.93$)與LA($r=0.68$)的相關亦皆達到顯著水準，Housh等人同時發現臨界速度有高估最大持續運動時間負荷的現象(30分鐘為1%、60分鐘為30%)，因此提出臨界速度無法有效評估能夠持續相當長運動時間的最大跑步速度。

劉昶宗(2002)針對20位國內優秀的男性長跑選手，探討長跑選手的臨界速度(CV)對1500公尺、5000公尺、10000公尺及馬拉松成績的相關與預測能力。採用距離(D)=臨界速度(CV)×時間(T)的直線模式計算出CV，結果顯示，臨界速度與1500公尺、5000公尺、10000公尺及馬拉松成績負相關分別為 $r=-0.39$ 、 -0.83 、 -0.99 及 -0.79 ，除1500公尺外，其他各

項的成績都與馬拉松成績相關達顯著水準 ($P < 0.05$)。以迴歸模式預測不同距離成績時發現，以CV預測1500公尺只有16%解釋量，顯示本研究之臨界速度不可有效預測1500公尺的成績，但是對10000公尺的成績則是有很高的預測力高達89%。另外和馬拉松成績的負相關為 $r = -0.89$ ($P < 0.05$)，達顯著水準，解釋變異數79%，表示CV對馬拉松跑步成績具有預測能力。作者認為CV可做為訓練時的參考，而這研究也是少數以選手實際比賽紀錄或最佳成績作為研究數據的來源。

黃崑明 (2001) 以24名大專男生為對象，進行臨界力量 (CF) 與舉重最大能力的推估和肌耐力的關係。每位受試者均接受仰臥推舉、屈膝深蹲的最大肌力 (1RM) 測驗和70%、80%、90% RM固定負荷的每分鐘最大反覆次數測驗，再求取CF值。結果發現，CF推估仰握推舉最大預測值與實際最大肌力兩者間相關達 $r = 0.99$ ($p < .05$)，經考驗結果 $t = 0.900$ ($p > .05$) 不具差異顯著水準，在推估最大預測值估計標準誤則為0.791，證實了預測方程式確實有其準確性。而在屈膝深蹲方面CF推估最大預測值與實際最大肌力兩者間相關達 $r = 0.987$ ($p < .05$)，考驗結果 $t = 0.45$ ($p > .05$) 差異未達顯著水準，最大預測值估計標準誤為1.099。因此，作者認為仰握推舉和屈膝深蹲的CF對推估預測最大表現重量有很高的相關存在，但未達顯著差異水準；並且CF推估最大預測值之平均值皆比實際最大肌力之平均值略高，有高估可持續長時間運動的現象。另外，屈膝深蹲的CF可作為肌耐力 (跳躍耐力) 的有效指標。

王順正 (1998) 以國內20位長跑選手為對象，進行實驗室與田徑場上的CV測驗，結果兩者的CV值相關達到 $r = 0.84$ ，顯示在田徑場上所做的測驗確實可以作為CV有效的評量方式。

第三節 臨界負荷在游泳項目之研究

Wakayoshi 等人(1992a)將 CV 的概念應用在游泳項目，以原位游泳水槽 (swimming flume) 測量 9 名大學男性的游泳選手的最大攝氧量 ($VO_2\max$)、換氣閾值 (Ventilatory Threshold, 簡稱 VT), 以及 OBLA 在 4mM/L 出現時的 VO_2 與 CV 的關係。研究結果顯示, CV 與 $VO_2\max$ 的相關只有 $r=0.318$, CV 與 VT 的相關為 $r=0.818$, CV 與 OBLA 的相關為 $r=0.949$, CV 與 400 公尺游泳平均速度的相關為 $r=0.864$ 。此研究發現臨界速度對競技游泳選手而言, 是非常有效的耐力表現指標。

Steward 等人(1994)將 CV 的概念應用在非優秀選手上, 他們以 86 名非優秀游泳選手, 年齡在 8-18 歲為對象的受試者, 每位選手依年齡及經驗分成兩組, 進行四種不同游泳距離 (一組距離為 22.9m、45.7m、91.4m、182.9m, 另一組距離為 91.4m、182.9m、457.2m、2286m) 的最大努力測驗, 依其成績求出 CV 及無氧游泳能力 (ASC); 結果顯示, CV 與長距離游泳平均速度相關均達 $r=0.86$ 以上。Steward 認為 CV 的概念提供了教練對於訓練時有氧能力與無氧能力的簡單預估指標, 並且可應用於年齡較小的選手。

Wakayoshi 和 Yoshida 等人 (1992b) 測量八位經過高度訓練的游泳選手, 分別在原位游泳水槽中以四個預定的游泳速度, 一直游到選手產生疲勞的時間和在游泳池中測驗四個不同距離的時間, 求出臨界速度 (CS)。藉以判斷 CV 的概念是否能由原位游泳水槽中 (CS-flume) 或經由一般標準游泳池 (CS-Pool) 中所判定的游泳臨界速度 (CS), 加以應用在游泳競賽上, 並探討 CS 是否可以當作評量游泳選手的耐力

表現。結果發現，CS 可以透過游泳距離和游泳時間之間的關係來判定，也可以在游泳水槽及一般游泳池中求得，並且可以作為評量游泳選手耐力表現的指標。

Wakayoshi 和 Yoshida 等人 (1993) 測量 8 位游泳選手盡最大努力游兩種距離的自由泳 (200 和 400 公尺) 的游泳時間，求出臨界速度 (V_{crit})。藉以判定臨界游泳速度 (CS) 是否可以用在游泳競賽上，以及和最大乳酸穩定狀態時的運動強度是否一致。結果發現 V_{crit} 和 4mmol 乳酸濃度時的游泳速度 ($r=0.914$) 和 400 公尺自由泳的平均速度 ($r=0.977$) 有顯著相關 ($p<0.01$)。受試者以自由泳從事三種固定負荷的速度 (98%、100%、102% 的 CP) 進行 1600 公尺 (4×400 公尺)。結果顯示， V_{crit} 可經由從事兩個盡最大努力之游泳表現的時間計算出來，並且它可能和最大乳酸穩定狀態時的運動強度一致。

戴堯種 (1995) 以 20 名女子游泳選手，測量在游泳池中盡最大努力游完 50、100、200 和 400 公尺的捷泳成績，並以距離與時間 (成績) 的直線正比關係之計算模式，計算出臨界速度 (CV) 與無氧游泳能力 (ASC)，並由漸增游泳速度測驗中求出心跳閾值 (Heart Rate Threshold, 簡稱 HRT) 速度，比較臨界速度、心跳閾值速度兩者間之差異，和對於捷泳成績的預測能力。受試者的臨界速度平均值為 $1.17 \pm 0.1 \text{ m/sec}$ ，心跳閾值速度平均為 $1.22 \pm 0.09 \text{ m/sec}$ ，兩者與 50、100、200 和 400 公尺捷泳成績負相關依序分別為 -0.85、-0.86、-0.94、-0.99 (CV); -0.85、-0.90、-0.86、-0.83 (HRT)，兩者與所有捷泳成績成績相關皆達顯著水準 ($p<0.01$)。由逐步多元回歸分析發現，臨界速度可預測不同距離的捷泳成

績，且距離愈長預測力愈高。由此研究結果發現，心跳閾值速度與臨界速度兩種簡便的測驗方式，皆可預測有氧能力。

李長生（1997）以 21 名大專游泳選手，接受 25、50、100、200、400 和 800 公尺的最大努力捷泳測驗，利用距離與時間（成績）的直線正比關係的計算模式，各求出 25、50、100 公尺的臨界速度（CV）與 200、400、800 公尺的 CV 及其個別的無氧游泳能力（ASC），來探討不同距離組合的臨界速度與捷泳成績之相關，並以漸增速度的方式進行心跳閾值（Heart Rate Threshold）測驗。結果發現，在三個不同距離捷泳成績的組合（CV251：25、50、100 公尺；CV512：50、100、200 公尺；CV248：200、400、800 公尺）和所有距離組合（CV25-800），依距離—時間的線性模式計算出臨界速度，顯示出臨界速度與所有距離（25-80 公尺）捷泳成績的相關皆達到統計上的顯著水準（ $p < 0.01$ ）。另外，由最短距離捷泳成績所導出之臨界速度（CV251）較其他不同組合之臨界速度可預測短距離捷泳成績（25、50、100 公尺）相關較高，其解釋量都在 71% 以上，而預測 100 公尺的變異解釋力更高達 98%；亦可預測長距離捷泳成績，但預測能力不如長距離組合之臨界速度來得高，其解釋變異量為 81%、78% 和 81%。相對的以較長距離成績組合（CV512、CV248）及所有距離成績組合（CV25-800）所導出之臨界速度與短距離捷泳成績的相關較低，但與長距離捷泳成績的相關極高（ $r = -0.97$ 以上， $p < 0.01$ ），以此來預測長距離捷泳成績的變異解釋量達 93% 以上，對 800 公尺的預測能力更高達 98%，尤其是由 50、100、200 公尺捷泳成績組合所求得的臨界速度（CV512）與長距離捷泳成績有極高的負相關（ r 依序為 -0.98、-0.98、

-0.97)。在心跳閾值速度與各捷泳（25-800公尺）成績的負相關依序為-0.78、-0.67、-0.89、-0.95、-0.96及-0.96，顯示心跳閾值速度可以預測長距離捷泳運動表現，尤其是400公尺（92%）和800公尺（92%）。研究結果顯示，在實際應用上只需測量50、100、200公尺的捷泳成績，求出臨界速度，即可作為長距離捷泳成績的預測，而不必實際測量400和800公尺的捷泳成績。

Biggerstaff 等人（1992）以九位游泳選手接受了91.4 m（100碼）、182.9 m（200碼）和365.8 m（400碼）的游泳測驗，利用速度和時間的非線性關係模式計算出臨界速度，並在測驗完二分鐘後採血進行血乳酸分析，與無氧能力的相關係數高達 $r=0.876, p=.002$ 。另外，在預測914.4m（1000碼）也有很高的相關（ $r=0.963, p<.001$ ）。因此，作者認為三個短距離的全力游泳就能求出臨界速度（ S' ）。

Martin 等人（2000）以八位（5男、3女）優秀鐵人三項選手為對象，測量鐵人三項選手在游泳項目臨界速度與血乳酸閾值是否一致。每位受試者均接受最大努力100、200、400、800和1500公尺捷泳測驗，以線性回歸線方式求斜率，從2-5個測試的時間中全部可能的組合計算出臨界速度。另外，受試者又完成5×300公尺的漸增速度的水中配速游泳（300公尺的平均速度是從1500公尺的每100公尺配速得到），300公尺的速率分別是-10%、-5%、0、+5%和+10%，完成每個300公尺後休息一分鐘採血進行分析。結果發現，所有的受試者的第一個 V_{crit} （游泳臨界速度）（ $p<0.05$ ）比 $V-LT$ （速度乳酸閾值）（分別為 $1.23 \pm 0.11 \text{ m s}^{-1}$ and $1.15 \pm 0.10 \text{ m s}^{-1}$ ）有顯著。同時血乳酸的集中是顯著較高（ $p<0.05$ ），

在 V_{crit} ($3.0 \pm 1.0 \text{mM}$) 在 LT ($1.9 \pm 0.4 \text{mM}$)。作者認為從這研究證實， V_{crit} 能從任何二個測驗時間的組合來計算，然而在三項運動中 V_{crit} 是不代表 $V-LT$ ，從 V_{crit} 測驗中得知 $V-LT$ 它是未必是被無限支持的。

