

第二章 文獻探討

本章主要以一、臨界負荷與運動表現的相關研究；二、運動與能量消耗的相關研究；三、划船測功儀的生理反應研究；四、本章總結等四個部分進行相關文獻探討。

一、臨界負荷與運動表現的相關研究

Monod 與 Scherrer 於 1965 年首先提出肌肉的臨界負荷概念。Monod 與 Scherrer 直接測量受試者的肱二頭肌、中指屈肌、股四頭肌與肱三頭肌的靜態肌力與動態肌力，與肌肉所能持續活動的最大時間。證實肌肉在固定負荷下進行最大能力運動時，所做的功與最大持續運動時間成直線正比關係，在其關係圖中，截距所代表的是肌肉能量儲存量，斜率為肌肉能夠持續極長運動時間的最大負荷，因此提出「臨界負荷」與「臨界力量」來代表肌肉動態與靜態收縮時，能夠持續運動極長時間的最大固定負荷。

deVries 與 Moritani (1980) 以及 Moritani 等人 (1981) 則首先將 Monod 與 Scherrer 提出的 CP 概念應用在腳踏車運動上。Moritani 等人測量 16 名大學生，分別在 4 種固定腳踏車負荷(男 400W、350W、300W 與 275 W，女 300W、250W、200W 與 175 W)下，運動至衰竭的時間，結果發現最大作功值與最大持續運動時間，在腳踏車運動上亦呈現直線正比關係($R^2 = .98 \sim .99$ 之間)，顯示臨界負荷的概念不只適用於肌肉活動上，而且也適用於人體的踩車運動中。後來，有許多的國內外的學者，如 deVries 等人(1982)、Nagata 等人(1983)、Bulbulian 等人(1986)、Gaesser 與 Wilson(1988)、Jenkins 與 Quigley(1990、1992)、McLellan 與 Cheung(1992)、Overend 等人(1992)、王順正與林正常

(1992)、Bulbulian 等人(1996)、Williams 等人(1997)，都針對腳踏車運動的 CP 進行研究。因此可看出，利用腳踏車運動來進行 CP 能力的研究，是最早被詳細探究與分析的。

除了有關肌肉活動與腳踏車運動的 CP 研究外，也有一些學者利用類似的概念，來探討跑步運動時的臨界速度(critical velocity, CV)。1984 年 Hughson 等人探討 6 名長距離跑步選手，在每小時 19.2 公里至 22.4 公里中的 6 個固定跑步機速度下，最大持續運動時間的長短，再依據最大持續運動時間的倒數與跑步速度的線性關係(r 值在 .98 至 .99 之間)，計算處理受試者的 CV，研究結果發現，CV 與最大氧攝取量的相關達到 .84($p < .05$)，受試者實際一萬公尺的跑步時間與預測時間差異在 2 至 3 分鐘內，且相關高達 .67($p < .05$)。Hughson 等人認為一萬公尺跑步時間預測值與實測值的差異，來自於跑步機與田徑場上跑步情境上的差異，作者認為 CV 仍是有效預測跑步運動表現的方法

在划船運動方面，Ginn 與 Mackinnon (1989) 首先將 CP 的概念應用在划船運動上，利用划船測功器(kayak ergometry)的 3 個不同負荷(600W、750W 與 900W)測量 7 名男性優秀划船選手的划船運動 CP，結果發現划船運動的 CP 顯著大於乳酸閾值(AT4)，但是，實際進行划船運動時的最大乳酸穩定強度(MLSS)則與划船 CP 沒有顯著差異存在。Pelton 與 Rusko (1993) 以 9 位男性國際級與國家級選手以模擬單純划船動作的腿部運動，探討在不同時間長度划船時，腿部力量、動力輸出之間的關係。在進行漸增負荷測驗，測得選手之有氧閾值 ($[La]$ 為 2mM/L) 與無氧閾值之後，分別進行 2 分鐘、6 分鐘、12 分鐘的最大努力測驗。研究者對於不同持續運動時間與動力輸出提出動力耐力性 (power endurance) 的概念，更進一步細分為無氧動力耐力以及有氧動力耐力，來探討在划船運動的能量中，使用有氧與無氧的代謝比率。Clingeffer 等人(1994a、1994b)則測量 8 名高度訓

練的男性划船選手(kayaker)，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，利用 90 秒與 240 秒的最大持續運動表現測驗，即可獲得有效的獨木舟優秀選手 CP 負荷。

