

競技運動訓練 的 理論與方法

阮如鈞 編著



體育出版社 出版

序 言

競技運動訓練的目的，在求人體潛能的極至發揮，而運動選手的競技生命却受到生理年齡的限制，如何善用人體生長發育中適於運動訓練最寶貴的有限時間，使運動的潛能獲得最高發展，誠為競技運動訓練之重點所在。以往驗為基礎的師徒傳授方式，或斯巴達式的訓練方法，已無法滿足現代運動訓練的此種要求，唯有使運動訓練步上科學化的途徑，才能保證以最經濟有效的訓練方法，獲致最大的訓練預期效果，使運動選手有限的競技生命獲得適切的發揮。科學的目的在解釋，預測並控制宇宙的萬事萬物，運動訓練的科學化亦在應用訓練的科學論據，來解釋、預測和控制運動訓練的方法過程和效果。

運動訓練的科學化為提高競技運動成就的必要條件，運動訓練的理論更是科際與系際整合下的結晶，生理學、醫學、生化學、生物物理學及生物力學與對人體活動的研究成果，均提供了運動訓練的科學論據，使運動訓練邁向可解釋、能預測而可控制的科學化歷程。競技運動成就的不斷提升，世界運動紀錄的一再翻新，運動訓練科學化實應居首功，從發掘具有潛能的運動人材，到選手潛能的高度極限發揮，在在都說明運動科學的研究對運動訓練的偉大貢獻，吾人切不可僅注意競技運動成就的表面事實，還應該深入探討造成此事實的科學理論依練，外國優秀選手不可能據為我用為國爭光，但是，外國造就優秀運動選手的科學理論，吾人却可加以精研應用，據以訓練我國無數的競技運動人材，此實為筆者撰寫本書的基本用意。

民國六十六年筆者受教育部選派赴美研習運動訓練六個月，其間除先後在南加州大學及愛我華大學選讀有關運動訓練的課程外，更盡量利用該與大學圖書館的豐富資源，從事有關運動訓練科學研究資料

的蒐集和整理工作，並於民國六十八年及六十九年暑期二次再度赴美。收取最新之訓練研究資料，以使充實本書內容。競技運動訓練的對象為人體，人體活動的生理理論應是運動訓練的基礎，能量供應、肌肉、神經、心肺等系統，以及運動後恢復的生理過程為構成人體活動的生理骨幹，故列入本書最前五章中加以討論。本書第二部份能調運動訓練的特屬性（Specificity），每一位運動選手都是特屬的個體，都有別於其他運動選手；每一競技運動項目亦具各別的特屬性，對力量、耐力、動力、敏捷性、速度、柔軟度、反應能力及神經肌技能等，有其特屬的運動能力要求，將在第六章至第十一章中詳加說明。第十二章至第十四章探討影響競技運動成就的各種因素，包括競技運動員的體型與身體組成，營養與膳食，以及訓練的環境因素等。

運動員為兼具身心與情感的複雜有機體，運動競技的最高表現，心理因素為不可或缺的控制條件，最高水準的運動競技，心理狀態往往為決定勝負成敗的關鍵，目前有關運動心理學的研究日新月異，筆者淺陋未敢冒然擅涉此領域，還祈專攻運動心理學者著書立論供國人參考，本書未列競技運動心理一章還請讀者見諒。本書承體育出版社黃桂芳先生協助出版，內子張清美女士的精神鼓勵、葉瑞龍君抄錄文稿，和諸多同並好友的支持，均此一併致謝。

阮如鈞 識於國立中央大學

民國七十年四月

目 錄

第一章 能量系統與競技運動

一、骨骼肌收縮的直接能源—ATP	1
二、供應ATP的三種代謝系統	3
三、耗氧與產能間的關係	7
四、能量系統與競技運動項目	9
五、熱源營養素與競技運動	12

第二章 肌肉系統與競技運動

一、肌肉的種類與特性	16
二、骨骼肌的構造	17
三、骨骼肌的收縮機轉	20
四、骨骼肌的膜電位	25
五、骨骼肌收縮的種類	28
六、快縮與慢縮動作單位	32
七、肌肉酸痛	40
八、肌肉的各種作用	42
九、動作的力學作用	44