吳忠芳等人 (1998) 以 18 名優秀青少年游泳選手為對象，每位受試者皆接受 25m、50m、100m、200m 和 400m 捷泳測驗，將所得之成績帶入以下四種臨界速度的計算模式：1. 速度—時間非線性關係模式 ($V-T$)、2. 速度—時間的倒數線性關係模式 ($V-1/T$)、3. 距離—時間的線性關係模式 ($D-T$) 和 4. 三參數非線性關係模式 ($3P$)，將所得之 CV 的差異及其運動表現的相關做一探討。結果顯示，各數學模式 CV 中， $V-T$ 非線性模式、 $V-1/T$ 線性模式、 $D-T$ 線性模式三者分別高於 $3P$ 非線性模式 3.7%、6.0% 和 11.2%，發現兩線性數學模式之 CV 有偏高現象，而非線性數學模式之 CV 可減少偏高的現象。不同 CV 的數學模式與運動表現的相關，隨著運動距離增加而增加 ($r=0.90 \sim 0.99$)，表示皆能代表游泳選手的有氧運動能力。在不同 CV 的計算方式中， $D-T$ 線性模式是最為簡便的， $3P$ 非線性模式的 CV 值是最低的，但兩者的相關高達 $r=0.97$ 。所以作者建議，為增加 CV 的實用性可利用回歸方程式： $3P$ 模式 $CV=0.8905 \times D-T$ 模式 $CV+0.2146$ 。

縱觀以上各位學者對於游泳運動臨界速度的研究，在 CP 系列研究中是最晚才開始的，是在 1992 年才被運用在游泳運動項目中，但卻是在臨界負荷研究中發展最快速的研究方向。

第四節 有關臨界負荷各項生理反應的研究

Wakayoshi 等人 (1992a) 以原位游泳水槽 (swimming flume) 測量 9 名大學男性的游泳選手，其 VO_2max 、AT 與 4mM/L OBLA 出現時的 VO_2 與游泳臨界速度的關係。研究結果顯示，CV ($1.166 \pm 0.052m/s$) 與 VO_2max 的相關只有 $r=0.318$ ($p < 0.05$)，CV 與 AT 的相關為 $r=0.818$ ($p < 0.01$)，臨界速度與 OBLA 的相關為 $r=0.949$ ($p < 0.01$)，臨界速度與 400 公尺游泳平均速度的相關 $r=0.864$ ($p < 0.01$)。受試者在臨界速度負荷下游泳 4 分鐘後搭 LA 濃度為 $4.23 \pm 0.67mM/L$ ，顯示出臨界速度對於競技游泳選手而言，是非常有效的耐力表現指標。但若以 CV 負荷運動時，LA 濃度高於 4mM/L 的現象來說，CV 強度可能無法持續長時間的運動。

戴堯種 (1995) 測量 20 名女子游泳選手，以捷泳盡最大努力分別游完 50、100、200、與 400 公尺，所得到之成績利用游泳距離與游泳成績成直線正比關係的數學模式，計算出游泳選手的臨界速度負荷值，結果顯示臨界速度 ($1.17 \pm 0.10m/sec$) 與心跳閾值 (HRT, $1.22 \pm 0.09m/sec$) 的相關 $r=0.81$ ($p < 0.01$)，而且臨界速度與心跳閾值速度沒有顯著差異存在。

李長生 (1997) 以 21 名大專游泳選手，接受 25、50、100、200、400 和 800 公尺的最大努力捷泳測驗，利用距離與時間 (D—T) 的直線正比關係之計算模式，各求出 25、50、100 公尺的臨界速度與 200、400、800 公尺的臨界速度及其個別的無氧游泳能力 (ASC)，來探討不同距離組合的臨界速度與捷泳成績之相關，並以漸增速度的方式進行心跳閾值 (Heart Rate Threshold) 測驗。研究結果得知，心跳閾值速

度對 200、400、800 公尺的捷泳成績有很高的相關 ($r=0.89\sim 0.92$) 和預測有氧能力的運動表現。

Wakayoshi 等人 (1993) 以 8 名游泳選手為受試者，進行臨界速度 (CV) 與該速度乳酸堆積的關係，受試者須接受 400 公尺最大努力及 85% 400 公尺最大努力游泳測驗，求出 $VO_2\max$ 及乳酸閾值泳速 (V-OBLA)，再以 200 及 400 公尺最大努力測驗求出 CV，最後以 98% 臨界速度、100% 與 102% 的臨界速度，進行 4x400 公尺四階段乳酸變化研究。結果發現，臨界速度與 V-OBLA 相關為 $r=0.91$ 、臨界速度與 V-400 相關達到 $r=0.97$ ，而在三種定速下四階段乳酸濃度的變化情形，以 100% 臨界速度最為穩定，98% 臨界速度呈下降的趨勢，102% 臨界速度則呈現逐漸升高，作者認為臨界速度可反應出最大乳酸穩定堆積的運動強度。

Housh 等人 (1991b) 利用跑步機分別測量 10 名男性受試者臨界速度與 $VO_2\max$ ，結果發現臨界速度 ($14.0\pm 0.4\text{km/hr}$) 與 $VO_2\max$ ($14.4\pm 0.4\text{km/hr}$) 沒有顯著差異存在，但是相關高達 $r=0.86$ ($p<0.05$)。此外，臨界速度與 HR ($r=0.89$)、 VO_2 ($r=0.93$) 與 LA ($r=0.68$) 的相關亦皆達到顯著水準，Housh 等人同時發現臨界速度有高估最大持續運動時間負荷的現象 (30 分鐘為 1%、60 分鐘為 30%)，因此提出臨界速度無法有效評估能夠持續相當長運動時間的最大跑步速度。

王順正等人 (2003) 以 20 名經常參與運動的大專男生，分別在實驗室內接受跑步機上四個不同速度 ($2.0\sim 3.2\text{m/sec}$) 最大走路時間的測驗，進而計算與評量走路的 CV。接著以走路 CV 強度進行最長 20 分鐘的固定強度運動測驗，並詳細紀錄受試者的各項生理變化包括心跳率、攝氧量、二氧化碳產生量、

換氣量及自覺量表等反應。研究結果得知，攝氧量在20分鐘的運動過程中，僅由 17.38 ± 2.83 ml/kg/min微幅增加到 17.60 ± 2.84 ml/kg/min，心跳率（由運動後5分鐘時的每分鐘 144.35 ± 15.50 次，增加到第10分鐘的每分鐘 151.05 ± 15.57 次）、二氧化碳產生量（由運動後5分鐘時的 14.99 ± 2.72 ml/kg/min，增加到第10分鐘的 15.23 ± 2.87 ml/kg/min）與換氣量（由運動後5分鐘時的 24.51 ± 4.74 l/min，增加到第10分鐘的 26.03 ± 4.82 l/min），這些生理變化均在第10分鐘以後才會出現穩定狀態，自覺量表也無法出現穩定狀態，僅攝氧量幾乎不會隨著運動時間的增加而改變。

Biggerstaff等人(1992)以九位游泳選手接受了91.4 m(100 yd)、182.9 m(200 yd)和365.8 m(400 yd)的游泳測驗，以速度和時間的非線性關係模式計算出臨界速度，並在測驗完2分鐘後採血取得血乳酸樣本。研究結果發現，與無氧能力的相關係數高達 $r=0.876, p=.002$ 。另外，在預測914.4m(1000 yd)也有很高的相關（ $r=0.963, p < .001$ ）。因此，作者認為沒有必要在做侵入性的測試。

Housh等人(1991a)以12名自願的受試者為對象，進行腳踏車對於大腿伸肌肌肉臨界動力(CP)的血乳酸(OBLA)累積測定，結果在CP強度下運動後，OBLA的濃度有高於4mM/L的現象。

王順正(1998)以國內20位長跑選手為對象採用CV的85%、100%、115%之強度進行運動中的生理評估。結果發現，在運動持續時間方面，所有受試者在85%和100%強度皆可持續達20分鐘，而115%強度中只有一名受試者可持續運動達20分鐘；在心跳率(HR)方面，這三個強度皆無法出現穩

定狀態，從運動開始後 5 分鐘至運動結束 20 分鐘其心跳率，在 85% 從 147.20~158.25 次/分鐘、在 100% 從 161.20~176.90 次/分鐘、在 115% 從 170.40~180.25 次/分鐘，HR 會隨著運動的時間增加而增加，在 100% CV 強度時當運動至 15 分鐘以後 HR 則不會再顯著提昇；在呼吸系統（VE、VO₂、VCO₂）方面，換氣量（VE）在三個不同強度運動結束時的反應分別為，85% 為 1.250±0.225 L/min/kg、在 100% 和 115% 為 2.248±0.302 L/min/kg 皆達顯著差異，相對於運動 5 分鐘的 VE 變化在 100%、115% 則沒有顯著差異。在耗氧量（VO₂）三個不同強度運動時，85% 為 43.72±7.21 ml/min/kg、在 100% 和 115% 為 60.61±7.17 ml/min/kg 皆達顯著差異，而在 100% CV 強度運動時 VO₂ 會隨著運動時間的增加而增加，當運動時間超過 15 分鐘以後 VO₂ 則不會在顯著的提昇。二氧化碳產生量（VCO₂）則是在前 10 分鐘有顯著的提昇，超過 10 分鐘之後即不會在顯著的提昇。所以在呼吸系統方面，以 85% 的強度是呈現穩定狀態，100% 和 115% 強度的 VO₂ 會隨著運動時間與強度的增加而增加，VCO₂ 則是受到運動強度的影響。在血乳酸（LA）濃度方面，在三個強度下運動 20 分鐘，運動前後分別為 85% CV（1.51±0.35 與 2.47±0.88mM/L）、100% CV（1.91±0.67 與 6.93±3.47mM/L）和 115% CV（1.97±0.68 與 11.38±2.49mM/L），在 85% CV 血乳酸不致於出現過高的現象，而 100% 和 115% CV 則有高於 4mM/L 的現象。另外，股四頭肌積分肌電反應（Q_{IEMG}）會隨著運動時間的增加而增加，交感神經系統驅策反應（SN）則不會隨著時間而改變。因此，作者認為在 CV 強度下進行跑步運動時，除了 SN 還沒有出現增加的趨勢外，其他的各項人體生理變化皆會出現不

穩定狀態，顯示 CV 強度並不是可以持續長時間跑步運動的負荷強度。而以 VE、VO₂ 和 LA 的生理變項，在 85%CV 強度下運動時，會出現穩定的生理狀況，超過這個強度之後則會出現隨著運動時間增加而增加的生理反應。

第五節 有關臨界負荷在運動訓練上影響的研究

Jenkins 和 Quigley(1992) 以 12 位學生接受八星期相當於他們 CP 強度之腳踏車耐力訓練(30~40 分鐘/天，3 次/週，8 週)。訓練前測量每位受試者的臨界負荷(CP)，最大攝氧量(VO_{2max})，並以他們的 CP 強度連續採腳踏車 40 分鐘，藉以判定 CP 是否可以評量連續有氧性的運動表現，以及判定訓練所導致之有氧性耐力的改變。結果發現，CP 和在 270W 時的持續運動時間有顯著的相關($r=0.65$ ， $P<0.05$)，並且和可維持 40 分鐘的平均負荷有相關($r=0.87\sim 0.95$ ， $P<0.01$)，但至少高估後者 6% 以上。而耐力訓練會使 CP(196 ± 40.9 watt) 顯著增加 31% (255 ± 28.4 watt)，維持連續運動 40 分鐘的平均負荷(196 ± 34.5 watt) 增加 28% (242 ± 34.9 watt)，在 VO_{2max} (49.2 ± 7.8 ml/kg/min) 增加 8.5% (53.4 ± 6.4 ml/kg/min)。因此，作者認為 CP 可作為追蹤有氧耐力和個體對訓練之反應的一個實際而又有用的指標，而 CP 負荷值對於有氧能力的評估，似乎有高估平均約 15% 左右的現象。

Pepper 等人(1992) 分別測量 10 位男性受試者的 CV，進一步以 CV 的 70%、85%、100%、115% 和 130% 的速度，探討預測與實測最大運動時間的差異。結果發現，預測與實測兩者間的相關在 $r=0.957\sim 0.980$ 之間，預估標準誤在 8.1%~11.0% 之間。以 85%CV 強度做最大持續運動時間，10

名受試者有 8 位完成 60 分鐘的跑步，在 100%CV 時，平均運動時間只有 16.43 ± 6.08 分鐘。因此，作者認為 CV 高估了能夠持續運動 60 分鐘的跑步速度達 15% 以上。

