

各種恢復方式對最大運動後乳酸排除的影響

摘 要

陳 相 榮

本研究之目的在：(一)探討短時間高強度的最大運動後各種恢復方式對乳酸排除的影響，(二)比較長跑與短跑選手在各種恢復方式中乳酸排除的差異。十名高中男子長跑及短跑選手為受測者，平均年齡 18.1 歲，身高 175.8 公分，體重 65 公斤。受測者在腳踏車測力器上做 90 秒最大負荷踏車後，接受下列四種恢復處理 20 分鐘：(一) 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動；(二) 40% 和 20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動（以 5 分鐘為單位）；(三) 40% → 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動（各 10 分鐘）；(四) 靜坐休息。在安靜狀態及最大運動後 0, 5, 10, 15 和 20 分鐘分別自手背靜脈採血以測定血液乳酸濃度，同時利用 Gould 2900 測量系統測量恢復期的耗氧量、換氣量、心跳率及呼吸交換率。實驗所得資料分別以重複量數單因子及雙因子變異數分析和 t 值檢定等方法統計分析。研究結果獲得下列結論：

一 動態恢復對乳酸排除比靜態恢復快。

二 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動三種恢復方式，對乳酸排除沒有差異。

三 以 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動為恢復方式時，長跑選手的乳酸排除比短跑選手快。

第一章 緒 言

一、研究動機

運動員在激烈訓練或競賽後，身體情況能否迅速復原，對隨後的運動表現有極大影響。尤其在運動風氣日漸蓬勃的今天，接二連三的比賽似乎是屢見不鮮之事。因此，如何從一次比賽之後盡快而完整的恢復，以迎接另一次挑戰，實為不可忽視的重要課題。

短時間高強度的激烈運動時，無氧代謝佔據優勢，缺氧量 (oxygen deficit) 繼續升高，造成血液及肌肉的乳酸含量增加，這不僅影響代謝過程更導致肌肉暫時的疲勞 [19 , 37]。由於乳酸的積聚會抑制游離脂肪酸 (free fatty acids) 的動員和阻礙糖解作用 (glycolysis) 的速率，故而高強度運動後，乳酸的排除即成為隨後運動表現或疲勞恢復的主要關鍵 [13]。

關於激烈運動後乳酸的消失問題，早自 1929 年代即已發現恢復期中做適度運動 (動態恢復或主動恢復) 要比安靜休息 (靜態恢復或被動恢復) 更為快速 [21]。多年以來，許多研究者也相繼證實此種結果 [39 , 7 , 16 , 20 , 10]。惟在恢復期的運動方式 (持續運動、間斷運動、漸減強度運動等)、運動強度 ($\% \dot{V}O_2 \max$) 以及受測者的體能狀況，對於乳酸排除的影響方面仍無一致看法。

二、研究目的

(一) 探討短時間高強度的最大運動後各種恢復方式對乳酸排除的影響。

(二) 比較長跑選手與短跑選手在各種恢復方式中乳酸排除有無差異。

三、研究範圍

本研究是以十名自願參加實驗的台北市西湖工商男子長跑及短跑選手為受測者，在 Monark 腳踏車測力器上做最大負荷運動 90 秒後的恢復期中，分別採用 40% $\dot{V}O_2 \max$ 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_2 \max$ 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2 \max$ 漸減運動和靜坐休息做為恢復處理，測量血液乳酸所得資料為限。

四、名詞釋義

(一) 動態恢復 (exercise recovery) 或主動恢復 (active recovery) : 兩者意義相同，是指運動後的恢復期中以適度運動做為恢復方式。本研究中係以 40% $\dot{V}O_2 \max$ 、40% 和 20% $\dot{V}O_2 \max$ 互為交替以及 40% → 20% $\dot{V}O_2 \max$ 漸減的三種負荷強度踏車而言。

(二) 靜態恢復 (rest recovery) 或被動恢復 (passive recovery) : 兩者意義相同，是指運動後的恢復期中以靜止休息做為恢復方式。本研究係以靜坐在腳踏車上休息而言。

(三) 持續運動 (continuous exercise) : 以一定強度及配速下，在某種運動時間內進行的運動。本研究是指在腳踏車測力器上以受測者 40% $\dot{V}O_2 \max$ 的負荷強度，

踏車頻率每分鐘 60 圈，連續踏車 20 分鐘而言。

(四)交替運動 (alternate exercise)：是指輪流實施兩種不同強度的運動。本研究以受測者 40% 及 20% $\dot{V}O_2\max$ 的強度，在腳踏車測力器上分別做二次五分鐘踏車而言。

(五)漸減運動 (decremental exercise)：受試者在腳踏車測力器上先以 40% $\dot{V}O_2\max$ 的負荷踏十分鐘，再以 20% $\dot{V}O_2\max$ 的負荷踏車十分鐘。

(六)最大運動 (maximal exercise)：運動的需氧量高出耗氧量的運動。本研究是指 90 秒最大負荷踏車，負荷量依體重而定 (0.05 kp/Kg)，測驗開始最初 20 秒踏車頻率需達 130 rpm，然後盡力踏至時間終了。

(七)最大耗氧量 (maximal oxygen consumption, 簡稱 $\dot{V}O_2\max$)：是指最大運動時每分鐘消耗的最大氧量 [30]。

第二章 相關文獻的探討

Jervell [21] 在 1929 年血液及尿中乳酸濃度的研究中指出，運動後恢復期做適度運動，則血液乳酸濃度要比靜態休息下降更快。

1937 年 Newman 等人 [29] 研究血液乳酸的排除速率。三名受測者以 18.7 公里/小時和 12% 的傾斜度在電動跑步機上跑到幾乎衰竭，經過五分鐘休息後自手臂靜脈採血，並且在恢復期中以中等強度繼續跑步 45 分鐘。結果恢復期的乳酸排除速度與達到某種臨界水準活動的代謝率成比例增加。

1949 年, Rammal 和 Strom [31] 的研究中，讓三名受試者以 1260 Kgm/min 的水準在固定腳踏車上持續運動 25 分鐘，然後恢復期中分別用 0、540、720 及 900 Kgm/min 的強度運動藉以觀察乳酸排除的情形，發現最適宜的恢復強度為 720 Kgm/min。

1966 年, Gisolfi 等人 [16] 讓四名受試者在電動跑步機上跑到衰竭，然後採用二種恢復方式；一種是在恢復期休息；另一種則在恢復期做輕微的非最大負荷運動（走路）30~50 分鐘，結果顯示做輕微運動者（動態恢復）的乳酸排除速度比靜態恢復快。

1969 年, Stensvold 和 Hermansen [36] 研究五名受測者衰竭性間斷運動後動態及靜態恢復的乳酸排除速率。結果發現最大耗氧量 60~70% 的有氧運動對乳酸排除效果最佳。Davies 等人 [12] 以最大耗氧量的 20、30、40 及 60% 強度做為衰竭性踏車運動後的動態恢復，結果發現乳酸排除速率以最大耗氧量 40% 的強度為最佳。

1972 年, Hermansen 和 Stensvold [20] 研究七名訓練有素的受試者最大間斷運動後血液乳酸排除情形，結果與他們較早的研究相同，亦即恢復期中做運動的乳酸排除速率比靜態休息快，而且隨著負荷強度而增加，至最大耗氧量 60~70% 為止，超

過時則排除速率減低。

1975年，Belcastro 和 Bonen〔7〕以七名體育系學生為受試者，在標準化的6分鐘踏車運動（ $89\% \dot{V}O_{2max}$ ）之後，比較靜態恢復和動態恢復（29.7、45.3、61.8、80.8% $\dot{V}O_{2max}$ ）以及自選的動態恢復的乳酸排除速率。結果除了證實動態恢復優於靜態恢復之外，以29.7、45.3% $\dot{V}O_{2max}$ 和自選式恢復強度的乳酸排除最為有效，而61.8和80.8% $\dot{V}O_{2max}$ 的恢復強度則有阻礙排除現象。

1976年，Bonen 和 Belcastro〔9〕復以受測者跑完一哩之後，選用靜態休息、自選持續配速慢跑及間斷性運動做為恢復方法以比較乳酸排除速率。結果顯示自選持續配速慢跑比其他二種方式快；而間斷恢復亦顯著的比靜態恢復快。

1976年，Timson〔38〕以五名良好訓練的長跑選手為受測者來研究最大間斷運動後的血液乳酸排除速率。在30分鐘的恢復期中，恢復方式有靜坐、走步（4哩/小時）和慢跑（8哩/小時）三種。結果是慢跑的乳酸排除速率比走步好，靜坐最差。

1977年，Weltman 等人〔41〕觀察高強度短時間運動後不同的恢復方式對乳酸排除及隨後運動表現的影響，讓受測者以5.5公斤阻力做一分鐘衰竭性踏車，接著做被動恢復（靜坐車椅上）或主動恢復（強度為1.0公斤，60圈/分）。結果顯示主動恢復不但乳酸排除速率增加，而且恢復期後的踏車圈數也較多。

1978年，Stamford 等人〔35〕探討超最大負荷單腿運動後血液乳酸的消失情形。10名男受測者以右腿做一分鐘超最大負荷踏車後，接着分別實施六種不同的24分鐘恢復處理。單腿恢復處理以50W強度實施，約為單腿最大耗氧量40%。包含右腿踏車（RL）、單腿踏車並攝取100%氧氣（RLO₂）和左腿踏車（LL）。其他為雙腿踏車，亦以50W強度實施，約為雙腿最大耗氧量30%（2L）；右腿踏車（RL25），強度為單腿30% $\dot{V}O_{2max}$ 以及靜態恢復處理（C）。結果顯示2L和RL25顯著優於C、LL和RL；後面三種處理沒有差異。

1979年，Weltman 等人〔40〕讓九名受測者做完5分鐘最大努力踏車運動後，在20分鐘恢復期中分別接受被動恢復（靜坐車上）、低於無氧閾值的主動恢復、高出無氧閾值的主動恢復和高出無氧閾值的主動恢復加上攝取100%氧氣四種處理。結論指出激烈運動後做主動恢復可增進乳酸消失；低於無氧閾值的主動恢復對乳酸的消失要比高出無氧閾值的主動恢復有效。

1982年，張瑞豪和吳京一〔1〕為探討乳酸排除情形，採用三組不同攝氧量受試者，在電動跑步機上做三次一分鐘全力間斷跑步後，以休息、40% $\dot{V}O_{2max}$ 及60% $\dot{V}O_{2max}$ 三種實驗處理作為恢復方式。發現主動恢復比被動恢復有利於乳酸排除；以休息為恢復方式，攝氧量高者的乳酸排除快於攝氧量低者；攝氧量較高者在較高的恢復強度下，比攝氧量較低者易於排除乳酸；攝氧量高者的恢復方式，以採用45%至70% $\dot{V}O_{2max}$ ，低者以採用40%至46% $\dot{V}O_{2max}$ 作為恢復強度時的乳酸排除比較快；攝