第三章

一、神經原	47
二、神經的接頭處	51
三、人體活動的神經控制	53
四、運動技能模式的建立	56

第四章 心肺系統與競技運動

一、肺的換氣	57
二、氣體的交換	60
三、血液的氣體輸送	64
四、輸送氣體的血流	67
五、氧輸送系統	70

第五章 競技運動後的恢復過程

一、儲於肌肉中磷肌氨酸的再儲存	81
二、帶氧肌紅蛋白的補充	85
三、肌澱粉的再儲存	88
四、肌肉和血液中乳酸的清除	95
五、總結	100

第六章 競技運動的力量訓練

一、力量的意義	101
二、力量的重要性	102
三、力量訓練的基本原則	102
四、力量的訓練方法	106
(一)等張的力量訓練	106
(二)等長的力量訓練	118
(三)等動的力量訓練	121
(四)離中的力量訓練	123
(五)等張、等長和等動力量訓練的比較	124
五、影響力量的各種因素	127
六、力量訓練的生理效果	136

第七章 競技運動的耐力訓練

- 一、耐力的重要性..... 141
- 二、肌耐力的訓練..... 142
- 三、訓練的時屬性..... 143
- 四、心肺耐力訓練的方法與步驟..... 144
- 五、熱身運動與整理運動..... 163
- 六、影響耐力的因素..... 168
- 七、耐力訓練的生理效果..... 173

第八章 競技運動的動力與敏捷性訓練

- 一、動力的意義..... 176
- 二、動力的重要性..... 176
- 三、動力的訓練方法..... 178
- 四、影響動力的因素..... 180
- 五、敏捷性的意義..... 182
- 六、敏捷性的重要性..... 182
- 七、敏捷性的訓練方法..... 183
- 八、影響敏捷性的因素..... 184

第九章 競技運動的速度與反應時間訓練

- 一、速度的意義..... 185
- 二、速度的重要性..... 185
- 三、速度的訓練方法..... 186
- 四、影響速度的因素..... 190
- 五、反應時間的意義..... 192
- 六、反應時間的重要性..... 193

七、反應時間的訓練方法.....	194
八、影響反應時間的因素.....	194

第十章 競技運動的柔軟度訓練

一、柔軟度的意義.....	199
二、柔軟度的重要性.....	200
三、柔軟度的訓練方法.....	201
四、影響柔軟度的因素.....	202

第十一章 神經肌技能的訓練

一、技能的意義.....	206
二、技能的重要性.....	206
三、增進技能的方法.....	207
四、影響技能的因素.....	211

第十二章 競技運動的體型與身體組成

一、體型與身體組成的意義.....	215
二、體型與身體組成的測量.....	217
三、運動訓練對體型及身體組成的影響.....	229
四、身體組成改變的各種機轉.....	233
五、體型及身體組成與運動成就的關係.....	236
六、增加淨體重和減少體脂肪的要點.....	240

第十三章 競技運動的營養與膳食

一、食物與營養素.....	243
二、膳食對運動作業的影響.....	252
三、肌澱粉儲載的方法.....	256

四、脂肪對肌澱粉消耗的助益.....	258
五、賽前餐食.....	259

第四章 競技運動訓練的環境因素

一、體溫的調節.....	264
二、炎熱環境下的運動.....	267
三、運動時的失水現象.....	269
四、熱病的預防.....	270
五、熱病的緊急處理.....	274
六、高地環境.....	275

第一章

能量系統與競技運動

從事各種不同的競技運動項目，有其各別の特定能量需要。高動力（power）的項目，如短距離快跑、跳、擲等，需要在短時間產生大量的能量，供肌肉收縮之用；低動力輸出的項目，如馬拉松、越野賽跑、長距離的游泳及溜冰等，需要在一段相當長的時間內不斷產生能量；而大部份球類項目，則為以上二者的混合，有時需要高動力的能量輸出，而又要長時間低動力的能量供應，此種各別の特定能量要求，因著人體中有三種截然不同的能量供應途徑，而能配合其要求，提供骨骼肌收縮時能量的需要。

本章要討論一些有關能量的基本觀念，說明骨骼肌收縮時的能量供應，能量供應系統與競技運動的關係，以及熱原營養素與競技運動等。

一、骨骼肌收縮的直接能源—ATP

三磷酸腺苷簡稱ATP（為英文Adenosine Triphosphate的縮寫），為肌肉活動時直接可用的化學能量結構，並為最重要的「高能」化合物之一，它儲藏於大部份的細胞中，特別是在肌肉細胞中。除ATP外其他形式的化學能，如由食物中取得而可用的能源，都必須