Jenkins 和 Quigley (1993) 以 8 名沒有經過訓練的男性受試者，進行 8 週每天 5 次 60 秒的最大腳踏車測功器訓練，每週 3 次。結果發現，CP 並沒有因為從事短時間高強度的運動訓練而有所改變。

陳福財 (2002) 以 20 位女子游泳選手，分別測驗 50m、100m、200m、400m 自由式的成績，以距離與時間的計算模式，求出每位選手的臨界速度 (CV)，在依據每位選手的 CV 排序分成前 10 名一組，後 10 名一組。然後以每組各距離成績的平均值，最為期八週的耐力訓練，結束後再測驗求出 CV。結果顯示，兩組之間的成績進步幅度達顯著差異，而後 10 名選手的成績進步比前 10 名選手的進步幅度還多。因此，作者認為以 CV 作為耐力訓練強度的指標是有其成效。

第六節 本章總結

由以上文獻可以歸納下列幾點：

- 一、從許多研究中可以得知臨界速度與長距離有氧訓練以及無氧閾值有很高的相關，尤其是應用在游泳與跑步的運動項目中。
- 二、對於臨界速度的應用，在五種不同臨界速度的計算方式中，距離與時間 (D—T) 的計算模式是最為簡便的，而三參數 (3P) 非線性模式的 CV 值是最低的，這兩種的推算模式相關高達 $r=0.97$ 。

- 三、採用距離與時間的計算模式，許多研究發現只要利用三個固定負荷的運動成績，帶入此計算模式即可算出臨界速度，這對於基層運動教練們可說是最為簡便可行的強度計算模式。
- 四、有多位學者認為臨界速度的強度有高估有氧運動能力平均約 15% 左右的現象，心跳率則會隨著運動的強度增加而增加，耗氧量的變化則出現沒有改變與增加兩種，二氧化碳產生量則是出現沒有改變與降低兩種，至於血乳酸方面則是有穩定與增加的兩種可能。因此，利用臨界速度作為耐力訓練的指標是否合宜，則必須進一步來求證。
- 五、在訓練上的影響，研究顯示，以臨界負荷作為訓練的強度確實有其成效存在，但從是短時間高強度的運動訓練，臨界負荷值卻沒有明顯的改變。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究以台中市西苑高中游泳隊選手為對象，男生 11 名、女生 3 名，共 14 人，泳齡從 4 年至 8 年，曾代表學校參加全國中等學校運動會。

第二節 實驗日期與地點

- 一、實驗日期：94年 2月 16日 94年 3月 8日。
- 二、實驗地點：台中市三信公園游泳池，為長度 50 公尺之室外標準游泳池。

第三節 實驗方法與程序

一、實驗設計

本研究採受試者內設計，每位受試者必須 1.盡最大努力游完 50m、100m、200m 捷泳測驗，所有距離捷泳皆需測量兩次，以考驗其再測信度。每項測驗均間隔 24 小時以上，但 50m 與 100m 同一天測驗，兩項測驗需間隔 30 分鐘以上，並求出 400m 的臨界速度 (CV)。2.接著分別以 80%CV、85% CV、90% CV、95% CV 與 100%CV 的強度完成一趟 400m 捷泳，並測量其運動的生理指數，包含心跳率 (HR)、換氣量 (VE)、耗氧量 (VO_2)、二氧化碳產生量 (VCO_2)、血乳酸 (LA) RPE 自覺量表紀錄等，同時以運動前後的 LA 做為本研究的依變項。每個強度測驗均至少間隔 48 小時以上，為去除測驗順序所造成的誤差，採平衡次序 (balanced order) 進行測驗。

二、實驗前的準備

本研究在實驗前的準備包括：

(一) 實驗儀器的準備、校正及檢視

1. Operator's Manual VmaxST 攜帶式氣體分析儀 1組 (包括採氣面罩)，並做實驗前的檢測與校正。
2. Polar 心跳監測器 4組，並做實驗前的檢測與校正。
3. YSI-1500血乳酸分析儀 1組，並做實驗前的檢測與校正。
4. SEIKO S-120型碼錶 2個，並做實驗前的檢測與校正。
5. 步調鐘 3台，並做實驗前的時間同步檢測與校正。
6. 華碩筆記型電腦一部。

(二) 測驗人員的準備

1. 研究者必須對受測人員說明清楚研究的目的、方法與受試者須知。
2. 測驗人員必須瞭解自己負責之實驗儀器的操作方式。
3. 測驗人員必須清楚每位受試者在各個 CV強度的 50m配速時間，並且事先演練一次。
4. 對於實驗環境的設計應盡早完成，實際進行測試，以免影響實驗的進行。

(三)、受試者的準備

1. 受試者參與實驗，對於研究的目的、方法與受試者須知，必須有所瞭解。
2. 填寫受試者同意書、健康狀況調查表，並與研究者約定實驗日期時間。
3. 受試者必須依據約定的時間，穿著運動衣褲，並且自備泳衣或泳褲、泳鏡等個人裝備到達實驗測試的操作地點。
4. 實驗期間，在受試前 48 小時內不得飲用含有咖啡因的飲

料，不得做激烈之運動。

三、各游泳距離成績的測量

每次正式測驗前，讓受試者分別依個人預定受試時間進行熱身（Warm-up 400m與400m的25快25慢的變速游），休息10分鐘後正式測驗。每位受試者須接受50m、100m、200m最大努力捷泳測驗各兩次，測驗時採蹬牆出發（不跳水），計時人員同時計時，每次測驗須間隔24小時以上。但50m和100m兩種距離可同一天測驗（兩次測驗間隔30分鐘以上）。每次測驗後藉由心跳監測評估選手是否有進最大努力進行測驗。

四、臨界速度的評估

根據李長生（1997）研究指出在不同距離組合中臨界速度的實際應用，只需要測量50m、100m、200m的捷泳成績所求出的臨界速度即可作為長距離捷泳成績的預測。因此本研究則採用三個捷泳成績，帶入由Moritani等人於1981年提出，最大做功（運動強度負荷乘以最大持續運動時間）與最大持續運動時間的線性正比關係，以公式表示為：

$$D（距離） = ASC（無氧游泳能力） + CV（臨界速度） \times T（時間）$$

也可用下列公式表示：

$$臨界速度(CV) = (T - MT)(D - MD) / (T - MT)^2$$

《T = 游泳時間，D = 游泳距離，MT = 3個游泳的時間，MD = 3個游泳的距離》

當人們在高強度負荷下運動時，持續運動時間較短，在低強度負荷下運動時，持續時間較長。在運動時間距離越長

的情況下，強度與速度均會降低，當降低至某一水準時則可以維持很長時間的運動，這也就是游泳選手的臨界速度。因此，臨界負荷是利用在固定運動負荷與運動持續時間所呈現特定關係的現象中，計算出可持續運動至極長時間的運動負荷(Wakayoshi, 1992; 王順正與林正常, 1992; 戴堯種, 1995; 李長生, 1997)。

五、400公尺捷泳各強度測驗之實施方式

- (一) 在計算出每一位受試者的臨界速度 $m(\text{公尺}) / \text{sec}(\text{秒})$ 後，換算出每一位受試者400m的捷泳時間(即100%)，接著換算出受試者80%、85%、90%與95%的強度時間，同時也將各強度時間換算成每50公尺必須完成的平均速度，告知受試者。
- (二) 因為缺乏水中配速指示裝置，因此在進行每個400m CV強度時，在游泳池邊放置三個步調鐘，放置位置在出發端5公尺、25公尺和45公尺的位置，讓受試者在測試期間也能夠了解自己的配速。
- (三) 開始進行測試時，當施測者發出出發口令時，三個步調鐘的秒針一律從0秒開始，並且同時間啟動；同時另有一位施測者於出發口令時按下碼錶，在岸上以步行方式跟隨受測者一起完成400m捷泳。同時這位施測者必須要很清楚受試者每50公尺必須完成的時間，並且隨時以手勢提醒受試者所用的配速時間太快或者太慢。

六、換氣量(VE)、耗氧量(VO_2)與二氧化碳產生量(VCO_2)的評估

本研究耗氧量測試是以攜帶式的氣體偵測儀，為受試者進行測試，因為受試者是以在50公尺的游泳池中來回8趟完成400m的距離，整個過程是在實際運動中完成的，並非固定於同一定點，因此對於氣體的採集是以運動結束後為採集樣本。受試者在完成每一個400m捷泳的強度時，即刻將採氣面罩罩住受試者的口鼻，進行3分鐘的採氣工作，並將所得之數據由電腦進行分析。

七、血乳酸(LA)分析

本研究LA的分析是在運動前後均進行指尖採血，當受試者熱身活動結束後，讓受試者安靜休息10分鐘，開始進行400m捷泳測試前進行第一次指尖採血並隨即進行分析，紀錄所得之數據。完成測驗後3分鐘進行第二次(運動後)採血，並記錄所得之數據。

八、心跳率(HR)的測試

在受試者熱身後，令受試者戴上心跳記錄器(設定每10秒記錄一次)，並且測試訊號接收是否正常。為避免在施測期間心跳記錄器滑動，而導致無法完整的測量到心跳率，在不阻礙到選手的運動範圍內，用一條細繩繞過肩膀綁住胸前及背後心跳記錄器的皮帶(李長生, 1997)，並且在心跳紀錄器的兩端在以機能貼布予以固定，心跳記錄的接受器亦固定在胸前的皮帶上，以便感應受試者的心跳。並且請受測者游動一下，看看是否在運動上有所阻礙，若有所阻礙則進行調整

至受測者覺得舒適的位置，測試結束記錄所得之心跳數據進行分析。

第四節 實驗流程

一、第一階段7天：游泳CV測驗。

(一) 受試者填寫基本資料與參與實驗同意書。

(二) 游泳臨界速度的測驗，以平衡次序進行。

1. 第一天和第五天進行50m與100m捷泳測驗，兩項測驗之間休息30分鐘。

2. 第三天和第七天進行200m的捷泳測驗。

3. 將所得資料帶入距離與時間(D-T)的臨界速度計算模式，求出臨界速度。

二、第二階段9天：各種CV強度(80%、85%、90%、95%、100%)400m捷泳的生理變項測驗，以平衡次序進行。

(一) 五種強度的400m捷泳測驗，每個強度間的進行，中間均有48小時以上的休息。

(二) 記錄運動過程中每10秒的心跳率。

(三) 紀錄運動後的換氣量(V_E)、耗氧量(VO_2)、二氧化碳產生量(VCO_2)。

(四) 紀錄運動前後的血乳酸(LA)的濃度。

(五) 紀錄選手運動後的RPE運動生理自覺量表。

第五節 資料處理

本研究以SPSS for WINDOWS 10.0進行資料分析，其分析方法如下：

一、以paired t-test考驗前後兩次捷泳測驗成績的再測相關。

二、以皮爾遜積差相關統計法，求出游泳臨界速度與50m、

100m、200m捷泳成績之相關。

- 三、以逐步多元回歸 (stepwise multiple regression) 進行臨界速度之變項分析、預測 50m、100m、200m、400m 捷泳成績之相關係數顯著性考驗。
- 四、以單因子變異數分析統計法，比較 80%、85%、90%、95% 與 100%CV 強度運動時之血乳酸反應，若達顯著差異時，再依杜凱氏法 (Tukey method) 進行事後比較。以二因子重複量數變異數分析統計法分別比較心跳率、換氣量、耗氧量、二氧化碳產生量等生理變項在各 CV 強度下，會不會隨著運動的強度不同而有所改變。
- 五、本研究的顯著水準 定為 .05。

第肆章 結 果

第一節 受試者基本資料

本研究受試對象為高中游泳隊學生男生 11 人、女生 3 人共 14 名，其基本資料如表 4-1：

表 4-1、受試者基本資料摘要表

受試者 (N=14)	平均數	標準差	最大值	最小值
年齡 (歲)	17.00	0.67	18.00	16.00
身高 (公分)	168.22	6.48	181.00	158.00
體重 (公斤)	64.07	7.54	75.00	49.00
身體質量指數 (公斤 / 公尺 ²)	22.59	1.76	25.34	18.22
安靜時心跳率 (次 / 分鐘)	62.92	8.15	75.00	46.00
安靜時血乳酸 (mM/L)	1.12	0.29	1.42	0.63