除了 CP 以外，Kennedy 與 Bell (2000) 以 CV 預測 2000 公尺划船測功儀運動成績進行研究。16 位男性划船選手分別在划船器上進行不同距離的成績測驗 (200、400、600、800、1000、1200 公尺) 最大運動測驗 ($VO_2\max$) 與 2000 公尺成績測驗。在研究中，CV 的測量以不同距離成績組合 (短距離：200、400、600、800 公尺；中距離：400、600、800、1000 公尺；長距離：600、800、1000、1200 公尺)，透過 3 種不同模式，包括 McDowell 等人 (1988) 提出的線性距離與時間模式、Hughson 等人 (1984) 提出的負荷與持續時間倒數關係線性模式以及 Pepper 等人 (1992) 的三參數非線性模式，計算 CV。研究結果顯示以線性模式所測得之 CV 能較有效且正確地預測 2000 公尺的運動成績，而非線性模式則會有低估的現象；另外，中距離的成績以 3 種模式的計算結果與 2000 公尺的成績均沒有顯著差異。由此研究可看出，以中距離成績，利用線性模式計算所求得的 CV，能有效預測划船測功儀的 2000 公尺運動成績。

由以往的相關研究文獻中可以發現，只要是運動持續時間較長的運動項目，不管只是單一肌肉的活動或者是踩腳踏車、跑步、游泳、舉重、划船、手搖測功儀等，都可以發現運動強度負荷與最大持續運動時間耐力的特定關係：高負荷強度的運動，可以持續運動的時間較短；負荷強度較低的運動，持續運動的時間較長。CP 的概念即是指可以持續運動非常久的最大運動負荷，也就是說，運動者可以在 CP 負荷強度下，進行有氧運動的最大運動強度。在對於不同項目的臨界負荷相關研究探討後可看出，相對於跑步及腳踏車運動而言，划船運動的臨界負荷的探討並不多。可是不論以 CP 或 CV 代表划船運動的

臨界負荷，都有研究來證實對划船運動有氧能力的預測力。然而，究竟以 CV 或者 CP 來代表划船運動的臨界負荷孰概念為較佳？過去並沒有相關的研究進行分析與探討。

二、運動與能量消耗的相關研究

運動中的能量消耗一直是運動生理學所探討的範疇之一，對於一般人而言，從事何種運動能消耗多少熱量以控制體重，是近年來的熱門主題；而對於運動選手而言，合理地控制運動中的能量消耗，是比賽時決定運動表現的重要因素。經濟性（economy）便是從能量消耗的觀點所衍生出來的，然而這與所謂的效率（efficiency）是有其定義上的差別。

效率（E）是代表的是能量消耗與作功之間的關係。以瓦特做為人體外部所作的功，以 E_t 代表運動後的能量消耗，休息時的基本能量消耗以 E_r 代表，效率（E）=作功（W）/運動後能量消耗（ E_t ）- 休息時能量消耗（ E_r ）（Bangsbo, 1996）。而經濟性的定義，是以在非最大的強度下運動，個體能量消耗的多寡來做判定；在相同強度下，能量消耗較少的代表有較好的經濟性；能量消耗較多，則經濟性較差。不管是效能或者是經濟性，都是針對在人體活動過程中，探討測量人體能量消耗或其與作功之間的關係。對於中長距離跑步、鐵人三項的選手，在運動過程中都希望能夠節省能量的使用，因此在非最大強度的跑步運動中，擁有好的經濟性是影響長時間比賽的選手運動表現的決定性因素之一（Morgan 等人, 1991；Hauswirth, 2000），對於跑步運動而言，測量其作功有其困難性，故以跑步或運動經濟性（running or exercise economy）來代表運動中能量消耗的情形。

關於運動與能量消耗的關係，接下來以（一）經濟性的測量與運

動表現的關係；(二)作功效率與運動表現的關係進行相關研究探討。

(一) 經濟性的測量與運動表現的關係

1. 經濟性的測量

運動中的攝氧量 (VO_2) 是測量能量消耗的生理指標，在 1986 年瑞士的生理學家 di Prampero 即提出能量消耗、攝氧量與跑步速度之間的關係，跑步的能量消耗(C_r)= 攝氧量的增加($VO_2 - VO_{2rest}$)/速度(s/m)。跑步能量消耗的單位是 $mlO_2/kg/m$ ，代表的是在某一速度下，身體每公斤在每公尺距離消耗的氧氣量，在獲得所消耗的氧氣量後，即可換算成熱量(Joul，焦耳)。(當人體在呼吸交換率為 0.71 時，每消耗一毫升氧氣約消耗 19.6Joul 的熱量；當 $RQ=1.0$ 時，約為 21.1Joul)。

如同之前所提到的，經濟性是由探討運動中能量使用的觀點所提出來的，跑步經濟性的定義為在非最大跑步速度下，穩定狀態的攝氧量，攝氧量的水準約在 60~90 % VO_{2max} (Hauswirth & Lehenaff, 2001)。Morgan (1989) 亦提到在測量跑步經濟性的速度約小於 6 公尺/秒，測量的時間持續約 6~10 分鐘，而呼吸交換率以不超過 1 為原則。在測量跑步經濟性也需注意到測驗時的一些環境條件如運動員對於跑步機的適應、跑鞋與相同的施測時間都需有嚴格的控制，另外受試者的生理狀態，如是否正處於疲勞期等，都需加以考慮。另外，在施測次數方面，Morgan (1991) 提到，若環境因素皆受良好的控制，對於訓練水準高的選手而言，單次的測驗即可代表運動員當下的跑步能量消耗狀態，而測量兩次是較安全的施測方式。