氧量低者要在激烈運動後儘快恢復至安靜時的乳酸值，則在激烈運動後採用休息方式，比過高強度的恢復運動更容易排除乳酸。

1983年，Boileau 等人〔8〕以各種強度的原地跑步機和固定腳踏車運動，研究血液乳酸排除情形。在第一種實驗中，恢復期中包含使用 25、40、55 和 70% $\dot{V}O_2$ max 的主動恢復以及被動恢復。結果發現主動恢復的血液乳酸排除比被動恢復有效；而中度的主動恢復（28.2~43.1% $\dot{V}O_2$ max）比激烈的主動恢復強度恢復更快。第二種實驗中，包括在腳踏車和電動跑步機上做輕度、中度及激烈強度的主動恢復，結果顯示腳踏車和跑步兩種型式的血液乳酸排除最適宜速率相似（分別為 39.5 和 32.5% $\dot{V}O_2$ max）。

1983年，Moffatt 等人〔27〕研究短期間恢復運動中血液乳酸消失與超額的運動後耗氧量（EPOC）之關係。結論指出，短期間（15分）有氧運動（40% $\dot{V}O_2$ max）對促進衰竭運動後的恢復極為有效，而血液乳酸的消失和 EPOC 無關。

1984年，Dodd 等人〔14〕探討各種強度的恢復運動的血液乳酸消失。七名受試者在 50 秒最大運動後，分別接受下列恢復處理：(1)被動恢復（PR）；(2)以 35% $\dot{V}O_2$ max 踏車（35%R）；(3)以 65% $\dot{V}O_2$ max 踏車（65%R）；(4)以 65% $\dot{V}O_2$ max 踏車 7分鐘，接着以 35% $\dot{V}O_2$ max 踏車 33分鐘（CR）。結果顯示 35%R 和 CR 的血中乳酸消失速率顯著大於 65%R 和 PR。而 35%R 和 CR 二者沒有顯著差異，從而指出，混合強度的運動恢復對最大運動後降低血液乳酸並不優於持續性非最大運動恢復。

同年，白石龍生等人〔4〕採用無氧閾值（AT）作為基準，探討恢復運動與血中乳酸排除之關係。受試者為五名健康成人男子，使用電動腳踏車做運動，最大運動係以每分鐘漸進增加負荷，直至衰竭。恢復處理方式有靜態恢復、AT、AT-20W 和 AT+20W 四種。結果發現最大運動後的最高血中乳酸濃度在各恢復過程之間並無差異；在乳酸排除率及乳酸濃度半反應時方面，AT 及 AT-20W 的運動恢復比靜態恢復，不但排除率高，而且半反應時也較短。

1985，Koutedakis 和 Sharp〔23〕採用三種測驗，評估 2000 公尺划船比賽後三種運動強度對減低血液乳酸水準及影響心跳率的效果。結果指出以最高划船速度的 40% 恢復方式比 60% 或休息恢復更能增加乳酸排除率。在恢復期最後一分鐘的心跳率方面，休息恢復比 40% 和 60% 恢復低；而 40% 恢復也低於 60% 恢復。

1986年，池上晴夫等人〔2〕以 60%、40%、20% $\dot{V}O_2$ max 的一定強度運動和漸減強度運動（60%→40%→20% $\dot{V}O_2$ max）探討激烈間斷性踏車後 30 分鐘乳酸消除情形。結果發現：1. 動態恢復比靜態恢復快速。2. 整個恢復期血液乳酸的平均排除率而言，40% $\dot{V}O_2$ max 運動大於其他固定負荷運動。惟在高乳酸濃度期，60% $\dot{V}O_2$ max 運動大於 40% $\dot{V}O_2$ max；低乳酸濃度期，20% 和 40% $\dot{V}O_2$ max 運動兩者相同。3. 血中乳酸濃度的最高值，在恢復期運動強度越大時越低，且有較早出現傾向。4. 漸

減強度運動的乳酸消除速度和 $40\% \dot{V}O_2\max$ 的一定強度運動相同，惟自 2 和 3 的結果判斷，認為運動期恢復的方式以漸減強度較為有效。

1987 年，Bulbulian 等人〔10〕以仰臥、坐姿和動態恢復（ $35\% \dot{V}O_2\max$ ）方式，比較三次最大負荷運動（跑步機）之後血液乳酸的排除。結果顯示主動恢復效果最好，而仰臥恢復並不優於坐姿恢復。

1988 年，Mero〔26〕以 19 名有訓練及 6 名未訓練的春情期男子，研究無氧運動後乳酸產生和恢復。結果主動恢復期血液乳酸的排除大於被動恢復期。

稻沢見矢子等人〔3〕研究中度的間斷運動恢復對激烈運動乳酸排除的效果。六名受測者做三次一分鐘最大努力踏車後，分別接受下列三種恢復處理：1. 坐姿休息；2. $40\% \dot{V}O_2\max$ 持續運動；3. $40\% \dot{V}O_2\max$ 運動與坐姿休息五次互為交替的間斷運動。實驗結果發現，持續運動與間斷運動恢復的血液乳酸消除率明顯的比靜態恢復快，但兩種動態恢復之間並無顯著差異存在。彼等認為中度運動和短時間休息混合的間斷運動恢復，對加速血液乳酸排除，和同樣強度的持續運動恢復具有相同效果。

Kaczynski 等人〔22〕以三種恢復方式（溜冰、踏車和被動恢復）比較模擬冰球比賽的血液乳酸濃度和運動表現，結果指出踏車恢復對降低血液乳酸濃度以及增進運動表現上均勝過被動恢復。

Hatta 等人〔18〕研究老鼠在短時間激烈跑步至衰竭後乳酸的氧化，認為多量的乳酸直接被氧化而不是轉換成葡萄糖之後，同時指出激烈運動後的輕微運動（主動恢復）可以促進乳酸氧化。

綜合過去數十年來的研究結果，可歸納為下列幾點：(一)激烈運動後的恢復期中，適度的運動（動態恢復）對乳酸的排除要比靜止休息（靜態恢復）快。(二)動態恢復的強度雖無完全一致看法，多數學者認為應在無氧閾值以下， $30\sim 45\% \dot{V}O_2\max$ 似為最適宜的強度，超過無氧閾值非但無助於乳酸排除，反而會造成乳酸增多。(三)動態恢復方法大多數以原地跑步機或腳踏車為工具，實施持續運動、間斷運動或漸減運動，部分則採用自選的恢復方式。

第三章 研究方法與步驟

一、受測者

本研究係以台北市西湖工商男子長跑選手五名，短跑選手五名共十名為研究對象。兩組受測者的最大耗氧量，經由 t 考驗結果具有顯著差異（ $P < 0.05$ ）。有關受測者的基本資料如表 1。

二、實驗時間與地點

時間：民國七十八年一月下旬～二月中旬。

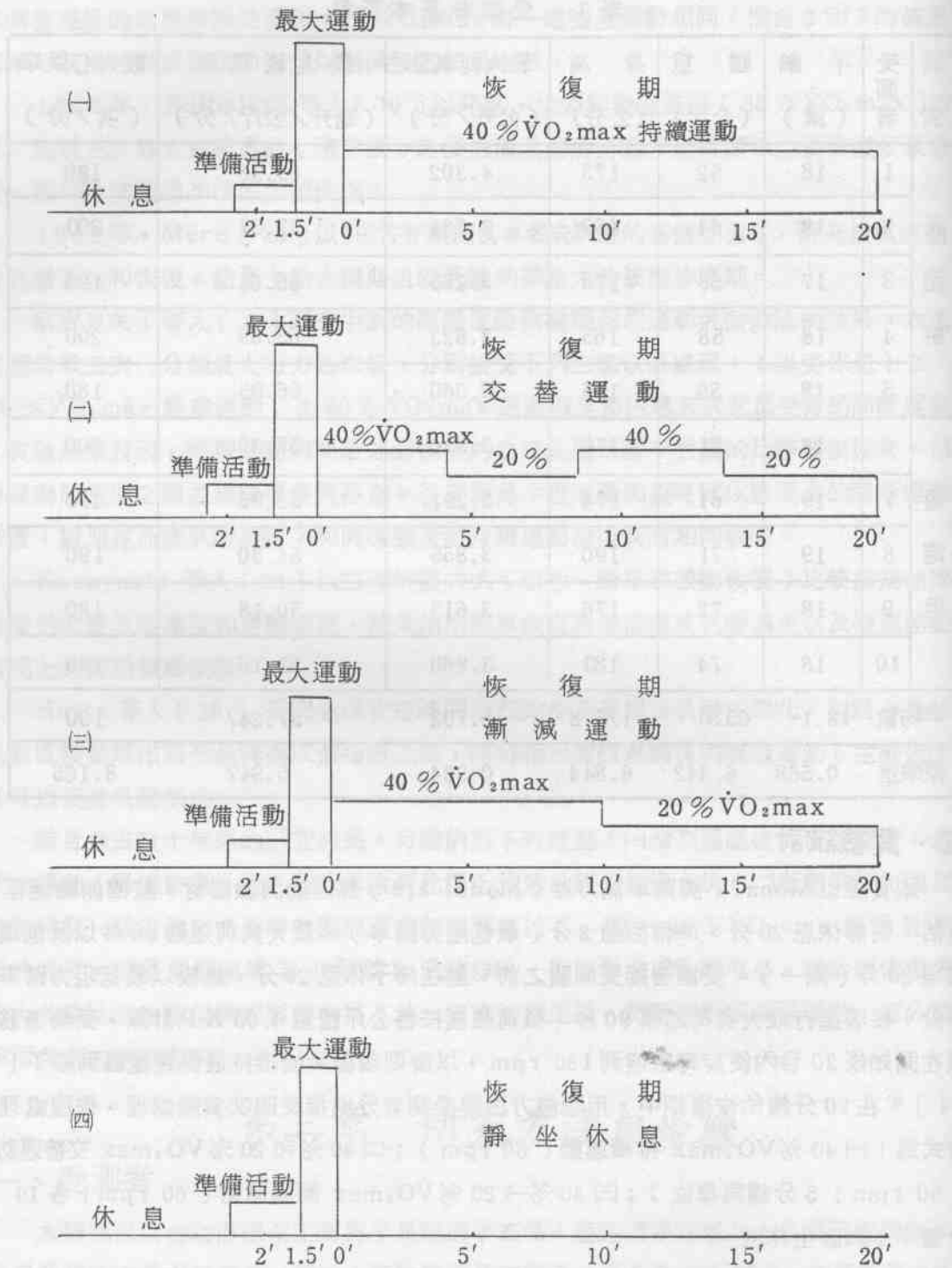
地點：國立體育學院體育研究所實驗室。

表 1 受測者基本資料

組別	受測者	年 齡 (歲)	體 重 (公斤)	身 高 (公分)	最大耗氧量 (公升/分)	最大耗氧量 (毫升/公斤/分)	最大心跳率 (次/分)
長 跑 組	1	18	62	175	4.302	69.38	180
	2	18	64	169	3.704	57.87	200
	3	17	58	175	3.285	56.64	190
	4	18	58	165	3.823	65.69	200
	5	18	59	175	3.360	56.95	180
短 跑 組	6	18	71	176	3.930	55.35	200
	7	19	61	174	3.291	53.95	190
	8	19	71	190	3.855	54.30	190
	9	18	72	176	3.613	50.18	180
	10	18	74	183	3.860	52.16	190
平均數		18.1	65.0	175.8	3.702	57.247	190
標準差		0.568	6.342	6.844	0.324	5.947	8.165