第二節 兩次捷泳測驗成績與 CV 計算之結果

一、本研究受試者兩次盡最大努力之 50m、100m、200m 捷泳測驗，其成績摘要如表 4-2。從表中得知，兩次捷泳測驗結果，在 50m 捷泳成績平均為 29.10 ± 1.29 秒，100m 成績為 63.93 ± 3.40 秒，200m 成績則為 139 ± 8.38 秒。

表 4-2、兩次捷泳測驗成績摘要表

距離	人數	平均數	標準差	最快	最慢
50m(第一次)	14	29.10	1.29	27.35	31.00
50m(第二次)	14	29.23	1.26	27.02	31.12
100m(第一次)	14	63.39	3.40	58.65	68.00
100m(第二次)	14	63.63	3.35	58.70	68.22
200m(第一次)	14	139.59	8.38	126.00	154.96
200m(第二次)	14	140.05	8.58	126.04	152.86

單位：sec(秒)

二、本研究受試者兩次盡最大努力之 50m、100m、200m 捷泳測驗，其再測相關如表 4-3。

表 4-3、兩次最大努力測驗之相關信度統計表

距離	人數	兩次測驗相關	標準差	t值	顯著性
50m	14	.998	.0090	-5.302	.001
100m	14	.996	.3137	-2.820	.014
200m	14	.999	.4170	-4.115	.001

從表 4-3 得知在 50m、100m、200m 兩次最大努力捷泳測驗之相關，分別為 $r = 0.998$ 、 0.996 、 0.999 ($p < .01$)。相關皆達到 $r = 0.99$ 以上顯示兩次測驗之間有很高的再測信度。

三、將 50m、100m、200m 捷泳測驗後最佳成績，帶入 $D = ASC + CV \times T$ 的計算模式求出 CV，結果整體 CV 平均為 $1.322 \pm 0.118m/sec$ ，其摘要如表 4-4。

表 4-4、50、100、200 公尺最佳成績與 CV 摘要表

編號	50m(秒)	100m(秒)	200m(秒)	CV(公尺/秒)
1	27.20	58.65	126.00	1.51
2	27.52	58.90	126.00	1.52
3	27.50	59.00	134.41	1.38
4	29.50	63.70	140.00	1.32
5	29.30	61.09	136.51	1.37
6	29.80	65.83	143.34	1.27
7	30.30	67.00	148.00	1.21
8	28.78	64.72	144.28	1.25
9	28.00	61.49	154.00	1.12
10	29.00	61.00	131.13	1.45
11	30.47	66.68	143.00	1.28
12	31.00	68.00	148.21	1.20
13	30.90	68.00	144.00	1.26
14	28.21	63.50	135.45	1.38
平均數	29.105	63.397	139.595	1.322
標準差	1.29	3.404	8.386	0.118
最快	27.20	58.65	126.00	1.52
最慢	31.00	68.00	154	1.12

第三節 游泳臨界速度與 50m、100m、200m 捷泳成績之相關

臨界速度與 50m、100m、200m 捷泳成績之負相關 (如表 4-5) , 分別為 $r = -0.578$ 、 -0.702 、 -0.999 , 相關係數隨著距離的增加而提高 , 而這三個距離與 CV 均有顯著相關。

表 4-5、臨界速度與各捷泳成績之相關係數表

	CV	50m	100m	200m
CV	1	-.578*	-.702*	-.999*
50m	-.578*	1	.914*	.597*
100m	-.702*	.914*	1	.713*
200m	-.999*	.597*	.713*	1

* $p < .05$

第四節 以 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績之結果

400 公尺捷泳成績是以受試者測驗或比賽的最佳成績為參數。由表 4-6 得知 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績的模式解釋量 (R^2) , 依序為 33%、51%、99%、89% 的解釋量。其中以預測 200 公尺捷泳成績解釋量最高。

表 4-6、CV 預測 50、100、200 及 400 公尺捷泳成績之迴歸方程式與預測變數解釋量

變項	預測迴歸方程式	模式解釋量 (R ²)
CV 50m	$Y = 37.44 - 6.30X$	33%
CV 100m	$Y = 90.16 - 20.23X$	51%
CV 200m	$Y = 233.31 - 70.85X$	99%
CV 400m	$Y = 453.76 - 123.57X$	89%

一、以 CV 預測 50 公尺捷泳成績

由表 4-7 得知，CV 對於 50 公尺捷泳成績的迴歸模式未達顯著水準 ($F = 6.005$ ， $p < .05$)，顯示以 CV 預測 50 公尺捷泳成績並沒有很高的預測能力；亦及 50 公尺捷泳成績可由有 CV 解釋的變異量只有 33%。

表 4-7、50 公尺迴歸模式之變異數分析摘要表

Source	SS	df	Ms	F	R ²
迴歸係數	7.216	1	7.216	6.005	0.33
殘餘誤差	14.421	12	1.202		
總和	21.637	13			

* $p < .05$

二、以 CV 預測 100 公尺捷泳成績

由表 4-8 得知，CV 對於 100 公尺捷泳成績的迴歸模式達顯著水準 ($F = 11.681$ ， $p < .05$)，顯示以 CV 預測 100 公尺捷泳的成績能力很高；亦及 100 公尺捷泳成績可由有 CV 解釋

的變異量有 51%。

表 4-8、100 公尺回歸模式之變異數分析摘要表

Source	SS	df	Ms	F	R ²
回歸係數	74.335	1	74.335	11.681*	0.51
殘餘誤差	76.368	12	6.364		
總和	150.702	13			

*p<.05

三、以 CV 預測 200 公尺捷泳成績

由表 4-9 得知，CV 對於 200 公尺捷泳成績的迴歸模式達顯著水準 (F = 4384.994, p<.05)，顯示以 CV 預測 200 公尺捷泳成績有很高的預測能力；亦及 CV 對於 200 公尺捷泳成績的解釋變異量高達 99%。

表 4-9、200 公尺回歸模式之變異數分析摘要表

Source	SS	df	Ms	F	R ²
回歸係數	911.894	1	911.894	4384.994*	0.99
殘餘誤差	2.495	12	.208		
總和	914.389	13			

*p<.05

四、以 CV 預測 400 公尺捷泳成績

由表 4-10 得知，CV 對於 400 公尺捷泳成績的迴歸模式達顯著水準 ($F = 99.539$, $p < .05$)，顯示以 CV 預測 400 公尺捷泳成績有很高的預測能力；亦及 CV 對於 400 公尺捷泳成績解釋變異量達 89%。

表 4-10、400 公尺迴歸模式之變異數分析摘要表

Source	SS	df	Ms	F	R ²
回歸係數	2774.388	1	2774.388	99.539*	0.89
殘餘誤差	334.469	12	27.872		
總和	3108.857	13			

* $p < .05$

第五節 不同 CV 強度運動時之血乳酸反應結果

受試者在各種不同 CV 強度下均進行一趟 400m 捷泳，其運動前後血乳酸反應摘要表如表 4-11 所示；每個 CV 強度運動後的血乳酸反應分別為 80% CV 強度為 1.57 ± 0.36 mM/L、85% CV 強度為 2.62 ± 0.45 mM/L、90% CV 強度為 3.79 ± 0.45 mM/L、95% CV 強度為 5.22 ± 0.50 mM/L、100% CV 強度為 6.42 ± 0.65 mM/L。而運動後血乳酸變異數分析結果均達顯著水準 ($p < .01$)，如表 4-12 所示。經事後比較結果各運動強度之間也均達顯著水準 ($p < .01$)，如表 4-13。

表 4-11、不同 CV 強度運動前後血乳酸反應摘要表

項 目	80% CV		85% CV		90% CV		95% CV		100% CV	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
平均數	0.95	1.57	1.16	2.62	1.11	3.79	1.14	5.22	1.28	6.42
標準差	0.27	0.36	0.20	0.45	0.29	0.45	0.29	0.50	0.34	0.65
變異數	0.132		0.200		0.199		0.251		0.421	

單位：mM/L

表 4-12、運動後血乳酸的單因子變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	212.341	4	53.085	220.546	0.001	2.513
組內	15.645	65	0.241			
總和	227.986	69				

表 4-13、運動後血乳酸變異數分析事後比較結果

	80% CV	85% CV	90% CV	95% CV	100% CV
80% CV		**	**	**	**
85% CV			**	**	**
90% CV				**	**
95% CV					**
100% CV					

**p<.01

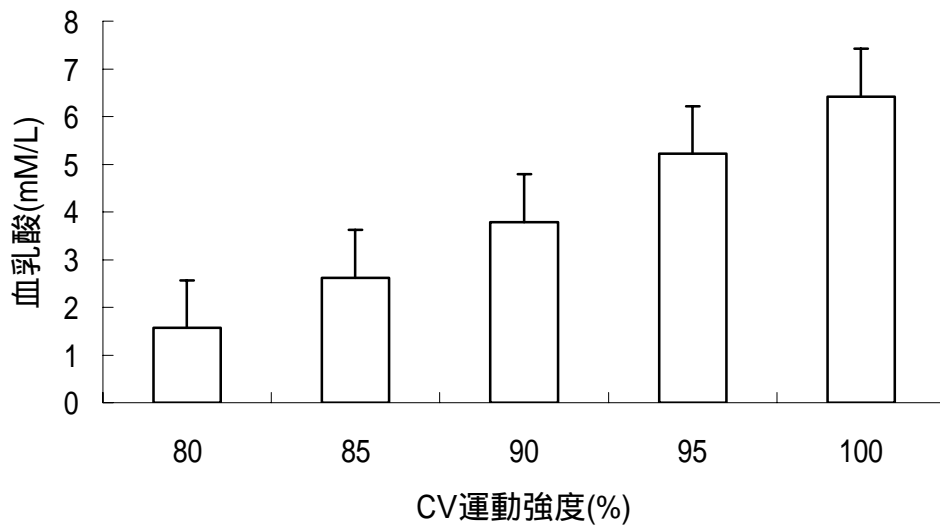


圖 4-1、不同 CV 強度血乳酸反應圖

第六節 不同 CV 強度運動時之心跳率與自覺量表反應結果

受試者在各種不同 CV 強度下均進行一趟 400m 捷泳，其運動中心跳率反應（如表 4-14），在每個 CV 強度的第 1、3 分鐘、與第 5 分鐘或 5 分 30 秒運動結束時的心跳率分別為；80%CV 強度下每分鐘為 132.42 ± 7.29 、 140.71 ± 5.88 與 147.00 ± 5.06 次；85%CV 強度每分鐘為 140.42 ± 6.98 、 154.07 ± 3.95 與 162.71 ± 3.79 次；90%CV 強度每分鐘為 147.35 ± 8.15 、 167.92 ± 5.87 與 174.85 ± 6.52 次；95%CV 強度

每分鐘為 156.71 ± 5.99 、 175.57 ± 4.61 與 181.28 ± 5.26 次；在 100% CV 強度每分鐘為 156.64 ± 8.27 、 173.78 ± 4.93 與 180.14 ± 3.67 次。經由統計結果顯示，心跳率會隨著運動強度的提升而增加。運動中心跳率變異數分析結果均達顯著水準 ($p < .01$)，如表 4-15 所示。

表 4-14、不同 CV 強度運動中心跳率反應摘要表

CV%	時間	運動前	1min	2min	3min	4min	5min	5.5min
80	平均數	91.57	132.42	137.85	140.71	142.78	145.78	147.00
	標準差	4.18	7.29	7.00	5.88	5.13	5.74	5.06
85	平均數	93.14	140.42	147.71	154.07	157.42	160.28	162.71
	標準差	2.41	6.98	5.77	3.95	5.41	4.44	3.79
90	平均數	87.78	147.35	161.07	167.92	171.28	174.85	-
	標準差	3.19	8.15	7.68	5.87	7.01	6.52	-
95	平均數	89.28	156.71	168.92	175.57	178.92	181.28	-
	標準差	4.17	5.99	5.81	4.61	4.99	5.26	-
100	平均數	87.57	156.64	168.35	173.78	178.78	180.14	-
	標準差	4.97	8.27	6.00	4.93	3.04	3.67	-