2. 跑步經濟性與運動表現的關係

當比較的選手能力差異大時，最大攝氧量往往是決定運動成績的主要因素。擁有高最大攝氧量的選手，其跑步的運動成績往往較低攝氧量的選手好；然而最大攝氧量低的選手，當其跑步經濟性較好時，其成績也可能與擁有高攝氧量的選手不分軒輊。Cunningham (1990) 在最大攝氧量水準不平均 (50~78ml/kg/min) 的 24 位女性跑者的研究中，發現最大攝氧量與跑步經濟性有低的相關 ($r=.45$, $p < .05$)，研究者認為，最大攝氧量較高的選手，其跑步時傾向於較無經濟性。另一方面，比較高水準的中長跑選手時，因同時具備很好的最大攝氧能力，此時跑步經濟性較好的選手，其跑步成績便會較好。Conley 等人 (1980) 針對 12 名男性頂尖的長跑選手，在 VO_{2max} 相近情況下發現， VO_{2max} 與 10 公里運動成績的相關性為 $-.12$ ，無顯著性且接近於零相關；而 RE 與 10 公里的運動成績的相關分別達 $.83$ $.82$ $.79$ 顯著的相關。

由以上可知，最大攝氧量與跑步經濟性在耐力運動的成績表現扮演重要的角色，這兩種指標的交互作用似乎決定了運動成績的表現。Daniels (1985) 提出最大攝氧量跑步速度 (velocity at VO_{2max} , vVO_{2max}) 的觀念，此概念是最大攝氧量與跑步經濟性的綜合表現指標；其與中長跑成績有顯著的高相關，且可以在田徑場上以簡單的測驗測得，並可以作為訓練計畫編排使用。

(二) 作功效率測量與運動表現的關係

Gaesser 與 Brooks (1975) 針對測量肌肉作功效率下了幾個類型的定義，包括：1. 總作功效率 (gross efficiency) = 完成的功 (W) / 作功消耗的能量 (E)；2. 淨作功效率 (net efficiency) = 完成的功 (W)

/ 作功消耗的能量 (E) - 休息時的量消耗 (E_r); 3. 工作效率 (work efficiency) = 完成的功 (W) / 作功消耗的能量 (E) - 運動負荷為零的能量消耗 (E₀); 4. 差效率 (delta efficiency): 完成的作功差 (ΔW) / 能量消耗差 (ΔE)。Whipp 與 Wasserman (1969) 認為, 以工作效率最能描述與代表肌肉作功的效率, 然而 Gaesser 與 Brooks (1975) 以不同的轉速 (40RPM、60RPM、80RPM、100RPM) 與不同的功率 (kg-m/min) 探討不同定義的效率下, 是否有差異。其結果顯示, 在相同的轉速下, 以總工作效率及淨工作效率表示時, 可看出效率會隨著功率的增加而增加, 而差效率是四種定義當中最能準確描述工作速率與熱量輸出的關係 (不同轉速下差異較明顯)。其中在較低的功率下, 是呈現直線的關係, 在較高的功率輸出時, 則漸漸呈現指數型 (exponential) 的關係; 而以工作效率表示時, 會與其他二者產生差異, 且不同功率間效率接近, 無法看出其效率的變化。在相同功率下, 隨著轉速的增加, 效率會逐漸降低, 在 60RPM 的轉速下, 效率的降低較少, 代表腳踏車在此轉速下, 功率輸出與效率是較呈現線性的關係。

以上的這些效率測量的方式, 都是透過有氧運動中的穩定攝氧量 (L/min), 換算成熱量的消耗 (kcal), 也就是說其供能是以有氧能量為主。這樣的定義方式, 必須以運動中有達到穩定的攝氧狀態或為有氧運動為前提, 對於更高強度需要動用到無氧能量代謝的運動, 可能不適合用, 且作功效率會降低。然而 Gladden 與 Welch (1978) 計算在不同運動強度下, 將無氧能量加入計算, 探討在所計算出的效率是否會下降; 研究者除了有氧的穩定攝氧量外, 並收集運動後的過攝氧量, 以差效率法計算整體的作功效率。其結果顯示不論是有氧低強度運動或者加入無氧的高強度運動, 效率都會隨著強度的增加而降低。