三、實驗設計

本實驗以 Monark 腳踏車測力器 (Model 818) 為運動測驗器材。整個測驗過程包括：安靜休息 20 分、準備活動 2 分 (最低阻力踏車)、最大負荷運動 90 秒以及恢復處理 20 分 (圖一)。受測者接受測驗之前，坐在椅子休息 20 分，然後以最低阻力踏車 2 分。接著進行最大負荷踏車 90 秒，負荷強度按每公斤體重 0.05 KP 計算，受測者務須在開始後 20 秒內使旋轉數達到 130 rpm，以後則竭盡所能維持最快速度直到終了 (24)。在 20 分鐘的恢復期中，用隨機方法讓受測者分別接受四次實驗處理。恢復處理方式為：(一) 40% $\dot{V}O_2\max$ 持續運動 (60 rpm)；(二) 40% 和 20% $\dot{V}O_2\max$ 交替運動 (60 rpm；5 分鐘為單位)；(三) 40% → 20% $\dot{V}O_2\max$ 漸減運動 (60 rpm；各 10 分鐘)；(四) 靜坐休息。



圖一 實驗處理方式

四、初步實驗

(一)最大耗氧量測量

1.器材—Monark 腳踏車測力器 (Model 818) 乙台, Gould 2900 測量系統乙組, 心電計乙台, 碼表及節拍器各乙個。

2.儀器校正與檢視—Gould 2900 測量系統由主機電腦自動校正, 其校正系統包含: (A)流量計校正 (flowmeter cal); (B)流量計查對校正 (flowmeter verify cal); (C)分析儀校正 (analyzer cal); (D)分析儀查對校正 (analyzer verify cal) 和 (E)流量計清除 (flowmeter clean) 五部份。其中 (A)、(C)每日必須校正, (B)、(D)則在每位受測者測量前校正, (E)則需要每日清除十秒鐘。Monark 腳踏車測力器主要是負荷的校正。首先查對負荷刻度表上的 0 度線須與擺錘的直線吻合, 其次是在閘帶 (brake belt) 一端的彈簧上安裝正確重錘, 如使用 4 kg 重錘時, 負荷刻度表則應指向 4 K P [28]。

3.測定程序

(A)受測者進入實驗室準備就緒後, 首先調整腳踏車坐墊高度及手把。坐在車上, 當足部在最低位置時, 膝蓋應彎屈約 5 度, 兩手不宜緊握手把。

(B)粘貼心電圖誘導電極, 使用 CM₅。法把負極貼在胸骨柄上端, 正極在左側第五肋骨和鎖骨正中央下垂交點, 地線則在右側與正極相對位置上, 然後將電極導線接在心電計, 由兩個 R 波間隔換算心跳率。

(C)帶上口罩, 夾上鼻夾, 呼出氣經蛇管進入 Gould 2900 測量系統。

(D)以最低阻力踏車 2 分鐘做為準備活動及熟悉踏車動作。踏車頻率 60 rpm。負荷強度每二分鐘增加 25 至 50 W [5]。各階段負荷為 50 W、100 W、150 W、200 W、225 W、250 W, 直到受測者衰竭, 無法保持一定踏車速率達 5 秒為止。

(E)氣體的採氣、分析均由 Gould 2900 測量系統處理, 自開始運動後, 每隔 20 秒自動採氣並分析 O₂ 及 CO₂ 濃度, 所有測驗數據顯示於電腦畫面上。

(二)非最大負荷測驗

為了解受測者恢復期的 40% 和 20% $\dot{V}O_{2max}$ 負荷強度, 使用 Monark 腳踏車測力器 (Monark Ergometer Model 818) 進行三種持續的非最大負荷測驗, 亦即 50 W、100 W 及 150 W。踏車頻率 60 rpm, 每種負荷持續五分鐘, 共計 15 分鐘。採氣、分析及資料處理與最大耗氧量測量相同。

每位受測者三種非最大負荷的耗氧量測出之後, 比較每人的最大耗氧量, 以求出 40% 及 20% $\dot{V}O_{2max}$ 負荷強度的直線迴歸預測公式。

五、正式實驗

受測者經過初步實驗求出負荷強度後, 隨機接受四次不同的恢復期實驗處理。

(一)恢復期實驗處理步驟

1. 受測者靜坐休息 20 分鐘，自手背靜脈採血 2 cc。
2. 粘貼心電圖誘導電極，測量每一分鐘心跳率。
3. 帶上口罩，夾上鼻夾，經由 Gould 2900 測量系統每 20 秒自動採氣一次獲得 $\dot{V}O_2$ 、 VCO_2 、 VE 和 R 值。
4. 以最低阻力踏車 (60 rpm) 二分鐘做為準備活動。
5. 實施 90 秒標準化最大負荷踏車運動。
6. 在 20 分鐘恢復期中，受測者隨機接受 40% $\dot{V}O_{2max}$ 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_{2max}$ 交替運動，40% → 20% $\dot{V}O_{2max}$ 漸減運動及靜坐休息的實驗處理，並於第 0、5、10、15、20 分鐘分別採血。

(二)乳酸分析

受測者在每一次恢復期實驗處理過程中，採血六次，每次採血後即將血液樣本注入含有氟化鈉 (sodium fluorid)、肝磷脂鈉 (sodium heparin) 及 EDTA - Na_2 的真空試管，並冷藏於 4 °C 冰箱中。

乳酸的分析採用最新 YSI Model 23 L 乳酸分析器全血分析 [42]。乳酸分析步驟如附錄一。

六、資料分析

- (一) 以重複量數單因子變異數分析，考驗全部受測者四種恢復處理時乳酸排除的差異。
- (二) 以 t 值檢定長跑與短跑組在同樣恢復處理時乳酸值的差異。
- (三) 以重複量數雙因子變異數分析，考驗長跑及短跑兩組受測者四種恢復處理時乳酸排除的差異。分析所得資料若有顯著，則以杜凱法 (Tukey method) 進行事後比較。

第四章 結 果

一、乳酸分析的信度檢討

每位受測者在本實驗中總共接受四次恢復期的實驗處理，每次過程均包括六次採血及乳酸分析。為了檢討乳酸分析的信度，乃抽樣對血液樣本進行再測分析，並以皮爾遜積差相關法求出前後二次相關係數， $r = .99$ ，經信度考驗達 .001 顯著水準。

二、全部受測者在各種恢復處理下的血液乳酸變化

由於受測者在最大負荷運動後的恢復期中，血液乳酸濃度 (mM) 變化很大，為了方便比較，故將恢復期的血中乳酸最高值以 100% 的相對值表示。統計分析時悉以轉換的相對值來計算。全部受測者在四種恢復處理下的乳酸值如表 2 及圖 2 所示。血液乳酸的安靜值平均為 1.09 mM，最大負荷運動後最高值在第 5 分鐘時，平均為 8.75 mM。由圖 3 可知，血液乳酸排除的半反應時 (half-reaction time)：持續運動方式約在

恢復期第 18.4 分；交替運動方式約在 18.8 分；漸減運動方式約在 18.2 分，而在 18 分時，靜坐休息方式僅降 25% 而已。

表 2 恢復期各階段的乳酸濃度 (mM/L) 及相對值 (%)

恢復方法	恢復時間 (分)					安靜值
	0	5	10	15	20	
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	4.76±2.06 55.32±22.79	8.58±1.13 100	6.72±1.17 78 ±4.02	5.21± 1.37 59.97± 8	3.98±1.38 45.42±9.37	1.07±0.19
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	5.27± 2.45 58.73±28.37	9.08±1.41 100	7.32±1.5 80.25±6.5	5.89± 1.42 64.28± 6.33	4.22±1.35 45.66±8.39	1.01±0.26
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	4.33± 1.94 50.36±19.14	8.38±1.06 100	6.64±1.18 78.92±5.72	5.09± 1.41 60.18±10.76	3.76±0.92 44.66±8.5	1.05±0.27
靜坐休息	5.75± 1.95 64.53±22.62	8.96±0.95 100	8.53±0.93 95.54±9.35	7.23± 0.98 81.53±10.62	6.34±0.97 71.15±11.4	1.25±0.41

平均數 ± 標準差 (N = 10)