轉變成 ATP 的形式方能供肌肉細胞收縮之用。

ATP 的化學結構極為複雜，為便於瞭解，可將其簡化如圖 1—1 A 所示。

由圖中可以看出，ATP 包含一個稱為腺苷酸的大分子複合體及三個較簡單的磷酸群，最後二個磷酸群代表著「高能鍵」，易言之，

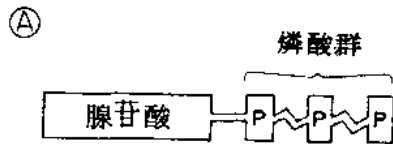


圖 1—1 A. ATP 分子

它們儲有高度的化學能量，當末端的磷酸鍵分解時，即釋出能量供細胞作功之用（如圖 1—1 B），細胞作功的方式，視細胞的種類而定，如肌肉細胞表現於機械的作功而起收縮，神經細胞產生神經傳導，分泌細胞從事分泌等，任何細胞的所有生物的作功，均需要從 ATP 的分解，來產生直接能量的供應。每一克分子量 ATP 分解時，約釋放 7~12 千卡 (K Cal) 的能量，一克分子量為一定量某化合物的重量，其重量則視構成此化合物之原子的數量和種類而定^①。

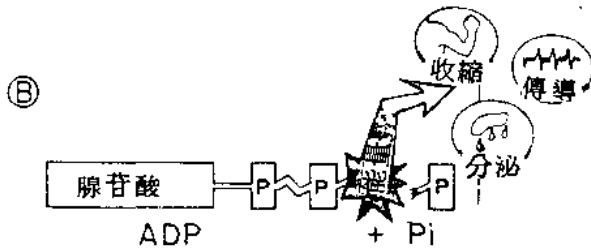


圖 1—1 B. ATP 分解

因為 ATP 分解時釋出能量，故而要重組或再綜合 ATP 時，也需要能量，綜合 ATP 的建構物，即為 ATP 分解後的副產物二磷酸

① 參閱 楊寶旺、陳敦禮及辛淑岑編 大學化學 中央圖書出版社 民國六十五年元月三版 頁 20-21 解釋

腺苷(ADP)和無機磷酸(Pi),而再綜合ATP的能量則來自體內三種不同的連鎖化學反應,其中二種要依賴我們所吃的食物,另一種要依賴被稱為磷酸肌素(PC)的化合物(如圖1-1C),此三種中任何一種的連鎖反應所釋出的能量,均與再綜合ATP時所需要的能量有連結,也就是說,各自分開的化學反應,在功能上是相連結的,其一種反應所釋出的能量常為另一種化學反應所需要,生化學家稱此種功能上的連鎖為連結反應(coupled reaction),此種連結作用為ATP新陳代謝的基本原則。



圖1-1C. 由連結反應合成ATP

二、供應ATP的三種代謝系統

代謝一詞係指體內發生的各種一連串化學反應過程,此種過程有的需要氧的存在,稱為有氧的(aerobic),有的係在無氧下進行,稱為乏氧的(anaerobic),供應ATP有三種代謝系統,其中ATP-PC系統及乳酸系統二種為乏氧的代謝,另一種則為有氧的代謝。

(一)ATP-PC系統

ATP-PC系統又稱磷肌氨酸系統(phosphagen system)。PC為磷酸肌素(Phosphocreatine)的簡稱,為高能量磷酸化合物的一種,與ATP非常接近,例如PC像ATP一樣,儲藏於肌肉細胞之中,當其分解時必釋出大量的能量,而其所釋出的能量與再綜合

ATP所需要的能量作連結反應，（如圖1—2所示）。換言之，即當肌肉收縮ATP被分解時，儲存在肌肉中PC的分解所釋出的能量，使ADP和無機磷酸再綜合成ATP，每一克分子PC的分解，能再綜合一克分子量的ATP。