之前有關呼吸與身體活動的研究結果顯示, locomotor -

respiratory coupling (LRC) 方法可以增加呼吸效率與肌肉活動，減少攝氧量以提升動作的經濟性 (Itoh 等人, 2002a、2002b)。所謂 LRC 指的是身體動作與呼吸方式頻率的關係，這類的研究主題已廣泛在跑步、走路、騎腳踏車與划船運動進行應用性的研究。對於划船運動而言，Maclennan 等人 (1994) 認為在划船動作時，每一划 (stroke) 呼吸肌與上肢肌肉的動作協調可能會降低 VO_2 ，其以 16 位有活動習慣的男性，在以漸增測驗測得 VO_{2max} 後，隨機分派至三組不同呼吸方式 (自主呼吸、划船呼氣休息吐氣、划船吐氣休息吸氣) 進行練習，接著進行 50%、75% VO_{2max} 強度的非最大運動，比較在 VO_2 的反應上是否有差異。經過測驗之後發現，不同的呼吸方式在非最大運動下的 VO_2 、RPE 並沒有顯著差異，顯示在划船運動中，不同的呼吸方式對於划船的經濟性並沒有影響。或許 LRC 對於經濟性的影響有其特殊性，且需要一段時間的訓練，才會有助益 (Maclennan 等人, 1994；Itoh 等人, 2002a、2002b)。

三、有關划船測功儀的生理反應研究

Henderson 與 Haggard 於 1925 年，以 1924 年奧運八人槳選手為對象，研究其在划不同重量的拖船時速度與利用以槳葉對抗水中阻力的測功儀，測量選手划船時的動力輸出。儘管選手並未盡其全力到達最大努力程度，Henderson 與 Haggard 即已提出，在划船運動過程中，有氧能量佔運動過程中總能量的 30-60% 而其累積的缺氧量也高達 4 到 8 升 (引自 Hagerman, 1984)。

Hagerman (1984) 指出，透過觀察與研究 2000 多位的男女划船選手，成為一位成功的划船選手，男性的最大攝氧量需到達每分鐘 6 升的水準，而女性則需達到每分鐘 4 升的水準；而最大攝氧量介於 4

至 6 升更成為舊東德時代選拔國家隊選手的基本條件。

Moyna 等人 (2001) 比較六種運動 (跑步機、階梯運動、腳踏車測功儀、划船測功儀、滑雪模擬器與騎摩托車) 於不同自覺量表等級下 (RPE=11、13、15) 的能量消耗，受試者 (男生 9 位、女生 10 位) 先進行一次最大運動測試後，再分別針對不同運動項目，進行三種不同自覺量表等級的次最大運動。其結果發現，男生在任何一種強度與運動形式下，能量消耗都較女生為高。在三種不同自覺量表等級的強度下，對於男生而言，跑步機與滑雪模擬器運動所消耗的能量是最高的；而對於女生而言，除了前述二項之外，划船測功儀的能量消耗也最高。另外，不論男女生，腳踏車與騎摩托車運動的能量消耗是較低的。其研究顯示，不同的運動形式在相同的強度下，其所消耗的能量有很大的差異，相同的自覺量表等級下，從事跑步機與滑雪模擬器運動所消耗的能量會較多，研究者認為這樣的結果，對於提升一般大眾從事運動的依附性 (adherence)，在設計運動處方時有其應用的價值。

Fell 與 Gaffney (2001) 比較 17 位破浪艇 (surfboat) 的正式選手與十三位的儲備選手生理指標的差異，研究者分別測量其體型、敏捷性、等長肌力、柔軟度、划船測功儀表現、攝氧量峰值 ($VO_2\text{peak}$)、動脈血酸鹼值、血乳酸與碳酸鹽指標。研究結果顯示，正式選手與儲備選手在測功儀表現、最大換氣量與運動後血乳酸水準指標上有差異，表示划船測功儀能有效區分不同等級的划船選手，配合身高、最大換氣量與運動後血液酸鹼值，可以有效預測運動表現。

在測量運動員的最大攝氧量時，之前的研究認為最佳的測量時間長度為 8 至 14 分鐘，而時間過長的測驗無法得到有效的測量 (Cosgrove 等人，1999)；相反的，在進行無氧閾值測驗時，卻以每一階段 3 至 6 分鐘的漸進式測驗，以達到乳酸濃度穩定值的長時間測驗方式。針對經過良好訓練的運動員，其對於疲勞的忍受度較一般人

來的高，若在長時間的測量下能有效地測出運動的最大有氧能力，便可以在同一測驗中，同時測得運動員的最大攝氧量以及無氧閾值。Pierce 等人（1999）以 11 位男女划船選手，分別進行傳統的一分鐘間隔的連續性漸增衰竭運動測驗以及每階段分別持續三、四、五分鐘，間隔休息一分鐘的七階段非連續性漸增衰竭運動測驗。其研究結果顯示，持續三、四分鐘的非連續性測驗所測得之 $VO_2\max$ 、運動後血乳酸平均值，與傳統連續性的測驗比較，並沒有顯著的差異。因此，研究者認為，七個階段，每階段持續三至四分，間隔休息一分鐘的非連續性運動測驗可以有效地測得個體的最大攝氧量。