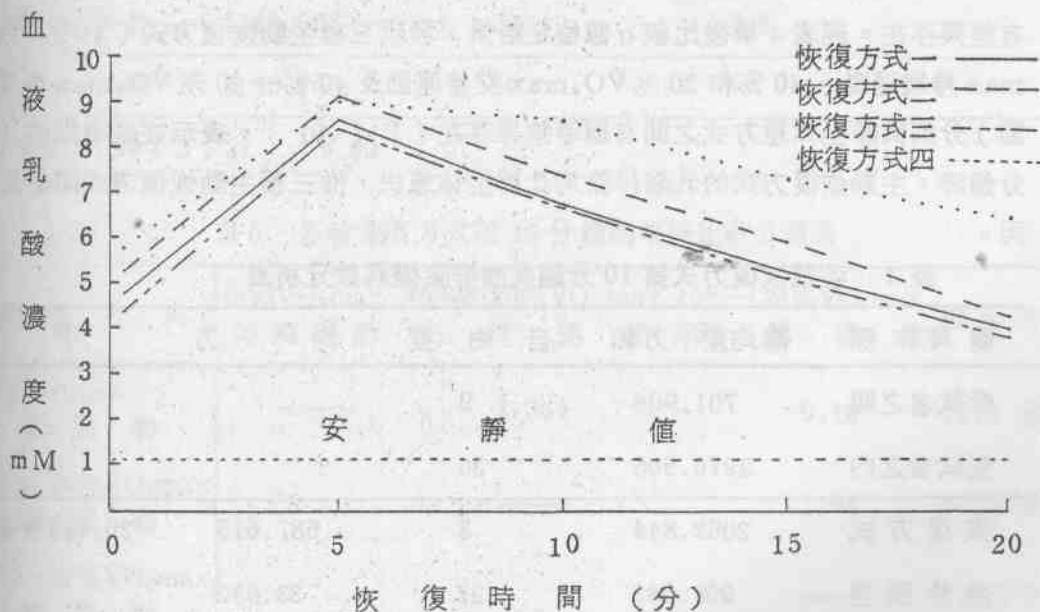


圖 2 恢復期血液乳酸濃度的變化

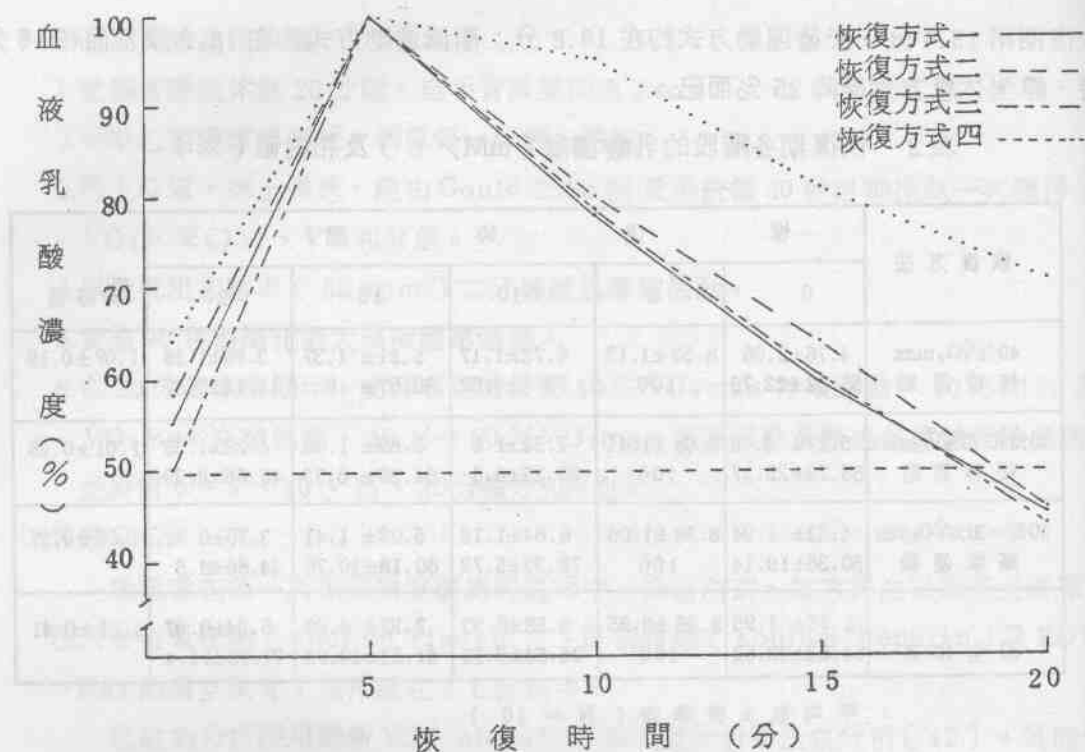


圖3 恢復期血液乳酸濃度相對值的變化

三、各種恢復處理的乳酸排除情形

(一)恢復期第10分鐘各種恢復方式間的比較

由表3變異數分析結果，F值達顯著水準 ($P < .01$)，表示各種恢復方式間有差異存在。經表4事後比較q值檢定結果，發現三種主動恢復方式 ($40\% \dot{V}O_2 \max$ 持續運動、 40% 和 $20\% \dot{V}O_2 \max$ 交替運動及 $40\% \rightarrow 20\% \dot{V}O_2 \max$ 漸減運動) 分別與靜坐休息方式之間有顯著差異存在 ($P < .01$)。表示在恢復期第10分鐘時，主動恢復方式的乳酸排除均比靜坐休息快，惟三種主動恢復方式間並無不同。

表3 各種恢復方式第10分鐘乳酸排除變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F
受試者之間	701.906	9		
受試者之內	2970.906	30		
恢復方式	2062.844	3	687.615	20.445※※
殘餘誤差	908.063	27	33.632	
全體	3672.813	39		

※※ $F_{.99}(3, 27) = 4.60$

表4 各種恢復方式第10分鐘的事後比較q值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	——	1.222	0.496	9.563 ※※
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		——	0.725	8.341 ※※
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			——	9.067 ※※
靜坐休息				——

※※ $q_{.99}(4, 27) = 4.85$

(二)恢復期第15分鐘各種恢復方式間的比較

表5 各種恢復方式第15分鐘的乳酸排除變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由 度	均 方	F
受試者之間	1812.703	9		
受試者之內	4318.063	30		
恢復方式	3134.156	3	1044.719	23.826 ※※
殘餘誤差	1183.906	27	43.848	
全 體	6130.766	39		

※※ $F_{.99}(3, 27) = 4.60$

表6 各種恢復方式第15分鐘的事後比較q值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	——	2.064	0.10	10.3 ※※
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		——	1.96	8.236 ※※
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			——	10.2 ※※
靜坐休息				——

※※ $q_{.99}(4, 27) = 4.85$

由變異數分析結果(表5), F值達顯著水準($P < .01$)。經事後比較q值檢定結果(表6), 發現40% $\dot{V}O_2$ max持續運動、40%和20% $\dot{V}O_2$ max交替運動及40% \rightarrow 20% $\dot{V}O_2$ max漸減運動三種恢復方式, 均與靜坐休息之間有顯著差異存在($P < .01$)。表示在恢復期第15分鐘時, 三種主動恢復的乳酸排除比靜坐休息快, 惟三種主動恢復間並無差異。

(三)恢復期第20分鐘各種恢復方式間的比較

由變異數分析結果(表7), F值達顯著水準($P < .01$)。經事後比較q值檢定結果(表8), 發現40% $\dot{V}O_2$ max持續運動與靜坐休息恢復方式之間, 40%和20% $\dot{V}O_2$ max交替運動與靜坐休息恢復方式之間以及40% \rightarrow 20% $\dot{V}O_2$ max漸減運動與靜坐休息恢復方式之間均有顯著差異存在($P < .01$)。表示在恢復期第20分鐘時, 三種恢復的乳酸排除比靜坐休息快, 惟三種主動恢復之間並無差異。

表7 各種恢復方式第20分鐘的乳酸排除變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F
受試者之間	1767.969	9		
受試者之內	6513.578	30		
恢復方式	5036.242	3	1678.747	30.681**
殘餘誤差	1477.336	27		
全體	8281.547	39		

** $F_{.99}(3, 27) = 4.60$

表8 各種恢復方式第20分鐘的事後比較q值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40% \rightarrow 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	—	0.098	0.324	10.996**
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		—	0.42	10.897**
40% \rightarrow 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			—	11.32**
靜坐休息				—

** $q_{.99}(4, 27) = 4.85$

四、各種恢復處理的其他生理特質變化

恢復期的耗氧量 ($\dot{V}O_2$) 變化如圖 4 所示。當最大運動結束時，四種恢復方式的耗氧量平均為 3038.35 毫升，最初二分鐘下降最快。之後，40% $\dot{V}O_{2,max}$ 持續運動（恢復方式一）的耗氧量約維持在 1800 毫升，呈現水平狀態。40% 和 20% $\dot{V}O_{2,max}$ 交替運動（恢復方式二）則形成階梯式的曲線變化，以 40% $\dot{V}O_{2,max}$ 強度處理時約 1800 毫升，以 20% $\dot{V}O_{2,max}$ 處理時則降為 1200 毫升左右。40% → 20% $\dot{V}O_{2,max}$ 漸減運動（恢復方式三），自 3 分鐘至 10 分鐘的階段，呈現水平狀態（約 1900 毫升）；從第 10 分鐘恢復處理減為 20% $\dot{V}O_{2,max}$ 時，耗氧量隨之明顯下降，第 12 分鐘至 20 分鐘大約形成平穩曲線，耗氧量約 1300 毫升左右。第四種恢復方法為靜坐休息，除了最初二分鐘下降特別快速之外，從第四分鐘（772 毫升）起至第 20 分鐘（637 毫升）變化尚稱平穩。

恢復期的心跳率 (HR) 變化如圖 5 所示。最大運動結束時，四種恢復方式的平均值為 164 次/分。整個恢復期中心跳率的變化模式與耗氧量極為相似。第一種恢復方式從 3 分鐘到 20 分鐘都在 130 次/分左右。第二種恢復方式最初 5 分鐘緩慢降低，平均約為 137 次/分；6~10 分為 116 次/分；11~15 分為 125 次/分；16~20 分為 113 次/分。第三種恢復方式的心跳變化，前 10 分鐘較高，平均約為 138 次/分，後 10 分鐘較低，約為 117 次/分。第四種恢復方式的心跳變化，除了前兩分鐘下降特別快速外（162 次減為 122 次），自 3 分鐘 114 次緩慢降低至 20 分鐘 91 次。

恢復期的換氣量 ($\dot{V}E$) 變化如圖 6 所示，整個曲線形態類似耗氧量及心跳率，但變化起伏較小。最大運動結束時，高達 118 公升。第一種恢復方式除了最初二分鐘下降快速外，以後至第 10 分鐘大約維持 60 公升，自 11 分~20 分約為 49 公升。第二、三種恢復方式則隨著運動強度 ($\dot{V}O_2$) 呈現上下起伏曲線。第四種恢復方式的換氣量最低，初期下降快速，然後緩慢降低，到 20 分鐘時已降至 20.48 公升。

呼吸交換率 (R) 的變化較為特殊，如圖 7 所示，在最大運動結束時，四種恢復方式的平均值為 1.37，惟第四種恢復方式在第一分鐘上升高到 1.73，然後逐漸降低。第一種恢復方式在 20 分鐘恢復期中，呈現緩慢下降，然後維持水平狀態（約 0.84）。但第二、三種恢復方式，最初 5 分鐘緩慢下降，之後的曲線變化與 $\dot{V}O_2$ 或 HR 有相反趨向，R 值在 20% $\dot{V}O_{2,max}$ 時反而高過 40% $\dot{V}O_{2,max}$ 。