ATP和PC合稱為磷肌氨酸，肌肉中所儲存的磷肌氨酸總量非常少，男子約有0.6克分子量，女子約有0.3克分子量，因此透過此系統所提供的能量很有限。事實上，如果以最快速度跑100公尺，在跑達終點時，活動肌肉中所儲存的磷肌氨酸幾已用盡，但是ATP—PC系統的用處，在快速提供即時可用的能量，此點對從事各種競技

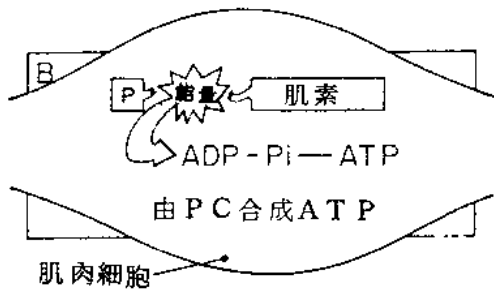
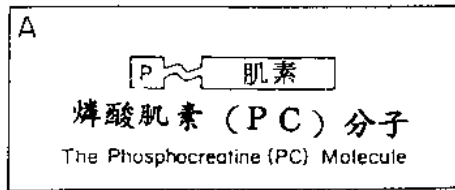


圖1—2. ATP—PC系統

運動的表現上極為重要，例如衝刺快跑、跳、擲、踢和各種只須數秒鐘時間來完成的技能，完全要依賴儲存的磷肌氨酸來作為活動的主要能源。

(二) 乳酸系統

乳酸系統又稱為乏氧的糖分解（anaerobic glycolysis），此系統中糖分解所產生的能量，使ATP得以生成（如圖1—3），當糖僅部份被分解時，其副產物之一即為乳酸，此所以稱為乳酸系統之故。當乳酸在肌肉和血液中聚集到某一相當程度時，即造成暫時的肌肉

疲勞，並且乳酸系統與乏氧的程度有關，在乏氧分解時僅使極少的ATP再合成，有氧的存在時則不然，例如180克肌澱粉（肌澱粉為肌肉中所儲存葡萄糖或糖的形式）的乏氧分解，僅能生成三克分子量的ATP，而在有氧分解時，其產生的能量足以再合成三十九克分子量的ATP。

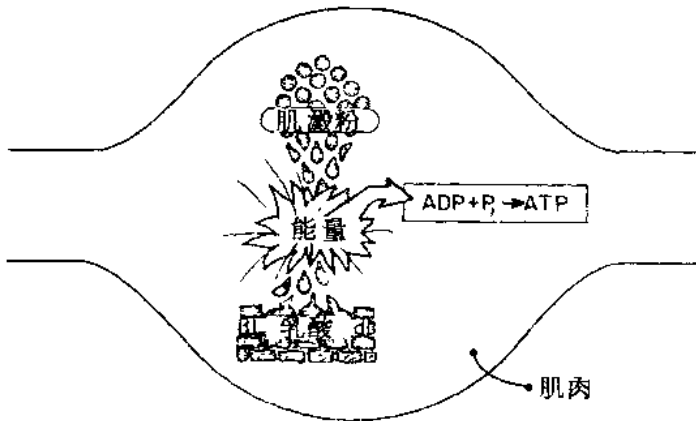


圖 1—3. 乳酸系統—乏氧糖分解

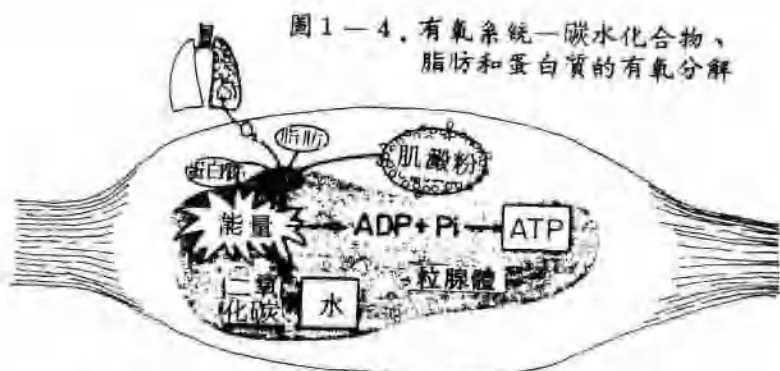
正如ATP—PC系統一樣，乳酸系統對競技運動也極為重要，因為它也能很快提供ATP能量，例如從事一分鐘至三分鐘最大速率的運動，像400公尺或800公尺競賽時，大部份要依賴乳酸系統來提供ATP能量，而像1500公尺或3000公尺的競賽中，乳酸系統主要用於競賽的最後一段衝刺。