而 Lakomy 與 Lakomy（1993）研究 105%HRmax 的速度划 6 分鐘所測得 $VO_2\max$ 為效標，進行以非最大運動的測驗的划船器測功儀運動預測 $VO_2\max$ 的效度研究。研究者以 14 位非選手與 11 位選手分別進行 5 個不同速度的划船運動，每一個速度持續 6 分鐘，每個速度之間休息間隔至少 6 分鐘，測得其 HR 與 VO_2 。經迴歸分析後得到下列公式：

$$\text{非選手： } VO_2 = 0.114 \times \text{速度}^{2.42}$$

$$\text{選 手： } VO_2 = 0.102 \times \text{速度}^{2.42}$$

綜合選手與非選手的公式預測力高達 92%（SEE = .192L/min）。

在測量划船選手成績表現測驗的信效度研究方面，Schabort 等人（1999）進行 2000 公尺測驗的信度研究，研究者以八位划船選手進行間隔三天的三次 2000 公尺划船測功儀測驗，每次測驗的平均作功量隨著測驗數的增加呈現小幅度的進步（2.3%、.90%），變異量僅達 2.0%，而測驗的再現性（reproducibility）達顯著相關（ $r = .96$ ）。這樣的結果顯示，於划船測功儀上進行 2000 公尺的測驗，能有效監控選手的訓練表現。Gibson 等人（2000）研究十六位 9-12 歲的男生在划船測功儀預測有氧能力的可行性與再現性。受試者分別進行兩次的

運動測驗，其結果發現兩次的測驗間，其 VO_{2peak} 、最高心跳率、最大換氣量與呼吸交換率均沒有顯著的差異，在有氧能力指標 VO_{2peak} 的表現上，其變異係數僅達 5.4%。研究者認為利用划船測功儀，可以有效測量兒童的有氧能力。

Pripstein (1999) 進一步探討在划船測功儀上，進行模擬 2000 公尺測驗與進行漸進式最大運動所獲得的最大有氧 (VO_{2peak}) 與無氧 (accumulate oxygen deficit, AODmax) 能力之生理比較分析。每一位女性受試者皆分別進行最大運動測驗、四階段的非最大運動漸增測驗以及 2000 公尺比賽測驗。研究結果顯示，在 2000 公尺模擬比賽的 VO_{2peak} 與漸增最大運動所測得之 VO_{2max} 並沒有顯著的差異，而且 2000 公尺的攝氧量最高值約在最後一分鐘才出現；此外，在無氧生理表現 (AODpeak VS AODmax) 也沒有差異，這樣的結果或許顯示利用 2000 公尺划船器競賽，可有效地預測有氧能力。作者也進一步指出，在整個七分半的划船過程中，無氧系統的能量供給約佔整體能量的 12%。

Cosgrove 等人 (1999) 進行對 2000 公尺測驗時，生理變項間的關係探討。其以 13 位俱樂部的划船選手分別在划船測功儀上測得選手的皮脂厚、2000 公尺測驗平均速度、 VO_{2max} 、划船經濟性 (rowing economy)、最大攝氧量時的划船速度 ($v_{VO_{2max}}$)、乳酸閾值時的攝氧量與划船速度。實驗後結果顯示不同速度之間有差異性存在，而去脂體重 (lean body mass)、 VO_{2max} 與 2000 公尺測驗成績具有高相關 ($r = .85$)。進一步多元逐步迴歸分析後顯示， VO_{2max} 是預測 2000 公尺成績的最佳生理變項 ($R^2 = .72$)。這樣的結果顯示， VO_{2max} 是影響划船競賽成績最重要因素，研究者進一步指出欲提升划船的競賽成績，提高 VO_{2max} 與增加去脂體重，是重要的策略方向。

在預測 2000 公尺成績的研究方面，Russell 等人 (1998) 以 19

位青少年划船選手為對象，嘗試以身體測量指標（身高、體重、皮脂厚）代謝指標、肌力測量等多項指標來預測 2000 公尺的划船測功儀運動表現。其研究結果顯示，身體質量、 $VO_2\max$ 與伸膝（knee extension）力量與 2000 公尺成績有顯著的相關，而整體作功效率、AOD 與成績並沒有相關。在經過進一步的多元迴歸分析後，只有身體的測量指標為最佳預測成績表現的模式（ $R = .82$ ），而身體質量、 $VO_2\max$ 與皮脂厚三項指標預測成績表現的決定係數也只有 .80。這樣的結果與預測變項之間的高相關性有關，如身體質量與 $VO_2\max$ 具有相關性，若與其他低相關生理變項來預測，或許會有不同研究結果。