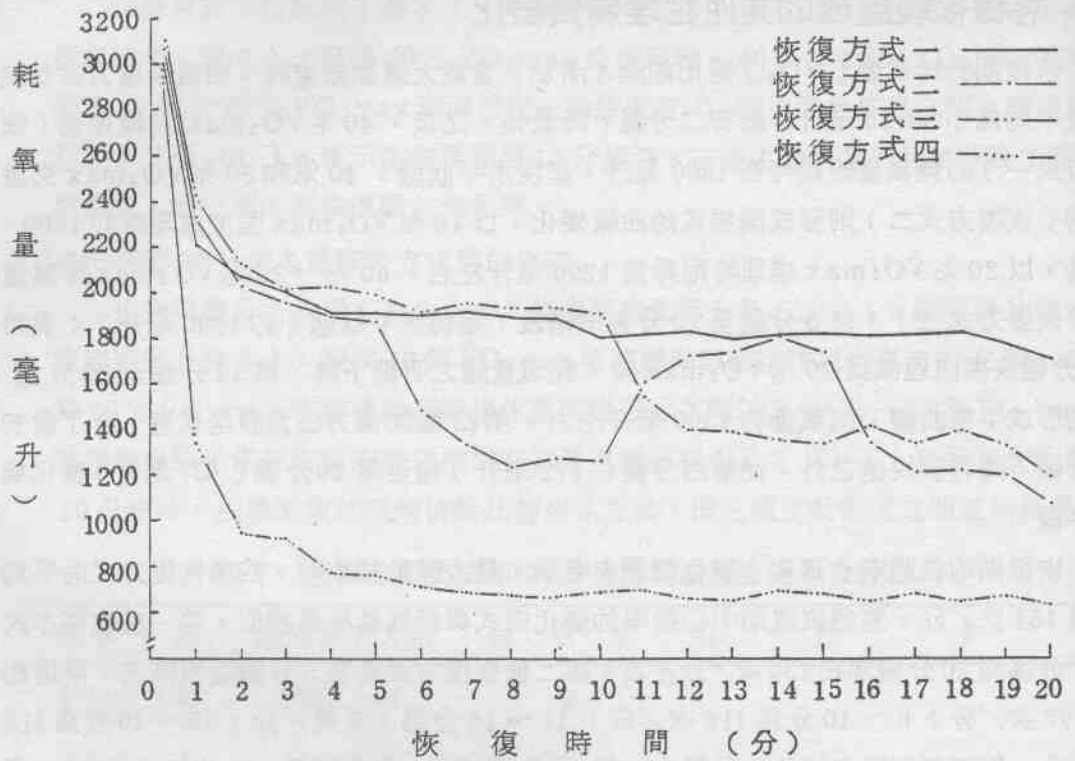


圖 4 各種恢復方式的耗氧量變化

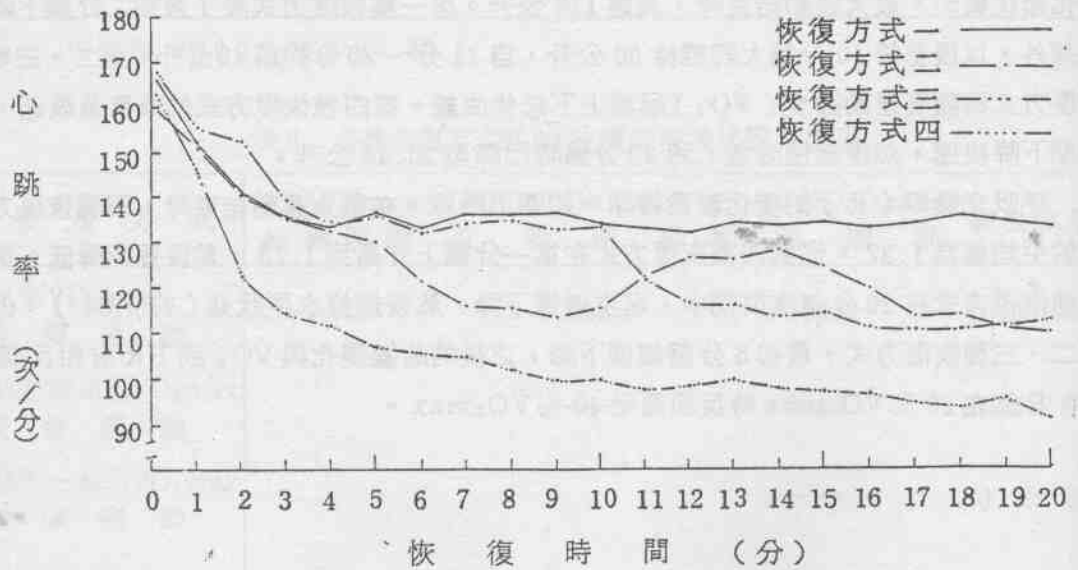


圖 5 各種恢復方式的心跳率變化

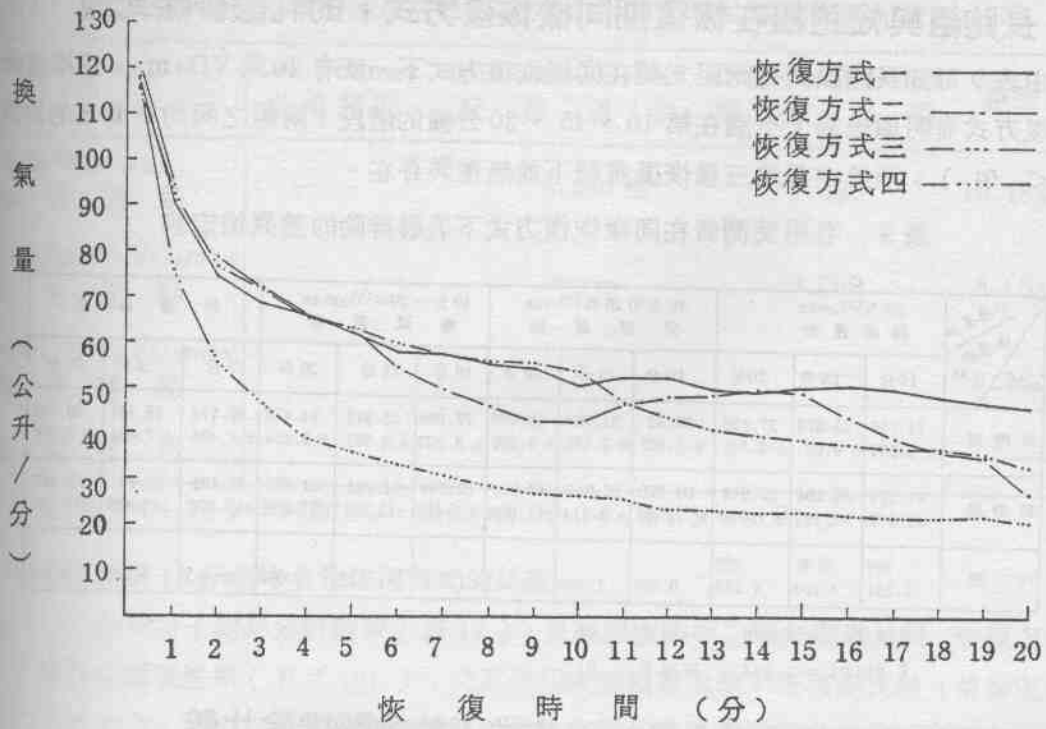


圖 6 各種恢復方式的換氣量變化

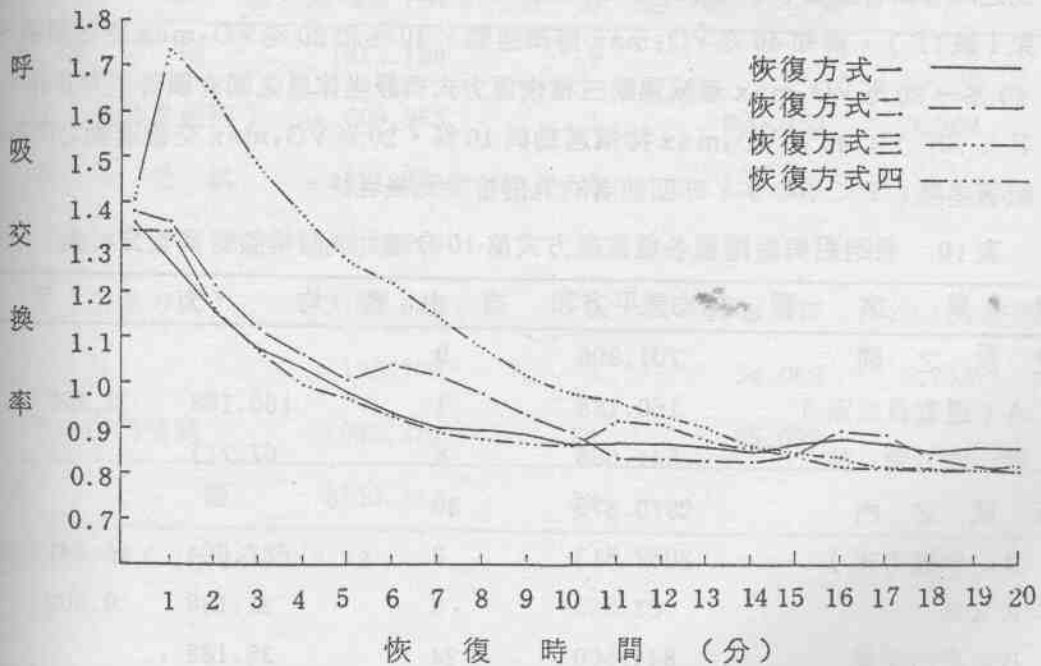


圖 7 各種恢復方式的呼吸交換率變化

五、長跑組與短跑組在恢復期同樣恢復方式下的乳酸排除比較

由表 9 可知長跑組與短跑組之間在同樣恢復方式下，祇有 40% $\dot{V}O_2\max$ 持續運動的恢復方式有明顯差異，不論在第 10、15、20 分鐘的階段，兩組之間均有顯著的差異 ($P < .01$)。至於在其他三種恢復處理下並無差異存在。

表 9 各組受測者在同樣恢復方式下乳酸排除的差異檢定表

恢復方法 恢復時間 組別	40% $\dot{V}O_2\max$ 持續運動			40% 和 20% $\dot{V}O_2\max$ 交替運動			40% → 20% $\dot{V}O_2\max$ 漸減運動			靜坐休息		
	10分	15分	20分	10分	15分	20分	10分	15分	20分	10分	15分	20分
長跑組	74.716 ± 2.357	53.676 ± 4.02	37.858 ± 2.241	80.43 ± 5.827	61.764 ± 3.175	43.692 ± 5.266	77.086 ± 3.203	55.848 ± 5.583	44.478 ± 6.454	92.678 ± 4.485	79.184 ± 7.635	69.892 ± 7.999
短跑組	81.294 ± 1.972	66.264 ± 5.382	52.998 ± 7.029	80.270 ± 7.689	66.812 ± 8.014	47.626 ± 11.006	80.754 ± 7.425	64.524 ± 13.506	44.852 ± 10.998	98.402 ± 12.505	83.89 ± 13.495	72.410 ± 14.983
t 值	※※ 4.784	※※ 4.190	※※ 4.589									

$t_{.95(8)} = 2.306$ ※ $P < .05$

$t_{.99(8)} = 3.355$ ※※ $P < .01$

六、長跑組與短跑組在各種恢復方式下的乳酸排除比較

(一) 恢復期第 10 分鐘各種恢復方式的比較

由雙因子變異數分析結果 (表 10)，在長跑與短跑組之間無顯著差異；恢復方式之間有顯著差異 ($P < .01$)；交互作用未達顯著水準。經事後比較 q 值檢定結果 (表 11)，得知 40% $\dot{V}O_2\max$ 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_2\max$ 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2\max$ 漸減運動三種恢復方式與靜坐休息之間有顯著差異存在 ($P < .01$)；40% $\dot{V}O_2\max$ 持續運動與 40% · 20% $\dot{V}O_2\max$ 交替運動之間亦有顯著差異 ($P < .05$)，亦即前者的乳酸排除比後者快。

表 10 長跑組與短跑組各種恢復方式第 10 分鐘的乳酸排除變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F
受試之間	701.906	9		
A (運動員組別)	160.188	1	160.188	2.366
群內受試	541.688	8	67.711	
受試之內	2970.875	30		
B (恢復方式)	2062.813	3	687.604	19.541 ※※
A × B	63.563	3	21.188	0.602
B × 群內受試	844.500	24	35.188	
全體	3672.750	32		

※※ $F_{.99(3, 24)} = 4.72$

表 11 長跑組與短跑組各種恢復方式第 10 分鐘的事後比較 q 值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	—	4.280 ※	1.288	10.152 ※※
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		—	0.709	8.154 ※※
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			—	8.864 ※※
靜坐休息				—

※ q. 95 (4 , 24) = 3.90 ※※ q. 99 (4 , 24) = 4.91

(二)恢復期第 15 分鐘時各種恢復方式的比較

由雙因子變異分析結果 (表 12) , 長跑與短跑組之間無顯著差異 ; 恢復方式之間具有顯著差異 ($P < .01$) ; 交互作用未達顯著水準。經事後比較 q 值檢定結果 (表 13) , 可知三種主動恢復與靜坐休息之間具顯著差異存在 ($P < .01$) , 但三種主動恢復方式彼此之間則沒有差異。