單位：次 / 分鐘

表 4-15、運動中心跳率變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
樣本	64800.821	4	16200.205	330.294	0.001	2.383
不同強度	330961.114	11	30087.374	613.430	0.001	1.801
交互作用	18914.779	44	429.881	8.765	0.001	1.391
不同時間	38257.286	780	49.048			
總和	452934.000	839				

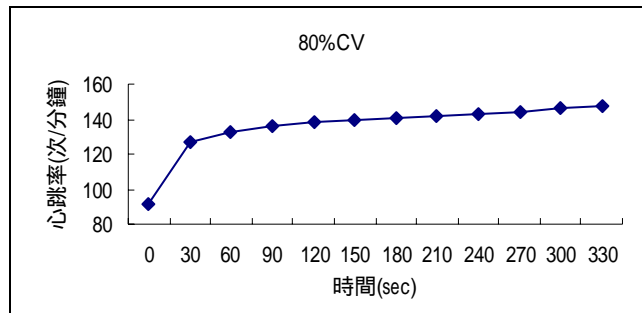


圖 4-2-1、80% CV 運動中心跳率反應圖

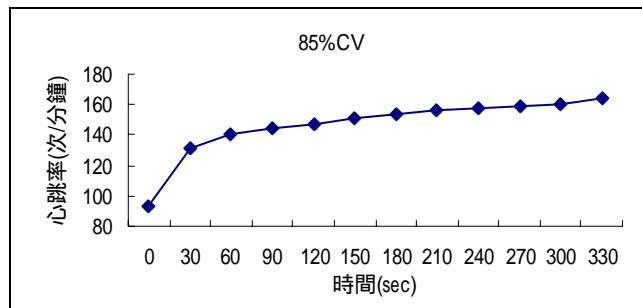


圖 4-2-2、85% CV 運動中心跳率反應圖

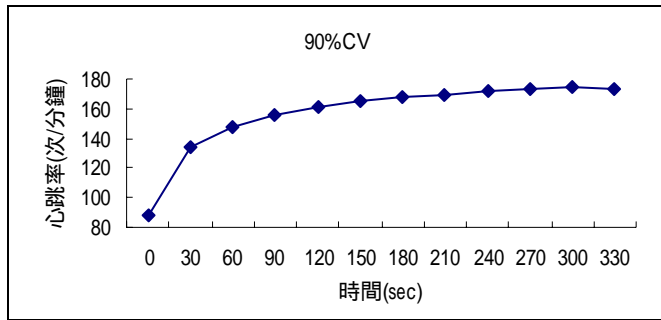


圖 4-2-3、90% CV 運動中心跳率反應圖

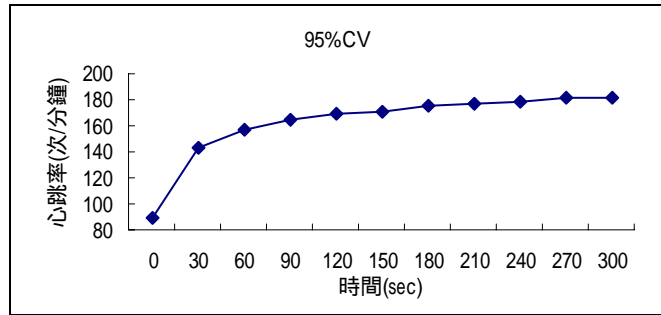


圖 4-2-4、95% CV 運動中心跳率反應圖

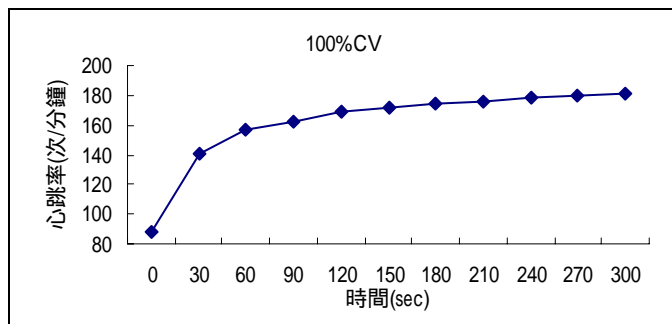


圖 4-2-5、100% CV 運動中心跳率反應圖

運動後受試者各運動強度的運動自覺量表反應（如表 4-16）分別為 80%CV 強度在 7.42 ± 0.85 、85%CV 強度在 11.35 ± 0.93 、90%CV 強度在 13.14 ± 0.53 、95%CV 強度在 15.79 ± 0.97 、100%CV 強度在 18.79 ± 0.56 。而運動後自覺量表反應變異數分析結果均達顯著水準（ $p < .01$ ），如表 4-17 所示。經事後比較結果各運動強度間的自覺量表反應均達顯著水準（ $p < .01$ ），如表 4-18。

表 4-16、不同 CV 強度運動後自覺量表摘要

編號	80% CV	85% CV	90% CV	95% CV	100% CV
1	7	13	13	15	19
2	7	10	13	15	19
3	9	11	13	17	19
4	7	11	13	15	19
5	9	13	13	17	19
6	7	11	13	15	18
7	7	13	13	17	19
8	7	11	13	15	19
9	7	11	13	15	17
10	9	11	15	17	19
11	7	11	13	15	19
12	7	11	13	15	19
13	7	11	13	16	19
14	7	11	13	17	19
平均數	7.42	11.35	13.14	15.79	18.79
標準差	0.85	0.93	0.53	0.97	0.56

共 15 級（級數從 6-20）

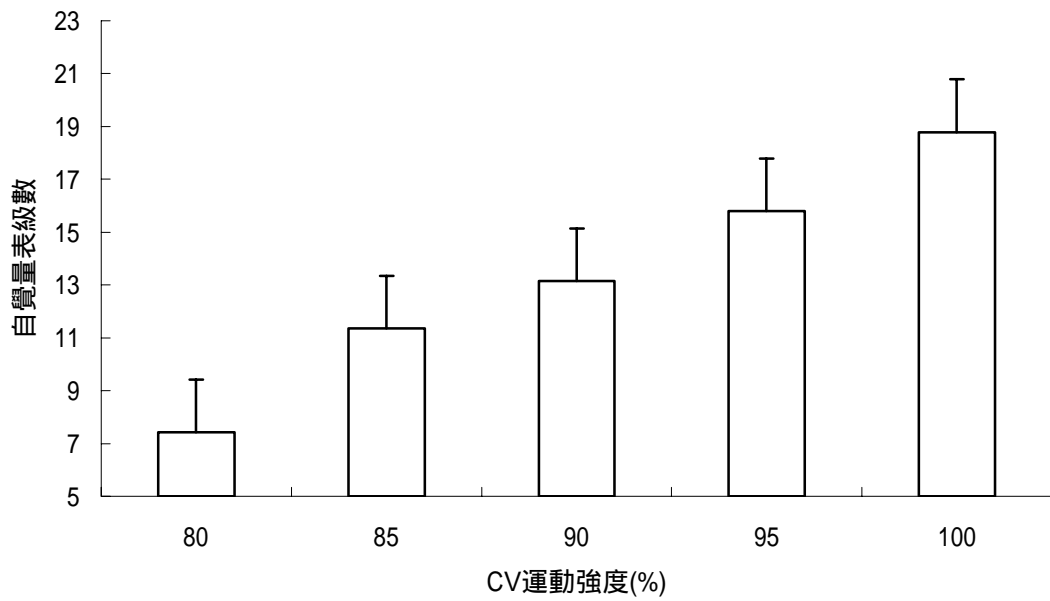


圖 4-3、不同 CV 強度運動自覺量表反應圖

表 4-17、運動後自覺量表單因子變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1043.629	4	260.9071	412.913	0.001	2.513
組內	41.071	65	0.631			
總和	1084.7	69				

表 4-18、運動後自覺量表變異數分析事後比較結果

	80% CV	85% CV	90% CV	95% CV	100% CV
80% CV		**	**	**	**
85% CV			**	**	**
90% CV				**	**
95% CV					**
100% CV					

**p<.01

第七節 不同 CV 強度在運動後呼吸系統反應結果

(一) 不同 CV 強度在運動後 VE 之反應結果

在不同 CV 強度下運動後恢復期 VE 的反應 (如表 4-19), 在每個運動強度運動後的第 30 秒至 180 秒恢復期的下降百分率分別為, 80% CV 強度為 66.07%、85% CV 強度為 75%、90% CV 強度為 75.92%、95% CV 強度為 74.24%、100% CV 強度為 71.08%。運動後恢復期 VE 經由二因子重複量數變異數分析結果均達顯著水準 ($p < .05$), 如表 4-20 所示。

表 4-19、不同臨界速度運動後恢復期 VE 反應摘要表

CV%	時間 (sec)	30	60	90	120	150	180
80	平均數	31.46	24.57	18.75	15.35	12.4	12.31
	標準差	8.69	10.29	7.29	4.13	4.34	5.62
85	平均數	50.61	38.09	28.32	22.3	17.07	14.25
	標準差	9.85	9.12	8.24	5.83	4.72	3.24
90	平均數	62.2	48.81	35.81	27.15	22.23	16.19
	標準差	11.97	11.78	9.65	6.33	5.69	2.8
95	平均數	68.69	57.75	50.45	36.97	29.9	21.75
	標準差	11.57	13.02	10.9	7.29	6.29	4.47
100	平均數	75.87	67.86	55.99	46.64	38.16	30.65
	標準差	9.05	9.36	7.21	6.55	6.28	4.78

單位：l/min

表 4-20、不同臨界速度運動後恢復期 VE 反應變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
樣本	245460.28	4	61365.07	515.65	0.001	2.37
不同強度	329049.22	17	19355.83	162.64	0.001	1.63
交互作用	36369.03	68	534.83	4.49	0.001	1.31
不同時間	139234.93	1170	119			
總和	750113.48	1259				

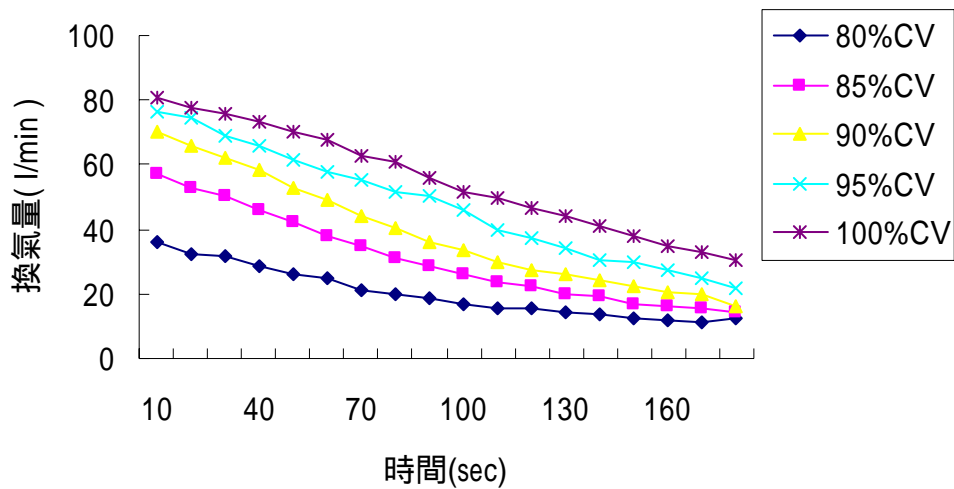


圖 4-4、不同 CV 強度運動後恢復期 VE 之反應圖

(二) 不同 CV 強度在運動後 V_{CO_2} 之反應結果

在不同 CV 強度下運動後恢復期 V_{CO_2} 的反應 (如表 4-21), 在每個運動強度運動後 V_{CO_2} 的第 30 秒至 180 秒恢復期的下降百分率分別為, 80%CV 強度為 55%、85%CV 強度為 55.44%、90%CV 強度為 47.28%、95%CV 強度為 51.84%、100%CV 強度為 48.05%。運動後恢復期 V_{CO_2} 經由二因子重複量數變異數分析結果均達顯著水準 ($p < .05$), 如表 4-22 所示。