在划船測功儀的比較研究方面，Chenier 與 Leger（1991）探討不同的划船測功儀（風阻：ConceptII；摩擦阻力：Gjessing）所測得之 VO_2 與實際划船時的測量值有無差異，確立測功儀的信度。14 位男女划船選手分別進行漸增負荷測驗與水上 3 次四分鐘最大速度衝刺測驗，分別得到不同測驗方式的 $VO_2\max$ 以進行比較。研究結果顯示，三種測驗方式所測得之 $VO_2\max$ 並無差異，因此可確定兩種不同阻力型式的划船測功儀，在測定生理表現上並沒有差異。

Mahony 等人（1999）也以 10 位划船選手為對象，比較兩種不同阻力形式的划船測功儀，經過校正後，在相同作功情況下，兩種形式的測功儀於 VO_2 、 VE 、相同強度下的乳酸濃度以及乳酸閾值下的心跳率皆無顯著差異。其結果顯示在相同作功量的情況下，不同阻力形式的划船測功儀其生理指標並沒有差異；然而，在乳酸強度下的作功量，摩擦負荷的划船測功儀會較空氣阻力的測功儀約高 40 至 50W。

康克尼測驗（Conconi Test）是利用數個運動速度下的心跳率反應，找尋耐力運動訓練強度的一種方法，心跳率在漸增負荷的運動中，原本與負荷是呈現直線關係，但隨著強度增加，其關係會開始曲折，此一曲折點所對應的強度，稱為心跳閾值，亦是無氧閾值的概念

之一，一般而言是訓練耐力運動相當好的指標（林正常，2002）。Bourgois 與 Vrijens (1998) 將康克尼測驗應用於划船運動中，探討所獲得的心跳閾值之生理反應是否呈現穩定狀態，並進一步比較與 AT4 ($La = 4\text{mM/L}$) 個體無氧閾強度之間是否有差異。研究者以 10 位青年划船選手為對象，分別進行 2 次的漸增運動測驗，測驗間隔約 48 至 72 小時，以分別獲得 3 種不同的閾值；接著讓選手在心跳閾值強度下運動 30 分鐘，檢驗其生理狀態。結果顯示，心跳閾值、AT4 強度下的做功輸出與心跳皆明顯高於個體無氧閾，而在心跳閾值強度下運動 30 分鐘的測驗，10 位選手當中僅 4 位選手完成，其中只有 1 位選手在整個過程中呈現穩定的生理狀態。由這樣的結果可以看出，以心跳閾值作為划船耐力訓練的指標似乎有高估的情況，同時與 AT4 的一樣，無法在此一強度下維持生理的穩定狀態。

在探討疲勞與力、做功量的研究方面，Peltonen 等人 (1997) 研究在 3 種不同的環境（常氧、低氧、高氧）下進行 500 公尺划船測功儀的運動時，攝氧量、力量值、做功量的關係與變化情形，進一步配合肌電圖監測肌肉在運動時運動單位徵召的變化。研究結果顯示，3 種環境中，僅在常氧環境底下，最大力量輸出與 VO_2 有高相關，研究者認為除了攝氧量外，應還有其他的限制因素。

Jensen 等人 (1996) 探討在最大划船運動下，能量消耗與做功量的關係，以及各個生理變項（肌力、爆發力、有氧與無氧能力）與 2000 公尺模擬比賽成績之關係。研究結果顯示，艇內伸膝肌力（inboard leg extension strength）、艇外伸膝肌力（outboard leg extension strength）、雙膝伸膝肌力（combined leg extension strength）與 2000 公尺模擬划船測功儀成績都與平均做功輸出 ($483.4 \pm 34.75\text{W}$) 有顯著的相關 ($r = .63、.45、.45、-.52, p < .05$)：進一步進行多元迴歸分析比較，預測划船做功輸出的因子為艇內伸膝肌力與 VO_{2peak}

出現後的乳酸濃度 ($R = .61 \sim .86$)。由這樣的研究結果可看出，欲增加划船運動中的作功輸出，應增加腿部的肌力訓練以及利用無氧性的訓練來減少划船運動中乳酸濃度的堆積。

Riechman 等人 (2002) 以模擬溫蓋特測驗的 30 秒短時間划船衝刺運動、 VO_{2max} 與非最大運動後的乳酸濃度值來預測室內划船測功儀 2000 公尺的成績。其以 12 位女子划船選手進行兩次的短時間 30 秒划船衝刺測驗以及非連續性漸增負荷測驗，分別測得平均動力、最大動力與最小動力、 VO_{2max} 、 VE_{max} 等生理變項，經過多元迴歸分析之後，得到下列預測 2000 公尺划船器測功儀運動表現的模式： 2000 公尺運動成績 = -0.163 (平均動力) - 14.213 (VO_{2max}) + 0.738 (動力遞減率) + 567.259 ；其中動力遞減率為在 30 秒衝刺測驗中，最大與最小動力的下降百分比。此模式所獲得之決定係數高達 .96， $SEE = 2.89$ ，具有相當高的預測能力，然而此預測模式可能只能特別針對女性划船選手，對於男性的划船選手而言，肌力與無氧動力可能對於成績預測更具決定影響力 (Hagerman, 2000)。此研究嘗試以溫蓋特無氧動力測驗探討非乳酸性無氧能力在划船測功儀運動扮演的角色，其結果顯示以溫蓋特測驗所測得的無氧動力峰值 (peak power) 約可解釋 75.5% 的變異量，而 VO_{2max} 與動力遞減率分別只有 12.5% 與 8.2%。因此，對於不同性別、族群的划船選手而言，可能有其最佳的預測模式。另外，能量消耗與作功效率，也是影響划船運動成績表現的因素，值得進一步研究。