(三) 有氧系統

前曾提及，有氧存在時，180克肌澱粉完全分解為二氧化碳和水的同時，能產生足夠的能量製造三十九克分子量的ATP，此項有氧的化學連結反應，如乏氧的化學反應一樣，係在肌肉細胞中進行，但僅限於在細胞的粒腺體（mitochondria）中，粒腺體為鞋底狀的細胞小體，因其為有氧時的ATP製造所，故常被稱為細胞的「發電廠」。

」，而肌肉細胞中有豐富的粒腺體存在。

A T P 的有氧合成如圖 1—4 所示，有氧代謝除能產生大量的 A T P 外，並且不會形成疲勞物質，而二氧化碳的產生，能從肌肉中彌散至血液，然後被送至肺部排出體外，所產生的水則留用於細胞，因為細胞的最大成分也是水。



有氧系統的另一特性與分解食物的種類有關，因為不僅肌澱粉能作有氧分解產生二氧化碳和水，並釋出能量形成 A T P，而且脂肪和蛋白質也能作有氧分解來生成 A T P，例如 256 克脂肪分解，能產生 130 克分子量的 A T P。運動時澱粉和脂肪均為生成 A T P 能量的主要來源，蛋白質則很少作為運動能量的來源^②。

要生成一克分子量的 A T P，如以肌澱粉為燃料，需要從空氣中消耗 3.5 立升的氧，而脂肪則需要 4.0 立升。在安靜狀態下，我們每分鐘約消耗 0.2 ~ 0.3 立升氧，換言之，安靜狀態下每 12 ~ 20 分鐘，能以有氧的過程產生一克分子量的 A T P。在盡全力運動時，大部份的人每分鐘能以有氧的方式提供一克分子量 A T P 給作功的肌肉，而受過高度訓練的運動員，在盡全力運動時，每分鐘能以有氧方式提供

② 阮如鈞 熱源營養素與運動成就 輔大體苑 第十二期 民國六十三年六月。

1.5克分子量以上的ATP給肌肉。總之，有氧系統能利用肌澱粉和脂肪來產生大量的ATP，並且不會產生致疲勞物質。有氧系統特別適合於長時間耐力型的競技運動項目的ATP供應，例如馬拉松賽跑，在二個多小時的競賽中，約需要150克分子量的ATP，如此大量ATP能量輸出的維持，只有在避免疲勞提前產生時，而能有大量燃料（肌澱粉和脂肪）和充足氧的供應下才能完成。

表 1-1 三種能量系統的一般特性之歸類比較⁽³⁾

	ATP—PC系統	乳酸系統	有氧系統
一	乏氧的	乏氧的	有氧的
二	提供能量很快	提供能量快	提供能量慢
三	化學燃料：PC	食物燃料：肌澱粉	食物燃料：肌澱粉、脂肪及蛋白質
四	產生很有限ATP	產生有限ATP	產生無限ATP
五	肌肉的儲存有限	能產生肌疲勞的乳酸	無致疲勞副產物產生
六	用於任何高動力、短時間的競技運動	用於1~3分鐘的競技運動	用於耐力或長時間的競技運動

三、耗氧與產能間的關係

前曾提及有氧能量系統產生ATP能量的耗氧情形，還涉及一些從事競技運動時的氧消耗與能量的產生。以下要對氧的消耗，能量的產生以及能量的支出作進一步討論。

(一) 氧消耗量

用以分解碳水化合物和脂肪所需的氧，取自我們呼吸的空氣，任何碳水化合物和脂肪的分解，均需要一定量的氧，例如要分解180克

(3) Fox, E. L., and D. Mathews, *Interval Training: Conditioning for sports and general Fitness*, Philadelphia, W. B. Saunders Company, 1974.