表 4-21、不同臨界速度運動後恢復期 V_{CO_2} 反應摘要表

CV%	時間(sec)	30	60	90	120	150	180
80	平均數	29.65	24.76	20.79	17.78	16.35	14.61
	標準差	2.86	2.79	2.47	2.01	2.01	1.79
85	平均數	38.25	32.99	28.92	23.76	21.19	18.47
	標準差	2.52	3.56	3.89	3.03	1.86	1.65
90	平均數	43.65	39.21	35.85	32.12	26.99	24.57
	標準差	2.15	2.04	1.89	2.48	3.08	2.03
95	平均數	53.10	47.20	41.56	35.38	30.82	27.01
	標準差	2.61	2.62	2.35	2.26	1.63	1.47
100	平均數	59.74	54.17	48.11	42.00	36.97	32.51
	標準差	2.09	2.24	2.25	1.89	2.01	1.89

單位：ml/min/kg

表 4-22、不同臨界速度運動後恢復期 VCO₂ 反應變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
樣本	101561.1	4	25390.28	3928.819	0.001	2.379
不同強度	73270.4	17	4310.023	666.9207	0.001	1.631
交互作用	3538.304	68	52.033	8.051	0.001	1.310
不同時間	7561.21	1170	6.462			
總和	185931	1259				

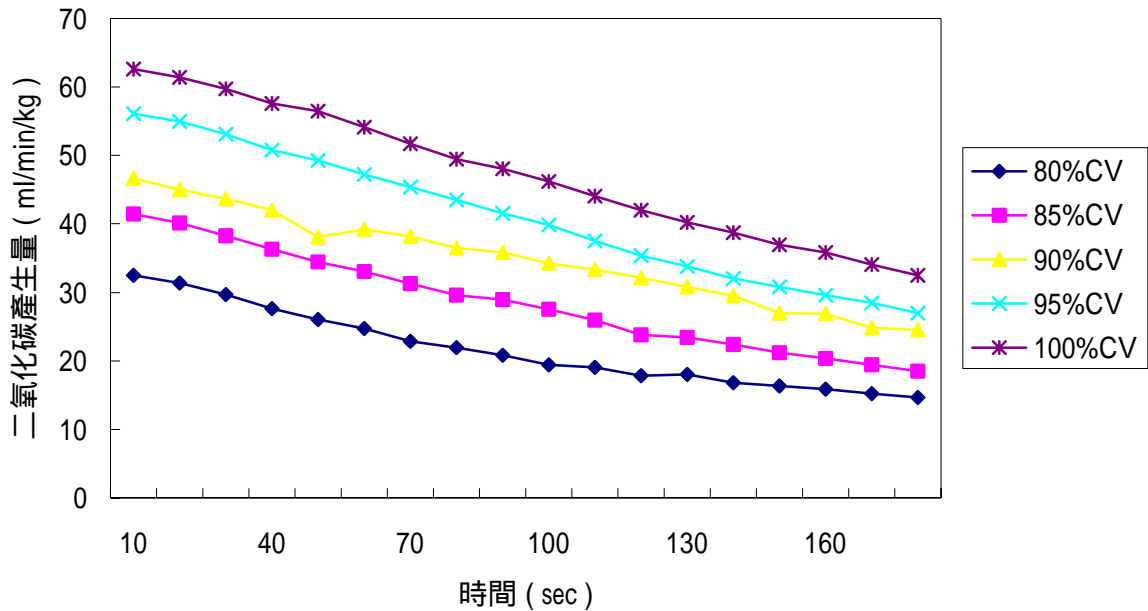


圖 4-5、不同 CV 強度運動後恢復期 VCO_2 之反應圖

(三) 不同 CV 強度在運動後 VO_2 之反應結果

在不同 CV 強度下運動後恢復期 VO_2 的反應 (如表 4-23), 在每個運動強度運動後 VO_2 的第 30 秒至 180 秒恢復期的下降百分率分別為, 80% CV 強度為 57.71%、85% CV 強度為 48.97%、90% CV 強度為 40.78%、95% CV 強度為 35.84%、100% CV 強度為 35.05%。運動後恢復期 VO_2 經由二因子重複量數變異數分析結果均達顯著水準 ($p < .05$), 如表 4-24 所示。

表 4-23、不同臨界速度運動後恢復期 VO_2 反應摘要表

CV%	時間(sec)	30	60	90	120	150	180
80	平均數	36.20	31.61	27.99	23.63	20.11	16.29
	標準差	3.35	3.48	4.24	3.71	3.95	2.57
85	平均數	41.07	36.22	33.07	29.33	25.24	22.13
	標準差	2.94	3.05	3.68	3.14	3.11	2.83
90	平均數	47.84	43.13	39.74	35.48	32.02	29.47
	標準差	3.17	3.25	4.28	4.20	4.29	3.87
95	平均數	52.26	47.18	42.98	39.94	37.13	34.14
	標準差	4.25	4.16	3.77	4.05	4.22	4.23
100	平均數	55.6	51.15	47.26	43.82	40.39	37.22
	標準差	2.88	2.51	2.59	2.28	2.31	2.91

單位：ml/min/kg

表 4-24、不同臨界速度運動後恢復期 VO₂ 反應變異數分析摘要表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
樣本	66155.83	4	16538.96	1329.339	0.001	2.379
不同強度	53313.32	17	3136.078	252.066	0.001	1.631
交互作用	216.485	68	3.183	0.255	0.001	1.310
不同時間	14556.54	1170	12.441			
總和	134242.2	1259				

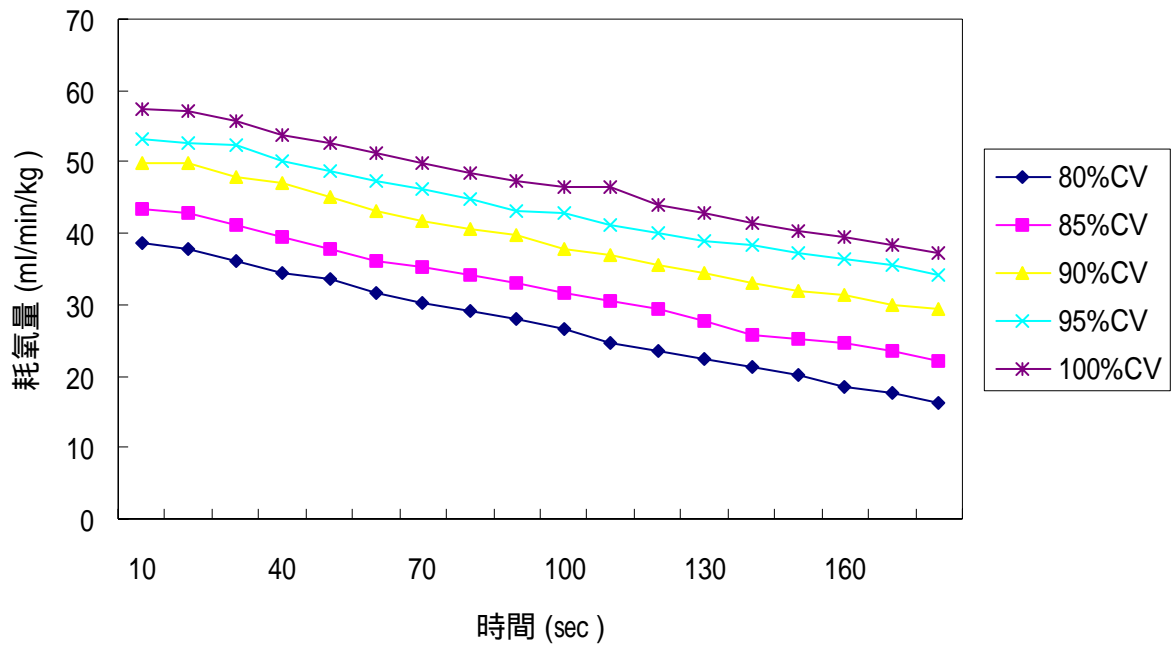


圖 4-6、不同 CV 強度運動後恢復期 VO_2 之反應圖

第五章 討 論

第一節 游泳臨界速度與 50m、100m、200m 捷泳成績之相關

本研究結果發現，14 名游泳選手經過測驗後，經由距離與時間（D-T）的計算模式換算結果，整體 CV 平均為 $1.322 \pm 0.118 \text{m/sec}$ 。在游泳 CV 與 50m、100m、200m 捷泳成績之負相關，分別為 $r = -0.578$ 、 -0.702 、 -0.999 ，相關係數隨著距離的增加而提高，這三個距離與 CV 均呈顯著相關。並且與下列各學者之研究結果一致，劉昶宗（2002）研究發現，跑步 CV 與 1500 公尺、5000 公尺、10000 公尺及馬拉松成績負相關分別為 $r = -0.39$ 、 -0.83 、 -0.99 及 -0.79 。戴堯種（1995）對於游泳 CV 與 50、100、200 和 400 公尺捷泳成績負相關依序分別為 $r = -0.85$ 、 -0.86 、 -0.94 、 -0.99 。以及王順正與林正常（1994）發現跑步 CV 對 400、800、1500 公尺的跑步成績負相關依序為 $r = -0.840$ 、 -0.950 、 -0.990 。Kolbe 等人（1995）也發現跑步 CV 與 1km、10km 與 21.1km 的跑步成績負相關分別為 $r = -0.750$ 、 -0.850 、 -0.790 。王順正（1998）發現跑步 CV 對於 800、1500 與 5000 公尺的跑步成績相關分別為 $r = 0.51$ 、 0.54 與 0.99 。另外，Wakayoshi（1992a）以原位游泳水槽測量發現游泳 CV 與 400 公尺游泳平均速度的相關達 $r=0.864$ 。Hill（1995）研究也發現游泳 CV 和耐力表現有很高的相關。

但是在劉昶宗（2002）與 Kolbe 等人（1995）研究發現，跑步 CV 在馬拉松與 21.1km 的相關均低於 10000 公尺和 10km 的相關，作者認為這或許是因為運動時間較長，受到外在的影響因素較多所致，例如氣候、地形、心理因素等影響。

而 CV 指的是肌肉在動態與靜態運動中，能夠持續長時間運動而不覺得疲勞的最大固定負荷；這是設定有氧運動能力的一個強度指標(王順正與林正常，1994。李長生，1997)。而研究結果顯示以這三種捷泳距離的運動時間來看，50m 只要 30 秒左右的時間即可完成，100m 則在 60 秒左右完成，200m 則需要 2 分 20 秒左右的時間才可以完成。因此 50m 是屬於短時間爆發力的項目，所以與 CV 之相關是三者中最低的，而在 200m 所需的運動時間接近三分鐘，在能量代謝系統上是屬於乳酸能量系統並接近於有氧能量系統，因此與 CV 會有較高的相關。

所有學者的研究結果均顯示，需要較長時間與距離之有氧性運動項目與 CV 的相關則越高，因此 CV 確實是可以評估有氧性耐力運動的一個強度指標。

第二節 以 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績

本研究結果顯示，以 CV 預測 50、100、200、400 公尺捷泳成績的模式解釋量 (R^2)，依序為 33%、51%、99%、89% 的解釋量，其中在預測 200 與 400 公尺捷泳成績解釋量最高，此結果與劉昶宗(2002)以跑步 CV 來預測長距離跑步成績，戴堯種(1995)、李長生(1997)以游泳 CV 來預測游泳成績之結果相似，對於距離愈長其解釋能力愈高。

另外，研究中也發現到對於 50 公尺捷泳成績的預測解釋量只有 33%，但 CV 對於 50 公尺捷泳成績的相關為 $r = -0.578$ ($p < .05$) 達顯著水準。此現象其主要原因為 50 公尺捷泳是屬於短時間、高強度的運動項目，在競賽中 98% 是使用無氧系統；而 CV 主要是在評估有氧運動能力，在 200 公尺與 400