表 12 長跑組與短跑組各種恢復方式第 15 分鐘的乳酸排除變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F
受試之間	1812.188	9		
A (運動員組別)	600.953	1	600.953	3.969
群內受試	1211.234	8	151.404	
受試之內	4318.219	30		
B (恢復方式)	3133.641	3	1044.547	23.161 ※※
A × B	102.203	3	34.068	0.755
B × 群內受試	1082.375	24	45.099	
全體	6130.422	32		

※※ F. 99 (3 , 24) = 4.72

表 13 長跑組與短跑組各種恢復方式第 15 分鐘的事後比較 q 值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	—	2.033	0.101	10.156**
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		—	1.932	8.122**
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			—	10.054**
靜坐休息				—

**q. 95 (4 , 24) = 3.90 **q. 99 (4 , 24) = 4.91

(三)恢復期第 20 分鐘時各種恢復方式的比較

由雙因子變異數分析結果(表 14)，長跑與短跑組之間或交互作用都未達顯著水準，只有恢復方式(B因素)之間具有顯著差異($P < .01$)。經事後比較結果(表 15)與第 15 分鐘相同，亦即三種恢復與靜坐休息之間具有顯著差異($P < .01$)，但三種主動恢復方式之間並無不同。

表 14 長跑組與短跑組各種恢復方式第 20 分鐘乳酸排除的變異數分析表

變異來源	離均差平方和	自由度	均方	F 值
受試之間	1767.969	9		
A (運動員組別)	301.430	1	301.430	1.644
群內受試	1466.563	8	183.320	
受試之內	6513.594	30		
B (恢復方式)	5036.274	3	1678.758	35.007**
A × B	326.398	3	108.799	2.269
B × 群內受試	1150.922	24	47.955	
全體	8281.586	32		

**F. 99 (3 , 24) = 4.72

表 15 長跑與短跑組各種恢復方式第 20 分鐘的事後比較 q 值表

恢復方式	40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動	40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動	靜坐休息
40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動	——	0.106	0.348	11.751**
40%和20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動		——	0.455	11.644**
40%→20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動			——	12.099**
靜坐休息				——

** q . 99 (4 , 24) = 4.91

* q . 95 (4 , 24) = 3.90

第五章 討 論

人在輕度運動時，肌肉內儲存的氧以及呼吸循環因應運動而供應的氧足以符合需求。中等強度運動時，無氧的能量代謝（ATP-PC 和乳酸系統）祇在運動初期提供能量，一旦耗氧量達到穩定狀態，即由有氧的能量代謝取而代之，供應運動所需能量。當運動繼續時，初期所產生的血中乳酸又下降到安靜水準〔6〕。基本上在此情形，乳酸不致增加，原因是排除速率和產生速率相等〔25〕。但在激烈運動，氧的供求不平衡時，無氧的糖解作用（anaerobic glycolysis）佔據優勢以供應能量，同時也造成乳酸的終產物。準此而言，乳酸的產生猶如利刃之兩面：一方面提供能量，關係競賽的勝負；一方面其終產物也抑制肌肉收縮和代謝活動〔17〕。McArdle 等學者〔25〕亦認為，乳酸不應被視為代謝“廢物”（waste product）。就另一觀點看來，乳酸乃是激烈身體運動時留在體內有價值的化學能源。當恢復期或運動配速減緩，有足夠的氧可供利用時，乳酸即迅速地轉變成丙酮酸做為能源。

本實驗旨在探討最大負荷踏車之後各種恢復的乳酸排除情形。從恢復期血液乳酸濃度的變化（圖 2 及表 2）可以發現，血中乳酸最高值在第 5 分鐘的階段而非運動剛結束時。由於受限於每 5 分鐘採血一次，無法確切獲知 5 至 10 分鐘的乳酸值。惟自相對值來觀察，第 10 分鐘的乳酸值要比第 5 分鐘降低約 20%。此與 Gollnick 等人〔17〕以及 Dodd 等人〔14〕的看法相同。Astrand 和 Rodahl〔6〕亦指出，血液乳酸最高濃度的測定，必須在恢復期最初 5~10 分鐘採血。因為實際運動時，乳酸在肌肉中產生，然後自活動肌肉擴散至血液，需要延遲一段時間〔33〕。

本研究中所使用的標準化最大負荷踏車為持續運動，負荷強度為 0.05 KP/kg 體重，時間為 90 秒。受測者最大運動後的血中乳酸最高值平均為 8.75 mM，個人最高值為

11.5 mM (附錄三)。此值與 Shephard 等人 [34] 採用一次衰竭運動後 1 ~ 2 分鐘的測定值 11 ~ 13 mM 很接近，惟與間斷性最大運動所測的最高值相比，仍然嫌低。Hermansen [20] 以三次 60 秒在跑步測力器上跑步後的血液乳酸最高值達 18.3 mM。除了運動的強度、時間和形式之外，運動員的訓練情況可能都是影響最大運動後最高乳酸值的因素 [38]。

本研究中的恢復方式可分類為主動恢復和被動恢復。前者包括 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動三種；後者為靜坐休息。全部十名受測者經四種恢復處理下，在 20 分鐘恢復期中的 10、15、20 分三個階段均顯示三種主動恢復與被動恢復之間具有顯著的差異。易言之，主動恢復的乳酸排除效果優於被動恢復。事實上，自 1930 年代以來，即有許多學者，包含 Newman [29]、Gisolfi [16]、Stensvold 和 Hermansen [36]、Belcastro 和 Bonen [7]、Timson [38]、Stamford [35]、張瑞豪 [1]、Boileau [8]、Dodd [14]，都證實激烈運動後恢復期間，做適度運動對乳酸排除比靜止休息快。主動恢復對乳酸排除速率之所以快於被動恢復，主要是乳酸能迅速地被分送到肝臟，氧化成水和二氧化碳或轉化為葡萄糖；此外，骨骼肌、心肌、腦、肝臟和腎臟組織均能利用乳酸做為有氧系統的代謝燃料 [15]。

三種主動恢復方式對乳酸排除的效果固然都優於被動的靜態恢復方式，但主動恢復方式之間並無差異。若仔細觀察圖 2 及圖 3，可知最大運動後血中乳酸濃度自最高值下降至 20 分的過程當中，三種恢復方式的曲線都非常接近，顯示這些恢復方式的效果極為相似。血液乳酸半反應時，持續運動約 18.4 分，交替運動 18.8 分、漸減運動 18.2 分，此與稻沢見矢子等人 [3] 所做的 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動及間斷運動恢復方式的半反應時頗為一致。

長跑組與短跑組在同樣恢復方式的乳酸排除，採用 40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動處理時，在恢復期的各階段均顯示長跑組的乳酸排除較短跑組快。此點與張瑞豪的報告相同 [1]，同時也印證長跑運動員在同樣非最大運動中乳酸值較低的理論 [11]。至於兩組在 40% 和 20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動、靜坐休息的恢復處理方面，雖然恢復期中長跑組的乳酸濃度始終較低，但未達顯著水準。這可能與較低的處理強度 (20% $\dot{V}O_2$ max 及靜止狀態) 有關係，因為有氧能力高者，往往在較高恢復強度下比有氧能力低者易於排除乳酸。

長跑組與短跑組在不同恢復方式的乳酸排除比較，顯示兩組之間沒有差異，但在恢復方式之間則有顯著的差異出現。亦即，40% $\dot{V}O_2$ max 持續運動、40% 和 20% $\dot{V}O_2$ max 交替運動、40% → 20% $\dot{V}O_2$ max 漸減運動三種恢復方式，在恢復期各階段的乳酸排除情形都比靜坐休息快。有關主動恢復對乳酸排除比被動恢復快的理論基礎以及參與研究者前已說明，在此不再贅述。

本研究所中所採用的主動恢復方式有三種，恢復強度則分別是 $40\% \dot{V}O_2\max$ 、 $40\% \sim 20\% \dot{V}O_2\max$ 交替或漸減。Belcastro 和 Bonen〔7〕認為 29.7 和 $45.3\% \dot{V}O_2\max$ 的強度對乳酸排除的效果最好， $60\% \dot{V}O_2\max$ 以上反而阻礙乳酸排除。Dodd 等人〔14〕以為 $35\% \dot{V}O_2\max$ 最佳，而 Davies 等人〔12〕和池上晴夫等人〔2〕均指出 $40\% \dot{V}O_2\max$ 最適合。綜合而言，以腳踏車為運動測驗工具時， $30 \sim 45\% \dot{V}O_2\max$ 均為適宜的主動恢復強度，過低可能無法發生作用，過高（超過無氧閾值）對乳酸排除可能適得其反。就此觀點而言，本研究採用的持續恢復強度 $40\% \dot{V}O_2\max$ 堪稱恰當，而交替或漸減方式中的 $20\% \dot{V}O_2\max$ 可能嫌低。

第六章 結論與建議

一、結 論

本研究以十名高中男子長跑及短跑選手為受測者，探討最大運動後各種恢復方式對乳酸排除的影響。實驗結果經分析討論後，獲得下列結論：

(一) 動態恢復對乳酸排除比靜態恢復快。

(二) $40\% \dot{V}O_2\max$ 持續運動、 40% 和 $20\% \dot{V}O_2\max$ 交替運動、 $40\% \rightarrow 20\% \dot{V}O_2\max$ 漸減運動三種恢復方式，對乳酸排除沒有差異。

(三) 以 $40\% \dot{V}O_2\max$ 持續運動為恢復方式時，長跑選手的乳酸排除比短跑選手快。

二、建 議

(一) 本研究以長跑及短跑選手為受測對象，若能擴及一般人做為比較，則使研究更具廣泛性。

(二) 如以腳踏車測力器為運動測驗工具時，最好採用電動腳踏車，俾使負荷強度的設定更為正確。

參 考 文 獻

一、中文部份

1. 張瑞豪，不同攝氧能量對恢復期乳酸排除的影響，國立台灣師範大學體育研究所集刊，第九輯，民國七十一年。

二、日文部份（按五十音順序）

2. 池上晴夫，稻沢見矢子，近藤徳彦，乳酸消失からみたクーリング・ダウンに関する研究，筑波大学体育科学系紀要，9：151 - 158、1986。

3. 稻沢見矢子，西保岳，近藤徳彦，勝田茂，池上晴夫，乳酸消失からみたクーリング・ダウンの効果に関する研究——間欠的回復運動の場合，体育研究，33 卷，第 2 号，昭和 63 年。