Kramer 等人 (1994) 也針對划船選手的身體測量指標、實際划船運動表現 (90 秒划船距離測驗) 舉重測驗以及實驗室測驗 (VO_{2max} 與股四頭肌等速肌力)，來預測 2500 公尺划船測功儀的運動表現。結果顯示，只有 VO_{2max} 單獨預測選手在 2500 公尺測驗的運動表現 ($R = .71$)，而其他所測得之變項與成績表現並沒有顯著的相關，研究者

認為，在針對划船選手所做的訓練或者測驗，所選定的項目應該模擬划船的動作形式，這樣才能夠較有效地達到訓練與預測運動表現的目的。

在划船器測功儀運動與其他運動的比較研究方面，Brahler 與 Blank (1995) 以 11 位女性划船運動員分別進行跑步機、划船測功儀與模擬登山運動 (Simulated Climbing Test, Versa Climber) 的最大運動測試，比較在最大運動時攝氧量達到最高的水平狀態時，所測得的 $VO_2\max$ (L/min & ml/kg/min)、VE、HR 是否有差異。研究後發現，在 $VO_2\max$ (L/min) 與 VE 指標上，模擬登山運動都較跑步機與划船測功儀來的高，而以 $VO_2\max$ 的相對單位 (ml/kg/min) 表示時，登山運動與跑步機是沒有差異的，但仍都比划船運動來的高；另外，在 HRmax 表現上，登山運動、跑步機則明顯高於划船測功儀。雖然划船測功儀是全身性的運動，所動用到的肌肉量較其他形式的運動來的多 (di Prampero 等人, 1971)，然而為何經最大運動所測得的攝氧量，卻是較跑步機、腳踏車運動來的低，Smith 等人 (1994) 認為這或許是因為划船的動作限制了有氧能力的發揮。在進行划船運動時，身體的位置影響到呼吸肌的動作，限制了換氣量，因而所測得之有氧能力會較其他運動來的低；Cunningham 等人(1975)就指出，划船時彎腰的姿勢會降低最大潮氣量 (maximal tidal volume)，而限制了 VE_{\max} ，然而 di Prampero (1971) 認為對於優秀划船選手而言，手的動作並沒有對於胸部的擴張造成影響，而換氣量應不是限制運動表現的因素。Smith (1994) 進一步對此問題進行研究，其以三組不同訓練程度的男性(9 位傑出現役選手、8 位普通選手以及 8 位非划船運動員)，分別進行划船測功儀、腳踏車測功儀與跑步機的漸增負荷最大運動，測量其每分鐘的 VO_2 、VE。研究後發現，當從事划船測功儀運動至 75% $VO_2\max$ 前，VE 與其他兩個項目比較並沒有顯著差異，顯示在

非最大運動下，划船測功儀運動並不會限制換氣量。當到達最大運動狀態時，划船測功儀運動的 VE 、 VO_2 明顯低於另外兩種運動，對於傑出划船選手而言，差異較小，因此可以看出經過訓練之後，換氣量的限制因素影響會漸漸變小。此研究結果支持在划船運動時， VE_{max} 會影響所測得的 VO_{2max} ，其影響的程度會因為訓練水準提升而降低；然而，或許還有其他限制划船 VO_{2max} 的影響因素，如 Rosiello 等人 (1987) 發現，在相同強度的非最大運動時，划船運動的心輸出量與腳踏車並沒有差異，然而划船時的心跳率卻偏高而每跳輸出卻是減少的情況，如果到達最大運動時，每跳輸出仍是較低的情況下，確實限制 VO_{2max} 的測量。

Bunc 與 Leso (1993) 以 15 位優秀的划船選手，分別進行腳踏車運動與划船測功儀運動，探討在非最大運動強度與換氣閾值時，作功效率（完成的功/運動增加的能量 $\times 100\%$ ）是否有會因項目的特殊性而有所不同。受試者在進行完熱身運動之後，由 170W 的負荷開始，每分鐘增加 20W 至衰竭為止。研究後顯示，兩種項目測驗的 VO_{2max} 並無顯著差異，而在換氣閾值的強度下，其划船測功儀所測得之 VO_2 較腳踏車來的高，且換算成 VO_{2max} 百分比也較高。作功效率的比較方面，腳踏車較划船器在整體的作功效率為佳（22.8% vs 16.4%），而隨著選手的槳頻數增加，作功效率也會增加，因此實驗室監控選手的換氧閾值與作功的效率，能有效評估訓練效果以及訓練量的安排，是具評估價值的生理指標。