公尺捷泳所使用的能量系統 70~80 % 為有氧系統，因此會有較高的解釋量。另外，在 200 公尺捷泳比 400 公尺捷泳有較高的解釋量方面，主要原因是在求取 CV 值時式採用 50、100、200 公尺的成績，而 400 公尺捷泳成績則是採用比賽或測驗時的最佳成績，因此在解釋量上會有所差距。雖然如此，但從研究結果得知，CV 對於有氧運動能力的預測確實有其顯著性，值得基層教練最為參考的依據。

第三節 不同 CV 強度運動時血乳酸反應

本研究結果發現，受試者在各種不同 CV 強度下進行的每一趟 400m 捷泳，其運動後血乳酸反應分別為 80% CV 強度為 $1.57 \pm 0.36 \text{mM/L}$ 、85% CV 強度為 $2.62 \pm 0.45 \text{mM/L}$ 、90% CV 強度為 $3.79 \pm 0.45 \text{mM/L}$ 、95% CV 強度為 $5.22 \pm 0.50 \text{mM/L}$ 、100% CV 強度為 $6.42 \pm 0.65 \text{mM/L}$ ，與 Wakayoshi 等人 (1992a)、Housh 等人 (1991a、1991b)、王順正 (1998)、Martin 等人 (2000)、Jenkins 與 Quigley (1990、1992)、MacLaren 等人 (1994)、張育瑞與周志松 (2003)、周志松與呂欣善 (2005) 等各學者之研究結果相同。都發現在 100% CV 強度下進行運動時，其 LA 濃度都有高於 4mM/L 的現象。

研究中發現，LA 濃度會隨著運動強度的增加而提昇，但以無氧閾值的轉折點而論，當 LA 濃度進入 4mM/L 時即會從有氧訓練系統進入無氧訓練系統。而本研究結果顯示 90% CV 強度時 LA 濃度在 3.79mM/L，當強度在 95% CV 時 LA 濃度就已經達到 5.22mM/L，超過了 4mM/L。當運動強度使 LA 濃度超過 4mM/L 時，血乳酸的產生量會大於代謝量，因此血乳酸便會開始累積並且極速上昇，可能無法持續長時間的運

動。雖然每一位運動選手對於 LA 濃度的忍受程度會有所差異，對於運動持續時間的長短亦有所不同，但本研究也發現到以 100%CV 強度完成一趟 400 公尺捷泳的平均時間，也很接近每位受試者 400 公尺的最佳成績，若要在持續從事下一個 400 公尺的捷泳或者以 CV 強度完成一趟 800 公尺捷泳可能會無法完成；但這還是需要研究者進一步探討。基於在 95%CV 強度時 LA 濃度已經超過 4mM/L，因此，本研究認為 CV 有高估最大持續運動時間負荷的現象。

第四節 不同 CV 強度運動時之 HR 與自覺量表反應

本研究結果發現，在各種不同 CV 強度下進行 400m 捷泳，其運動時每個強度 HR 反應，會隨著運動時間的增加而增加，這與王順正（1998）、Overend 等人（1992）的研究結果相同。

本研究也發現在 80%CV 強度下 HR 每分鐘為 156 次，參照林正常（1995）的運動生理實驗指引指出，心肺生理指標負荷 HR 在每分鐘 156 次時，其作業強度屬於頗強，自覺量表方面則在第 7 級（非常非常輕鬆）；在 90%CV 強度時 HR 每分鐘為 174 次，其作業強度則在非常強，自覺量表則在第 13 級（有些累）；在 80%CV 與 90%CV 強度下 HR 與自覺量表間有些許的矛盾存在，這是因為受試者為高中階段的學生，加上均為現役選手，必須接受長期的訓練，因此這種 HR 強度對於他們來說是屬於輕鬆的。但當強度進入 100%CV 時 HR 則達到每分鐘 180 次，作業強度為非常強，自覺量表顯示為 18 級（接近非常非常累）。因此，在 100%CV 強度時受試者確實會有吃不消的感覺。

另外，以 HR 作為運動訓練上的強度指標確實是一種簡單又便捷的方式，很適合基層的運動教練們來實施，但相對的必須要考慮到選手的運動年齡、實際年齡以及每週的運動時間來加以評估。同樣為高中階段的學生，但每週只有兩次各 1 小時的運動習慣，若要以每分鐘 170 次的心跳率維持 5 分鐘以上的運動可能會覺得非常的累。

第五節 不同 CV 強度在運動後呼吸系統反應

雖然在呼吸系統反應方面，因研究上的限制，而無法取得運動中的數據，但從運動後每間隔 30 秒所取得的數據得知。發現在運動後呼吸系統反應方面，整體而言在訓練結束時 VE、VCO₂、VO₂ 這三者的反應均會隨著運動強度的增加而增加，這結果與王順正（1998）、Overend 等人（1992）、Gaesser 等人（1995）的研究結果類似。另外，在恢復期的 3 分鐘內 VE、VCO₂、VO₂ 三者的反應均隨著時間的增加而緩慢下降，80% CV、85% CV、90% CV 的三個強度在 VE 方面，因為強度並不是很高，所以選手在 2 分鐘左右的時間就已經下降至很低的一個水準。

第陸章 結論與建議

第一節 結論

本研究結果發現以下幾點：

(一) CV 確實可以運用在游泳訓練上，而且距離越長其相關性越高，而且是一種簡便的方法，適合基層教練使用在游泳訓練上。

(二) CV 對於捷泳成績的預測結果，顯示無法有效預測短時間 50 公尺捷泳，但對於 200 與 400 公尺的項目則有很高的預測能力。

(三) 本研究發現以 CV 作為有氧訓練的強度確實有高估之現象，並且無法持續較長時間之運動。

第二節 建議

(一) 以 CV 作為有氧訓練強度指標時，雖然 CV 與長距離項目的成績具有顯著相關，但教練在訂定運動強度時，可以將訓練強度定在 $90\%CV \sim 95\%CV$ 之間，運用此強度即可達到有效的有氧訓練目的，而且不會使選手產生血乳酸的快速累積。

(二) 此項研究是以捷泳為主要姿勢，其它三種競技游泳的姿勢蛙泳、蝶泳、仰泳是否會因為姿勢的不同，而產生在訓練中所消耗的能量會有所差距，是否適合以這種強度作為訓練之用，則是後續可以繼續研究的課題。

參考文獻

中文部分

- 王順正、吳穎照、林玉瓊、吳忠芳(2003)：走路臨界速度評量生理穩定狀態之研究。大專體育學刊，5，1，259~267。
- 王順正、李昭慶與康風都(1994)：臨界負荷在運動強度設定上的應用。中華體育，28，116-125。
- 王順正(1998)：長跑選手臨界速度跑的生理反應研究。國立臺灣師範大學體育學系博士論文，臺北市，臺灣。
- 王順正與林正常(1992)：臨界負荷、肌電圖疲勞閾值與無氧閾值的關係研究，體育學報，14，207-226。
- 王順正與林正常(1994)：跑步臨界負荷與無氧閾值的關係研究，中華民國大專院校八十三年度體育學術研討會專刊，411-426。
- 王順正與林正常(1995)：臨界負荷評估無氧閾值的效度概化，中華民國大專院校八十四年度體育學術研討會專刊，1-15。
- 吳忠芳、林正常、王順正(1998)：青少年游泳選手臨界速度數學推算模式之比較研究，體育學報，25，149-158。
- 吳穎照(2003)：間歇跑步測驗評量速度耐力模式之有氧與無氧參數的效度分析。國立臺灣師範大學體育學系碩士論文，臺北市，臺灣。
- 李長生(1997)：短距離捷泳與長距離捷泳導出之臨界速度的比較研究。國立臺灣師範大學體育研究所碩士論文，台北市，台灣。
- 林正常(1995)：運動生理學實驗指引。台北市。師大書苑出版。

- 林正常(2002)：臨界速度在運動訓練上的應用。中華民國運動教練協會會訓雙月刊。第十五期。
- 林正常譯(1987)：運動生理學。台北市。健行文化出版。
- 周志松、呂欣善(2005)：不同臨界速度對游泳選手有氧訓練時心跳率及乳酸之效應。2005年國際運動健康科學研討會，91。
- 張育瑞、周志松(2004)：臨界負荷在游泳訓練上之應用。2004休閒、運動、健康產業管理學術研討會，140。
- 陳孟言(1997)：臨界負荷與 PWC₁₇₀ 之相關研究。國立台灣師範大學體育研究所碩士論文，臺北市，臺灣。
- 陳福財(2002)：游泳臨界速度訓練對耐力之影響。北體學報，10，123~130。
- 黃崑明(2001)：臨界力量對舉重最大能力的預估與肌耐力之相關研究。體育學報，31，23~34。
- 黃彬彬(1993)：運動生理學。台北市。正中書局。
- 劉昶宗(2002)：臨界速度對馬拉松成績之預測研究，國立體育學院教練研究所碩士論文，桃園縣，台灣。
- 戴堯種(1995)：女子游泳選手之臨界速度對捷泳成績的預測研究。國立臺灣師範大學體育研究所碩士論文，台北市，台灣。
- 蘇金德(1987)：競技游泳運動訓練策略。台中市。澤偉出版社。
- 龔憶琳(1990)：無氧閾值在運動訓練上的應用。中華體育，12，107-117。

英文部分

- Biggerstaff, K.D., Hill, D.W., Jackson, S.L. and Sams, B.R. (1992). Use of the critical power concept to evaluate anaerobic capacity in swimmers. Medicine and Science in Sports and Exercise, 24:s75.
- Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B. and Koralsztein, J.P. (1994). Times to exhaustion at 100% of velocity at VO₂max and modeling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. European Journal of Applied Physiology, 69:271-273.
- Bulbulian, R., Wilcox, A.R., & Darabos, B.L. (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise, 18(1), 107-113.
- Clingeffer, A., Naughton, L.R.M., and Davoren, B. (1994a). The use of critical power as a determinant for establishing the onset of blood lactate accumulation. European Journal of Applied Physiology, 68:182-187.
- Clingeffer, A., Naughton, L.R.M., and Davoren, B. (1994b). Critical power may be determined from two tests in elite kayakers. European Journal of Applied Physiology, 68:36-40.
- DeVries, H.A., and Moritani, T. (1980). A simple, direct method for estimation of aerobic power and anaerobic threshold. Abstract. Medicine and Science in Sports and Exercise, 12(2), 86.

- DeVries, H.A., Moritani, T., Nagate, A. and Magnussen, K. (1982). The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromyographic data. Ergonomics, 25, 9:783-791.
- Finke, E., Portner, H.O., Lee, P.G. and Webber, D.M. (1996). Squid (*Lolliguncula brevis*) life in shallow waters : oxygen limitation of metabolism and swimming performance. The Journal of Experimental Biology, 199:911-921.
- Gaesser, G.A., Carnevale, T.J., Garfinkel, A., Walter, D.O., and Womack, C.J. (1995). Estimation of critical power with nonlinear and linear models. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27(10), 1430-1438.
- Hill, D.W., and Smith, J.C. (1993). A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. Ergonomics, 36(12), 1495-1500.
- Hill, D.W., and 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(1), 23-37.
- Hill, D.W. and Rowell, A.L. (1996). Significance of time to exhaustion during exercise at the velocity associated with VO_2 max. European Journal of Applied Physiology, 72:383-386.
- Hill, D.W., Steward, R.P. and Lane, C.J. (1995). Application of the critical power concept to young swimming. Pediatric Exercise Science, 7, 3:281-293.