4. 白石龍生，駒井説夫，上林久雄，AT を基準とした回復期運動と血中乳酸除去との

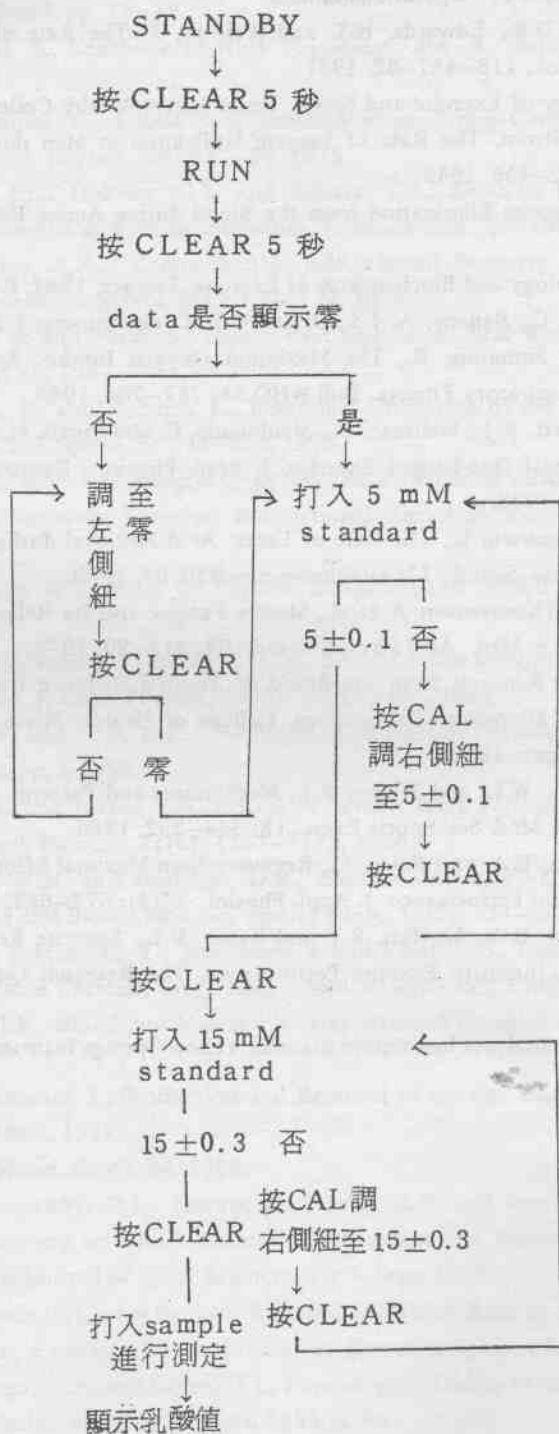
三、英文部份（按字母順序）

5. American College of Sports Medicine, Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Philadelphia, Lea & Febiger, 3rd ed., 1986, pp. 18-19.
6. Astrand, P.O. and Rodal, K., Textbook of Work Physiology, 3rd ed., McGraw-Hill, 1986, pp. 320-322.
7. Belcastro, A.N. and Bonen, A., Lactic Acid Removal Rates during Controlled and Uncontrolled Recovery Exercise, *J. Appl. Physiol.*, 39: 932-36, 1975.
8. Boileau, R.A., Misner, J.E., Dykrtra, G.L. and Spitzer, T.A., Blood Lactic Acid Removal during Treadmill and Bicycle Exercise at Various Intensities, *J. Sports Med.*, 23, 1983.
9. Bonen, A. and Belocastro, A.N., Comparison of Self-Selected Recovery Methods on Lactic Acid Removal Rates, *Med. Science in Sports*, 8(3): 176-178, 1976.
10. Bulbulian, R., Darabos, B. and Narta, S., Supine Rest and Lactic Acid Removal Following Maximal Exercise, *J. Sports Med.*, 27, 1987.
11. Costill, D.L., Thovsson, H. and Roberts, E., Fractional Utilization of the Aerobic Capacity during Distance Running, *Med. Sci. Sports*, 5: 248-252, 1973.
12. Davies, C.T.M., Knibbs, A.V. and Musgrove, J., The Rate of Lactic Acid Removal in Relation to Different Baselines of Recovery Exercise, *International Zietschrift fur Angewandte Physiologie*, 28: 155-161, 1970.
13. DeVries, H.A., Physiology of Exercise for Physical Education and Athletics, 4th ed. Wm. C. Brown Publishers, 1986, p. 497.
14. Dood, S., Power, S.K., Callender, T. and Brooks, E., Blood Lactate Disappearance at Various Intensities of Recovery Exercise, *J. Appl. Physiol.*, 57(5): 1462-1465, 1984.
15. Fox, E.L., Bowers, R.W. and Foss, M.L., The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th ed., Saunders, 1988, pp. 54-55.
16. Gisolfi, C., Robinson, S. and Turrell, E.S., Effects of Aerobic Work Performed during Recovery from Exhausting Work, *J. Appl. Physiol.*, 21(6): 1767-1772, 1966.
17. Gollnick, P.D., Bayly, W.M. and Hodgson, D.R., Exercise Intensity, Training, Diet and Lactate Concentration in Muscle and Blood, *Med. Sci. Sports Exerc.* 18(3): 334-340, 1986.
18. Hatta, H., Atomi, Y., Yamamots, Y., Shinohara, S. and Yamada, S., Oxidation of Lactate in Rats after Short-Term Strenuous Exercise, *Int. J. Sports Med.* 9: 429-432, 1988.
19. Hermansen L, Osnes, J.B., Blood and Muscle PH after Maximal Exercise in Man, *J. Appl. Physiol.*, 32: 304-8, 1972.
20. Hermansen, L. and Stensvold, I., Production and Removal of Lactate during Exercise in Man, *Acta Physiol. Scan* 86: 191-201, 1972.
21. Jervell, O., *Acta Med. Scand. Suppl.* 24, 1929.
22. Kaczynski, M., Montgomery, D.L., Koziris, P., Travlos, A.K. and Turcotte, R.A., The Effects of Active and Passive Recovery on Blood Lactate Concentration and Performance in a Simulated Ice Hockey Task. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 13, 3, Sept. 1988.
23. Koutedakis, Y. and Sharp, C.C., Lactic Acid Removal and Heart Rate Frequencies during Recovery after Strenuous Rowing Exercise, *British Journal of Sports Medicine*, 19, 4, Dec. 199-202, 1985.
24. Macdougall, J.D., Wenger, H.A. and Green, H.J., Physiological Testing of the Elite Athlete, Published by the Canadian Association of Sport Sciences, 1983, p. 69.
25. McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L., Exercise Physiology 2nd ed. 1986. pp. 91-92.
26. Mero, A., Blood Lactate Production and Recovery from Anaerobic Exercise in Trained and Untrained Boys, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57(6): 660-6, 1988.

27. Moffatt, R.J., Stamford, B.A. and Golden, B., Short Term Recovery Exercise: Blood Lactate Disappearance and Excess Postexercise Oxygen Consumption, American Physiological Society, "The Physiologist" Aug. 1983.
28. Monark Ergometer Model 818 Operation Manual.
29. Newman, E.V., Dill, D.B., Edwards, H.T. and Webster, F., The Rate of Lactic Acid Removal in Exercise, *Am. J. Physiol.*, 118-457-62, 1937.
30. Noble, B.J., *Physiology of Exercise and Sport*, Times Mirror/Mosby College Publishing, 1986, p.96.
31. Rammal, K. and G. Strom, The Rate of Lactate Utilization in Man during Work and Rest, *Acta Physiol, Scand* 17: 452-456, 1949.
32. Rontoyannis, G.P., Lactate Elimination from the Blood during Active Recovery, *J. Sports Med.* 28 (2): 115-123, 1988.
33. Shephard, R.J., *Physiology and Biochemistry of Exercise*, Praeger, 1982, P. 23.
34. Shephard, R.J., Allen, C., Benade, A, J.S., Davies, C.T.M., diprampero, P.E., Hedman, R., Merriman, J.E., Myhre, K., and Simmons, R., The Maximum Oxygen Intake: An International Reference Standard of Cardio-Respiratory Fitness. *Bull WHO* 38: 757-764, 1968.
35. Stamford, B.A., Moffatt, R.J., Weltman, A., Maldonado, C. and Curtis, M., Blood Lactate Disappearance after Supramaximal One-Legged Exercise, *J. Appl. Physiol. : Respirat Environ. Exercise Physiol.*, 45-2: 244-248, 1978.
36. Stensvold, I. and Hermansen, L., The Rate of Lactic Acid Removal during Recovery while Working and Resting, *Acta Physiol. Scand.*, 77: Supplementum 330, 85, 1969.
37. Tesch Per, Sjödin B, Tharstensson A et al., Muscle Fatigue and Its Relation to Lactate Accumulation and LDH Activity in Man. *Acta Physiol Scand* 103: 413-20, 1978.
38. Timson, B.F., *Lactate Removal from the Blood of Trained Distance Runners Following Strenuous Intermittent Exercise*, Microform Publications, College of Health, Physical Education and Recreation, University of Oregon, 1978.
39. Wasserman, K., Beaver, W.L. and Whipp, B.J., Mechanisms and Patterns of Blood Lactate Increase during Exercise in Man, *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 344-352, 1986.
40. Weltman, A., Stamford, B.A. and Fulco, C., Recovery from Maximal Effort Exercise: Lactate Disappearance and Subsequent Performance, *J. Appl. Physiol.*, 47(4): 677-682, 1979.
41. Wiltman, A., Stamford, B.A., Moffatt, R.J. and Katch, V.L., Exercise Recovery, Lactate Removal, and Subsequent High Intensity Exercise Performance, *The Research Quarterly*, 48(4): 786-796, 1977.
42. YSI model 23L lactate analyzer instruction manual, Yellow Springs Instrument CO., Inc. 1984.

附 錄

附錄一、乳酸分析步驟：



附錄二 受測者恢復方式一 的乳酸值 (mM) 和相對值 (%)

受測者	恢復時間 (分)					安靜值
	0	5	10	15	20	
1.	2.1 (26.25)	8.0 (100)	6.2 (77.5)	4.0 (50)	3.2 (40)	1.3
2.	4.9 (61.25)	8.0 (100)	5.8 (72.5)	4.0 (50)	2.8 (35)	0.9
3.	5.8 (73.41)	7.9 (100)	5.9 (74.68)	4.3 (54.43)	2.9 (36.7)	0.9
4.	5.8 (69.87)	8.3 (100)	6.0 (72.28)	4.5 (54.21)	3.1 (37.34)	1.3
5.	7.4 (96.10)	7.7 (100)	5.9 (76.62)	4.6 (59.74)	3.1 (40.25)	1.1
6.	4.0 (40.4)	9.9 (100)	8.0 (80.8)	7.1 (71.71)	5.8 (58.58)	1.3
7.	8.3 (74.1)	11.2 (100)	9.4 (83.92)	8.1 (72.32)	7.0 (62.5)	1.2
8.	2.8 (35.44)	7.9 (100)	6.2 (78.48)	4.8 (60.75)	3.8 (48.1)	0.9
9.	2.7 (33.75)	8.0 (100)	6.5 (81.25)	5.0 (62.5)	3.8 (47.5)	0.8
10.	3.8 (42.69)	8.9 (100)	7.3 (82.02)	5.7 (64.04)	4.3 (48.31)	1.0

※ 括號內數字為相對值。

※※ 受測者 1. — 5. 為長跑選手，6. — 10. 為短跑選手。

附錄三 受測者恢復方式二的乳酸值 (mM) 和相對值 (%)