的肌澱粉，需要 192 克的氧，如以容積計算，則需要 134.4 立升氧來氧化 180 克肌澱粉，而典型的脂肪和軟脂酸（palmitic acid），則需要 515.2 立升的氧來氧化 256 克的脂肪。

分解食物的氧消耗量，當然與人體消耗的全部氧量有關，安靜時的氧消耗量，每分鐘約為 0.2 ~ 0.3 立升，最大出力運動時，每分鐘氧消耗量增加到 3 ~ 6 立升，這要視運動者性別、年齡和身體情況而定。每分鐘氧消耗量以 $\dot{V}O_2$ 代表，V 表示容積， O_2 代表氧，V 上方的一點代表單位時間，通常為每分鐘。運動時每分鐘最大氧消耗量以 $\dot{V}O_{2\max}$ 或 $\dot{V}O_{2\max}$ 代表， $\dot{V}O_{2\max}$ 為有氧能量系統其功能大小的一種最有效測定法。

(二) 能量的產生

當一定的氧分解一定量的肌澱粉或脂肪時，就釋出一定量的能量，例如當 134.4 立升的氧，氧化 180 克肌澱粉時，就釋出 686 千卡的能量，其中有半數化為 ATP 能量，其餘則變成熱儲於體內或散發到空氣中。當 ATP 分解時，一部份能量被細胞用於生物體的工作，其餘的能量也變成熱儲於體內或消散於體外。

定量的氧分解一定量的肌澱粉或脂肪時，到底釋出了多少能量，可以從產生的熱量或所消耗的氧量加以計算，其中以消耗氧量的多少，來計算產能的多少較為方便，故而常用此方法來測定產能的量。當一立升氧用於氧化肌澱粉時，可釋出 5 千卡的能量，而每立升氧用以氧化脂肪時，僅產生 4.7 千卡的熱能，在人體中氧消耗量與熱能量的產生間，有一直接的關係。

(三) 能產的支出

能量的支出與從事一活動時所需的能量多少有關，能量支出的計算，一般係由從事一特定活動時，所消耗量的多少來測定或估計，例如跑步時每公斤體重每一公尺約消耗 0.2 毫升的氧，因此假設一體重 70 公斤者，跑 1500 公尺，其消耗的氧量約為： $0.2 \times 70 \times 1500$

= 21 (立升) , 如果再假設其主要的能源物質為肌澱粉, 則 21 立升的氧, 表示有 $21 \times 5 = 105$ (千卡) 的能量被用於跑 1500 公尺。各種不同競技運動或任何活動所消耗的能量, 通常以千卡表示, 一體重 70 公斤者在安靜時, 每小時能量的支出, 約為 60 ~ 85 千卡。

四、能量系統與競技運動項目

競技運動項目繁多, 無法一一提出與能量系統分別討論, 因此要用活動的作業時間 (performance time) 作為討論的基礎, 所謂作業時間係指從事一技能和完成一競賽活動所需的時間而言, 例如籃球競賽活動包括上下半時各二十分鐘, 完成四十分鐘的競技運動, 其所需的能量當然涉及有氧能量系統, 但是籃球競賽中, 需要急跑、跳躍、投射、長傳等技能, 此等技能均為短時間高强度的動作, 因此籃球競賽本身雖然長達四十分鐘, 但籃球賽中所從事的技能却大多屬於乏氧的, 故而籃球競賽活動不僅是有氧的, 同時也是乏氧的。還有如排球、足球、橄欖球、棒球、網球、高爾夫、曲棍球及柔道摔角等, 均與籃球相類似。

田徑、游泳、自由車、划船和速度溜冰等, 其作業時間大部份與其競技項目的完成時間相等, 例如田徑 1500 公尺的優秀選手, 其競賽時間在 4 ~ 5 分鐘之間, 而游泳 400 公尺自由式的優秀選手, 其競賽時間亦在 4 ~ 5 分鐘之間, 故其在能量系統上看, 其作業時間相近, 其能量的消耗也相似。再如田徑 800 公尺項目, 游泳的 200 公尺及速度溜冰的 1500 公尺, 其作業時間均相近似 (如圖 1-5 所示)。

三種能量系統提供 ATP 的百分比, 與作業時間有關, 作業時間愈短, 其動力的輸出愈大, 且其能量的需求愈快 (如圖 1-6 所示)⁽⁴⁾

(4) 資料取自 Fox, E. L., S. Robinson, and D. L. Wiegman. *Metabolic energy sources during continuous and interval running.* *J. Appl. physiol.*, 27:174-178, 1969.