- Hopkins, W.G., Edmond, I.M., Hamilton, B.H., Macfarlane, D.J., & Ross, B.H.(1989). Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. Ergonomics, 32(12), 1565-1571.
- Housh, D.J., Housh, T.J., & Bauge, S.M.(1990). A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. Research Quarterly for Exercise and Sport, 61,4: 406-409.
- Housh, D.J., Housh, T.J., and Bauge, S.M.(1989).The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. Ergonomics,32,8:997-1004.
- Housh, T.J., devries, H.A., Housh, D.J., Tichy, M.W., Smyth, K.D., and Tichy, A.M.(1991a). The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 31,1, 31-36.
- Housh, T.J., Johnson, G.O., McDowell, S.L., Housh, D.J., and Pepper, M.L.(1991b). Physiological responses at the fatigue threshold. International Journal of Sports Medicine, 12,3:305-308.
- Hughson, R.L., Orok, C.J., and Staudt, L.E.(1984). A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. International Journal of Sports Medicine, 5:23-25.
- Jenkins,D.G. and Quigley,B.M.(1992). Endurance training enhances critical power. Medicine and Science in Sports and

Exercise, 24(11):1283-1289.

Jenkins,D.G., and Quigley,B.M.(1990). Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. European Journal of Applied Physiology, 61:278-283.

Jenkins,D.G., and Quigley,B.M.(1993). The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. Medicine and Science in Sports and Exercise, 25, 2:275-282.

Kachouri,M., Vandewalle,H., Billat,V., Huet,M., Thomaidis,M., Jousselin,E., and Monod,H.(1996). Critical velocity of continuous and intermittent running exercise an example of the limits of the critical power concept. European Journal of Applied Physiology, 73:484-487.

Kolbe,T., Dennis,S.C., Selley,E., Noakes,T.D. and Lambert,M.I.(1995). The relationship between critical power and running performance. Journal of Sports Sciences, 13:265-269.

Martin.L., Wnyre.G.P.(2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes. International Journal of Sports Medicine, 21, 366-368.

Monod, H., and Scherrer, J.(1965). The work capacity of a synergic muscular group. Ergonomics, 8, 329-338.

Moritani, T., Muro, M., Nagata, A., and DeVries, H.A.(1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. Ergonomics, 24(5), 339-350.

- Morton,R.H.(1994). Critical power test for ramp exercise. European Journal of Applied Physiology, 69:435-438.
- Morton,R.H., Green,S., Bishop,D. and Jenkins,D.G.(1997). Ramp and constant power trials produce equivalent critical power estimates. Medicine and Science in Sports and Exercise, 29,6:833-836.
- Nagata,A., Moritani,T. and Muro,M.(1983). Critical power as a measure of muscular fatigue threshold and anaerobic threshold. Biomechanics, 8-A:312-320.
- Overend,T.J., Cunningham,D.A., Paterson,D.H. and Smith,w.D.F.(1992). Physiological responses of young and elderly men to prolonged exercise at critical power. European Journal of Applied Physiology, 64:187-193.
- Pepper,M,L., Housh,T.J. and Johnson,G.O.(1992). The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. International Journal of Sports Medicine,13:121-124.
- Poole,D.C., Ward,S.A., Gardner,G.W. and Whipp,B.J.(1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. Ergonomics, 31:1265-1279.
- Steward,R.P. and Lane,C.J.(1994). Application of the critical power concept to young swimmers. Abstract. Medicine and Science in Sports and Exercise, 26,5:s44.
- Wakayoshi,K., Ikuta,K., Yoshida,T., Udo,M., Moritani,T., Mutoh,Y. and Miyashita,M.(1992a). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming

performance in the competitive swimmer. European Journal of Applied Physiology, 64:153~157.

Wakayoshi,K., Yoshida,T., Udo,M., Harada,T., Moritani,T., Mutoh,Y., and Miyashita, M.(1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 66:90-95.

Wakayoshi,K., Yoshida,T., Udo,M., Kasai,T., Moritani,T., Mutoh,Y. and Miyashita,M.(1992b).A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. International Journal of Sports Medicine, 13, 5:367~371.

Williams,C.S., Smith,J.C., Low,T.D., poole,D.C. and Hill,D.W.(1997). Responses to exercise at intensities equal to or slightly above critical power. Abstract. Medicine and Science in Sports and Exercise, 29,5:S266.

附錄一

受試者參與研究須知及同意書

本研究的目的，將探討在游泳池中所測量得到的臨界速度，並以臨界速度的各種強度（80%、85%、90%、95%、100%）作為訓練的指標，進行400公尺捷泳訓練。並對受試者測量在各種不同臨界速度的強度中之心跳率、耗氧量、二氧化碳產生量、血乳酸等的生理變化情形。

依實驗研究規定，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，並盡其所能的保護受試者的健康與權益，且隨時回答相關之問題。實驗期間，若受試者因身體不適或改變意願時，可隨時退出實驗不受任何限制，但應事先通知研究者。

本實驗流程如下：

本實驗時間自94年2月16日至94年3月10日，每位受試者均需接受以下兩個階段的測驗。

第一階段7天：游泳臨界速度測驗，以平衡次序法進行。

1. 第一天和第五天進行50m與100m捷泳測驗，兩項測驗之間休息30分鐘。
2. 第三天和第七天進行200m的捷泳測驗。
3. 將所得資料帶入距離與時間（D-T）的臨界速度計算模式，求出臨界速度。

第二階段9天：各種臨界速度強度（80%、85%、90%、95%、100%）400m捷泳的生理變項測驗，以平衡次序法進行。

共有五種強度的400m捷泳測驗，每個強度間的進行，中間均有48小時以上的休息。每個強度均紀錄心跳率、耗氧量、二氧化碳產生量、血乳酸及紀錄運動後的生理自覺量情形。

另外，在每個強度測驗後3分鐘必須進行指尖採血。

為了讓實驗能夠順利進行，並得到正確的實驗資料，請受試者再實驗期間確實遵守下列事項：

- 1.實驗期間，在受試前 48 小時內不得飲用含有咖啡因的飲料，不得做激烈之運動。
- 2.受試者必須依據約定的時間前20分鐘，穿著運動衣褲，並且自備泳衣或泳褲、泳鏡等個人裝備到達實驗測試的操作地點（台中市三信公園游泳池）。

本研究需要您的參與和合作，如您已閱讀過受試者須知，並瞭解以上有關實驗的內容及相關事宜，自願同意參加這項實驗者，請在本同意書下面簽名，未滿18歲者請加監護人簽名，表示同意並願意遵守受試者須知及同意書內的規定。所獲得的資料僅供研究之用，絕對保障您的隱私權。

受試者：_____學 校：_____

監護人：_____電 話：_____

聯絡處：_____

日 期：____年____月____日

研 究 生：周 志 松

指 導 教 授：呂 欣 善 博 士

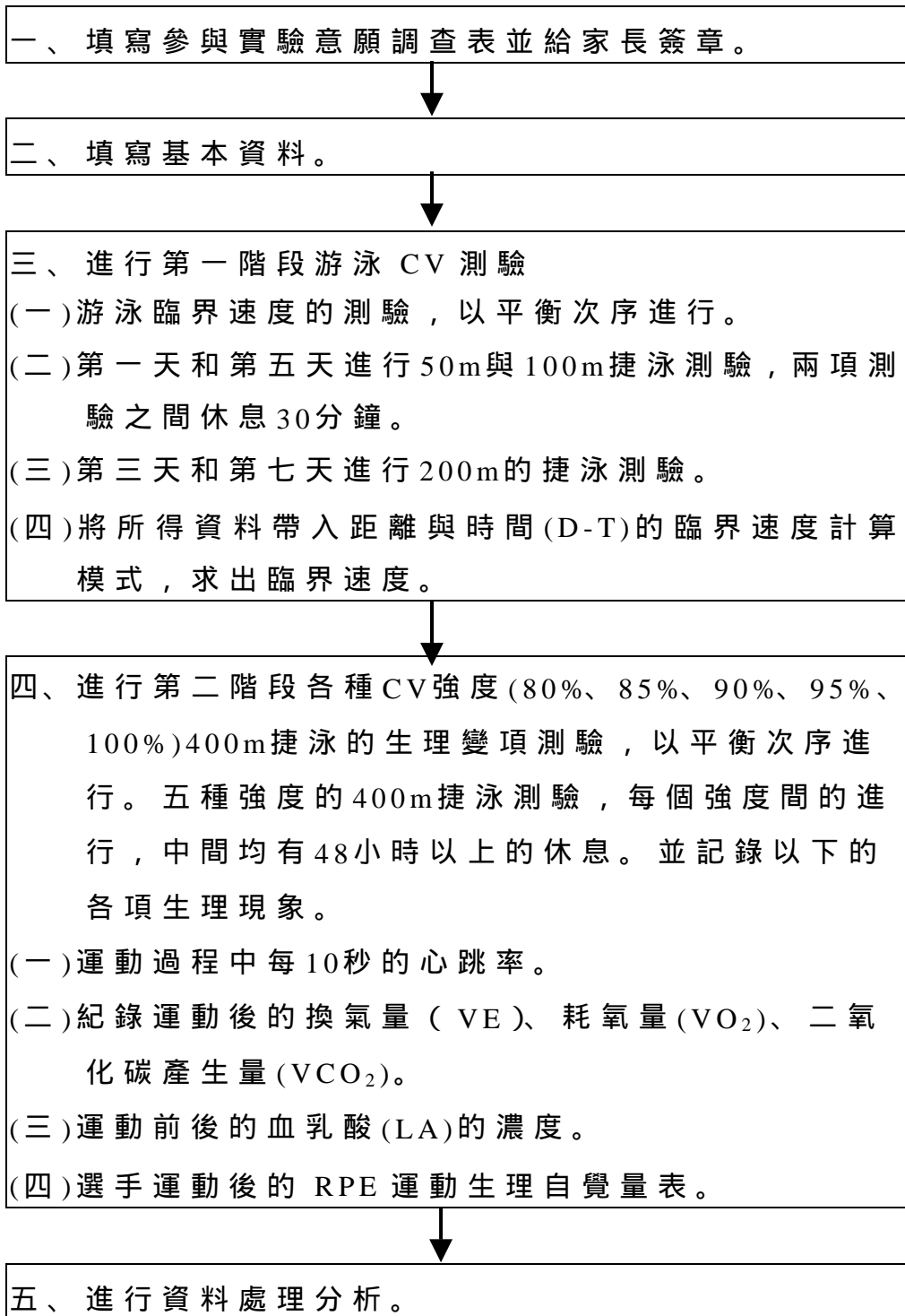
研究單位：國立台灣體育學院體育研究所

聯絡電話：學校（04）27016473轉135

行動電話：0933-451889

附錄二

實驗流程圖



附錄三

運動後血乳酸單因子變異數分析事後比較摘要表

CV 強度 (%)		平均差異	標準誤	顯著性
80	85	-1.050*	0.185	.001
	90	-2.215*	0.185	.001
	95	-3.652*	0.185	.001
	100	-4.847*	0.185	.001
85	80	1.050*	0.185	.001
	90	-1.165*	0.185	.001
	95	-2.602*	0.185	.001
	100	-3.797*	0.185	.001
90	80	2.215*	0.185	.001
	85	1.165*	0.185	.001
	95	-1.437*	0.185	.001
	100	-2.632*	0.185	.001
95	80	3.652*	0.185	.001
	85	2.602*	0.185	.001
	90	1.437*	0.185	.001
	100	-1.195*	0.185	.001
100	80	4.847*	0.185	.001
	85	3.797*	0.185	.001
	90	2.632*	0.185	.001
	95	1.195*	0.185	.001

**p<.01

附錄四

運動後自覺量表單因子變異數分析事後比較摘要表

CV 強度 (%)		平均差異	標準誤	顯著性
80	85	-3.928*	0.300	.001
	90	-5.714*	0.300	.001
	95	-8.357*	0.300	.001
	100	-11.357*	0.300	.001
85	80	3.928*	0.300	.001
	90	-1.785*	0.300	.001
	95	-4.428*	0.300	.001
	100	-7.428*	0.300	.001
90	80	5.714*	0.300	.001
	85	1.785*	0.300	.001
	95	-2.642*	0.300	.001
	100	-5.642*	0.300	.001
95	80	8.357*	0.300	.001
	85	4.428*	0.300	.001
	90	2.642*	0.300	.001
	100	-3.000*	0.300	.001
100	80	11.357*	0.300	.001
	85	7.428*	0.300	.001
	90	5.642*	0.300	.001
	95	3.000*	0.300	.001

**p<.01