受測者	恢復時間 (分)					安靜值
	0	5	10	15	20	
1.	1.1 (12.22)	9.0 (100)	6.8 (75.55)	5.2 (57.77)	3.7 (41.11)	1.0
2.	6.9 (65.71)	10.5 (100)	8.0 (76.19)	6.8 (64.76)	4.7 (44.76)	0.8
3.	5.4 (70.12)	7.7 (100)	6.1 (79.22)	5.0 (64.93)	4.0 (51.94)	1.4
4.	9.0 (107.1)	8.4 (100)	7.6 (90.47)	5.2 (61.91)	3.6 (42.85)	1.3
5.	6.8 (91.89)	7.4 (100)	5.9 (79.72)	4.4 (59.45)	2.8 (37.83)	1.4
6.	5.7 (52.77)	10.8 (100)	9.1 (84.25)	7.6 (70.37)	6.1 (56.48)	0.9
7.	7.6 (66.08)	11.5 (100)	10.3 (89.56)	8.9 (77.39)	6.9 (60.00)	1.0
8.	4.3 (55.12)	7.8 (100)	5.4 (69.23)	4.9 (62.82)	2.6 (33.33)	0.7
9.	2.4 (27.9)	8.6 (100)	7.0 (81.39)	5.8 (67.44)	4.1 (47.67)	0.9
10.	3.5 (38.46)	9.1 (100)	7.0 (76.92)	5.1 (56.04)	3.7 (40.65)	0.8

※ 括號內數字為相對值

※※ 受測者 1—5 為長跑選手，6—10 為短跑選手

附錄四 受測者恢復方式三的乳酸值 (mM) 和相對值 (%)

受測者	恢復時間 (分)					安靜值
	0	5	10	15	20	
1.	1.2 (16.21)	7.4 (100)	6.1 (82.43)	4.6 (62.16)	3.5 (47.29)	1.0
2.	4.7 (55.29)	8.5 (100)	6.5 (76.47)	4.4 (51.76)	3.3 (38.82)	1.2
3.	6.5 (76.47)	8.5 (100)	6.5 (76.47)	5.1 (60)	4.6 (54.11)	1.2
4.	3.3 (43.42)	7.6 (100)	5.8 (76.31)	4.3 (56.57)	3.3 (43.42)	1.0
5.	5.5 (68.75)	8.0 (100)	5.9 (73.75)	3.9 (48.75)	3.1 (38.75)	1.5
6.	5.6 (54.36)	10.3 (100)	8.1 (78.64)	5.8 (56.31)	4.2 (40.77)	0.8
7.	7.3 (71.56)	10.2 (100)	9.2 (90.19)	8.5 (83.33)	5.2 (50.98)	1.3
8.	2.8 (37.33)	7.5 (100)	5.7 (76)	4.0 (53.33)	2.8 (37.33)	0.6
9.	4.1 (50)	8.2 (100)	7.1 (86.58)	6.1 (74.39)	5.0 (60.97)	1.1
10.	2.3 (30.26)	7.6 (100)	5.5 (72.36)	4.2 (55.26)	2.6 (34.21)	0.8

※ 括號內數字為相對值

※ ※ 受測者 1.—5. 為長跑選手，6.—10. 為短跑選手

附錄五 受測者恢復方式四的乳酸值 (mM) 和相對值 (%)

受測者	恢復時間 (分)					安靜值
	0	5	10	15	20	
1.	6.8 (75.55)	9.0 (100)	8.0 (88.88)	6.4 (71.11)	5.3 (58.88)	1.1
2.	3.6 (41.86)	8.6 (100)	7.8 (90.69)	6.2 (72.09)	5.5 (63.95)	1.0
3.	5.4 (60)	9.0 (100)	8.1 (90)	7.5 (83.33)	6.9 (76.66)	2.1
4.	8.3 (102.46)	8.1 (100)	7.6 (93.82)	6.5 (80.24)	6.0 (74.07)	1.4
5.	7.4 (89.15)	8.3 (100)	8.3 (100)	7.4 (89.15)	6.3 (75.90)	1.4
6.	4.2 (39.25)	10.7 (100)	10.2 (95.32)	8.2 (76.63)	7.0 (65.42)	1.2
7.	8.2 (81.18)	10.1 (100)	9.3 (92.07)	9.0 (89.10)	8.1 (80.19)	0.8
8.	6.4 (65.30)	9.8 (100)	9.2 (93.87)	6.6 (71.73)	5.7 (58.16)	1.7
9.	4.4 (56.41)	7.8 (100)	9.4 (120.51)	8.2 (105.12)	7.4 (94.87)	0.9
10.	2.8 (34.14)	8.2 (100)	7.4 (90.24)	6.3 (76.82)	5.2 (63.41)	0.9

* 括號內數字為相對值

** 受測者 1.—5. 為長跑選手, 6.—10. 為短跑選手

附錄六 受測者在恢復期中各種恢復方式的耗氧量平均值(毫升/分)

恢復方式	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																					
一	M	30.03	22.85	20.64	22.22	20.02	5.19	19.50	7.78	19.00	4.44	19.43	5.18	18.92	6.67	18.71	3.31	18.56	3.75	18.28	1.15	18.37	1.11	18.03	3.75	18.16	2.22	18.16	6.95	17.75	7.76	17.01										
	S	2.70	2.81	1.65	0.28	2.20	3.91	21.3	2.87	23.6	5.01	25.0	0.93	261.44	5.24	274.77	280.79	243.6	251.81	277.31	333.34	275.92	287.83	240.50	292.65	286.55	268.94	267.24	290.4													
二	M	30.66	4.44	23.37	9.0	20.24	7.1	19.54	1.87	18.69	5.14	18.80	7.78	13.25	12.24	25.12	12.67	12.63	9.1	16.03	1.72	17.36	6.67	18.04	3.17	17.77	13.37	6.25	12.05	8.89	12.17	7.11	11.90	5.1	10.67	5.1	10.67					
	S	3.45	4.73	3.02	1.74	4.11	3.45	3.80	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96				
三	M	31.09	4.24	31.73	7.01	20.21	5.6	19.85	7.7	20.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4	2.22	19.4
	S	3.11	3.96	3.02	1.74	4.11	3.45	3.80	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96		
四	M	29.72	3.33	13.99	8.75	9.44	12.5	9.18	6.67	7.72	2.22	6.87	3.33	6.78	1.11	6.67	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83	4.44	6.83
	S	3.91	3.76	3.45	7.1	13.6	0.23	2.97	1.92	12.4	0.18	1.41	1.72	1.23	3.15	1.05	3.72	1.17	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	1.72	1.8	

附錄七 受測者在恢復期中各種恢復方式的耗氧量平均值(次/分)

恢復方式	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
一	M	16.2	15.2	28.6	141.333	135.5	133.667	136.222	133.667	136.667	135.833	134.778	133.333	132.333	134.167	132.5	134.111	133.167	134	135.5	134.333	133
	S	11.811	15.362	18.694	18.620	18.886	16.107	21.011	21.078	21.619	19.149	22.939	25.137	22.794	22.563	18.483	21.977	22.663	22.663	23.603	21.422	19.176
二	M	15.9	5.56	15.1	14.0	5.135	12.9	12.1	11.5	11.2	11.3	11.5	12.4	12.6	12.4	11.2	12.4	11.5	11.2	11.3	11.0	10.5
	S	14.231	14.977	15.219	16.008	15.505	15.975	14.573	15.029	16.096	14.690	15.209	14.871	14.811	15.069	16.760	12.4	11.5	11.2	11.3	11.0	10.5
三	M	16.3	3.33	15.8	4.44	14.8	9.138	2.222	13.3	3.33	13.5	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	S	13.802	10.643	13.025	7.612	8.972	10.781	10.307	9.402	10.477	12.065	11.783	16.050	16.308	17.510	11.190	11.709	19.097	19.224	19.886	20.736	20.689
四	M	16.2	7.78	14.6	7.78	12.2	5.56	11.4	6.67	11.1	7.78	10.7	5.56	10.5	8.89	10.4	7.78	10.2	9.9	6.67	9.7	7.78
	S	16.732	22.337	19.307	15.914	15.691	15.899	13.932	15.015	15.166	13.077	14.440	13.094	13.973	13.529	16.689	17.205	17.641	14.533	15.393	15.938	14.046

附錄八 受測者在恢復期中各種恢復方式的換氣量平均值(公升/分)

恢復方式	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
一	M	117.36	90.69	74.167	68.422	65.722	62.8	57.911	57.156	55.622	54.111	50.376	52.289	49.856	49.122	49.478	56.233	49.233	47.744	46.367	45.447
	S	9.865	10.168	13.827	9.723	9.262	9.807	10.822	11.021	9.633	9.430	12.384	9.161	11.576	11.257	10.810	9.692	9.498	10.943	9.808	10.212
二	M	121.133	94.33	78.44	71.21	65.76	63.15	54.07	49.45	45.97	42.78	42.51	46.63	48.03	48.15	48.43	43.19	38.6	36.11	34.82	26.91
	S	11.771	10.304	8.128	9.706	8.733	8.298	8.562	5.370	4.612	3.539	5.315	7.713	9.733	6.388	9.343	7.354	6.366	6.945	7.364	7.256
三	M	115.79	52.26	76.43	71.12	65.04	63.03	59.81	57.09	55.9	55.47	53.19	46.86	43.28	40.91	39.47	38.23	37.67	36.41	36.56	32.51
	S	11.825	9.9	9.041	9.694	11.913	11.588	12.951	11.642	11.684	11.105	9.032	6.615	5.025	4.853	3.920	5.944	4.993	6.169	4.479	5.111
四	M	117.756	75.733	55.278	46.622	38.867	35.789	33	30.233	28.311	26.811	26.156	25.867	23.578	23.156	22.844	22.578	21.911	21.2	21.233	20.489
	S	13.32	13.8	12.1823	13.016	6.075	5.05	4.006	4.451	5.44	4.976	5.163	4.651	4.631	3.751	4.155	3.566	3.993	3.533	3.583	5.088

附錄九 受測者在恢復期中各種恢復方式的呼吸交換率

恢復方式	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
一	M	1.351	1.314	1.155	1.073	1.028	0.978	0.925	0.9	0.891	0.884	0.864	0.869	0.864	0.857	0.846	0.872	0.863	0.848	0.857	0.854
	S	0.060	0.084	0.058	0.041	0.038	0.028	0.029	0.03	0.017	0.033	0.035	0.031	0.035	0.033	0.036	0.040	0.046	0.046	0.041	0.045
二	M	1.379	1.353	1.215	1.115	1.059	1.005	1.039	1.019	0.976	0.929	0.834	0.831	0.826	0.826	0.842	0.895	0.886	0.838	0.814	0.802
	S	0.075	0.068	0.132	0.123	0.152	0.114	0.096	0.090	0.068	0.068	0.072	0.078	0.062	0.049	0.045	0.044	0.050	0.036	0.036	0.061
三	M	1.337	1.333	1.16	1.067	0.98	0.964	0.921	0.89	0.876	0.869	0.861	0.814	0.809	0.874	0.887	0.841	0.815	0.81	0.808	0.814
	S	0.059	0.064	0.048	0.037	0.050	0.048	0.036	0.036	0.030	0.039	0.028	0.041	0.054	0.037	0.024	0.040	0.037	0.039	0.035	0.037
四	M	1.405	1.736	1.631	1.473	1.267	1.216	1.143	1.074	1.074	1.017	0.976	0.96	0.929	0.90	0.861	0.847	0.838	0.814	0.807	0.803
	S	0.079	0.116	0.109	0.086	0.079	0.077	0.050	0.060	0.078	0.076	0.076	0.080	0.083	0.083	0.089	0.083	0.083	0.083	0.083	0.084