Pelton 與 Rusko (1993) 同樣也以模擬單純划船動作的腿部運動，探討在不同時間長度划船時，腿部力量、動力輸出之間的關係獲得相同的結論。其以 9 位男性國際級與國家級選手首先進行漸增負荷測驗，測得選手之有氧閾值與無氧閾值之後，分別進行 2 分鐘、6 分鐘、12 分鐘的最大努力測驗，並同時測得其氧債 (O_2 debt) 以計算其無

氧能量消耗。其結果首先檢驗不同時間長度的划船運動之能量消耗比率，其無氧與有氧的比率分別為 2 分鐘（54%：46%）、6 分鐘（23%：77%）與 12 分鐘（88%、12%）。在力量、動力輸出在不同時間的表現方面，兩分鐘運動時，最大力量與動力輸出並沒有相關，但最後 30 秒的平均力量與動力輸出有顯著相關（ $r = .85$ ），而在 2 分鐘測試內，無氧代謝與動力輸出達顯著相關（ $r = .83$ ）；在 6 分鐘的運動表現方面，每 30 秒的平均動力輸出與總動力輸出有相關性存在（ $r = .80$ 、 $.98$ ）。由結果可看出隨著運動時間的增長，其相關越高，顯示在運動最後的階段，平均動力輸出有增加的趨勢。另外 6 分鐘運動總動力輸出相關最高的生理變項是 VO_{2max} （ $r = .85$ ），其次是運動前的 $[HCO_3^-]$ （ $r = .85$ ）與無氧閾值時的 $[La^-]$ （ $r = -.83$ ）；最後在 12 分鐘測驗時，總動力輸出與無氧閾值時的動力輸出、 VO_{2peak} 與無氧閾值時的動力輸出有顯著相關（ $r = .95$ 、 $.92$ 、 $-.83$ ）。在每次測驗中的力量輸出都呈現逐漸下降的趨勢，然而在 6 分鐘、12 分鐘測驗的最後，動力輸出都呈現上升的趨勢，探討其原因發現在槳頻數方面較第 1 分鐘有顯著的增加，顯示在測驗快要結束時，受試者雖然輸出的力量下降，但是可以利用增加槳頻數來維持動力輸出。研究者同時探討划槳時休息與用力時間的比率，同樣與力量輸出一樣呈現下降的趨勢，可能是與選手休息時間減少，拉槳的時間變長有關。

此研究完整地探討划船選手在不同能量比率的運動時間內，力量與作功的關係；在整個划船動作過程中，腿部與軀幹的動作佔大部分，而手部的動作對運動表現影響較小（Secher, 1993），故探討股四頭肌耐力對划船運動表現方面，有其重要的意義。因此在探討動力與持續耐力的關係時，臨界動力的概念或許提供了進一步深入研究理論模式，然而以全身性運動所表現的臨界負荷，或是以單由腿部股四頭肌運動的臨界負荷與划船動力輸出最有相關，是臨界負荷於划船運

動應用時，另外值得探討的問題。

四、本章總結

(一) 臨界負荷為一有氧概念，理論上透過臨界負荷的運動強度，能夠持續運動非常久的時間。現今對於臨界負荷的應用研究中，跑步與腳踏車運動為主要的研究範疇，於划船運動的探討不多，尤其臨界負荷於划船運動中的生理表現，是否呈現理論上的穩定狀態，至今並無相關研究。另外，對於划船運動而言，以動力或速度指標來應用臨界負荷，是需要釐清的問題，以建立訓練及評估運動表現時的參考依據。

(二) 運動中的能量消耗是有氧運動表現的重要影響因素，評估運動成績時，必須考慮運動效率或經濟性的計算。對於以往的研究，在定義不同的情況下，在划船運動的評估效果，是否會有不同，需要進一步的釐清。

(三) 划船運動是屬於全身性的活動，腿部及軀幹是主要的作用肌群，而究竟是以局部肌肉的臨界負荷，或是全身運動所評估出來的臨界負荷與運動表現較有相關，目前仍不清楚。

綜合以上討論，本研究的目的是能透過全身性划船運動，找出評估划船運動成績的最佳臨界負荷指標，同時配合最大攝氧量、乳酸閾值、無氧動力與能量消耗指標進行整體性的探討，透過多變項分析，找出評估划船測功儀上運動表現的最佳模式，作為划船選手訓練參考。同時透過持續運動測驗，進一步考驗不同臨界負荷強度下，生理狀態是否穩定，考驗其理論依據是否與實際狀況相同。