

運動生理學

—訓練的科學基礎—

Dr. Mathews & Fox 著

林正常譯

增 訂 版

健行文化出版事業有限公司發行

版權所有 • 翻印必究

中華民國七十二年十月修訂再版

運動生理學

——訓練的科學基礎——

定價：肆佰元正

原著者 Mathews & FOX
翻譯者 林 正 常
發行人 鄭 煥 韜
發行所 健行文化出版事業有限公司

台北市昆明街160巷1號5樓
電話：3 1 1 9 8 0 0

郵政劃撥 112263

印刷排版 佳音印刷打字有限公司
臺北市金山南路二段159巷15號
電話：3911565 • 3933505

本公司出版登記號碼：局版臺業字第1742號

目 次

導 論	1
第一篇 肌收縮的能量學	7
第一章 能量來源	7
一、能量的定義	7
二、生物學的能量循環	8
三、腺嘌呤核苷三磷酸 (A T P)	9
四、A T P 的來源	10
五、安靜和運動時的有氧與無氧路徑	20
六、摘 要	27
第二章 運動後恢復期	29
一、氧 債	29
二、摘 要	38
第三章 能量、功、動力 (Energy, Work, Power)	40
一、能 量	40
二、功	41
三、動 力	42
四、摘 要	68
第二篇 神經肌的概念	69
第四章 肌肉活動的神經控制	69
一、引 言	69
二、感覺受納器	70
三、反射弧	71

2 運動生理學

四、神經間的突觸	72
五、神經肌接點的活動	76
六、本體感受器	78
七、神經系統與運動技巧	84
八、摘 要	92
第五章 骨骼肌的構造和功能	94
一、整個的構造和功能	94
二、顯微構造—收縮的基礎	105
三、摘 要	115
第六章 肌力、肌耐力和柔軟性	117
一、肌肉收縮的力學	117
二、重量訓練計劃	128
三、柔軟性	146
四、結 論	154
第三篇 呼吸循環系統的概念	156
第七章 肺換氣	156
一、每分換氣量	156
二、換氣的機轉	165
三、結 論	174
第八章 氣體的交換和輸送	175
一、氣體交換（擴散）	175
二、氣體的輸送	182
三、血液之輸送氧	183
四、血液之輸送二氧化碳	189
五、摘 要	193

第九章 血流和氣體的概念·····	194
一、血液的變化·····	194
二、循環的機轉；血液動力學·····	206
三、摘 要·····	211
第十章 呼吸循環的控制·····	213
一、呼吸循環系統的概要·····	213
二、呼吸和循環中樞·····	215
三、安靜和運動時的呼吸循環的控制·····	220
四、摘 要·····	223
第四篇 訓練及其效果·····	225
第十一章 間歇訓練和其他體能訓練方法·····	225
一、一般的注意事項·····	225
二、間歇訓練·····	233
三、其他體能訓練的方法·····	252
四、摘 要·····	257
第十二章 訓練的生理學·····	259
一、訓練的效果·····	259
二、影響訓練效果的因素·····	283
三、摘 要·····	298
第五篇 環境的概念·····	301
第十三章 擴散、滲透和溺水·····	301
一、細 胞·····	301
二、溺水的生理·····	308
三、摘 要·····	312
第十四章 運動和酸鹼平衡·····	314

4 運動生理學

一、酸和鹼	314
二、呼吸的調整	316
三、腎和酸鹼平衡	317
四、激烈運動時的酸鹼平衡	319
五、摘要	320
第十五章 水肺和高地的運動成績	321
一、壓力和溫度變化對氣體容積的影響	321
二、水肺的物理和生理學原理	323
三、高地與運動成績	331
四、摘要	342
第十六章 熱平衡：運動員熱病的預防	342
一、熱平衡	347
二、體溫的調節	350
三、熱環境下運動與熱病的發生	354
四、運動員的熱病	358
五、熱病的預防	362
六、冷	371
七、摘要	372
第十七章 營養、運動和肥胖	373
一、活動的能量平衡和消耗	373
二、養料	378
三、食物的需要量	381
四、肥胖症	392
五、摘要	394
第十八章 體型和體脂肪	396

一、體型	396
二、體脂肪	405
三、摔角選手體重的調整	414
四、摘要	419
第七篇 其他有關問題的認識	421
第十九章 成績的強化	421
一、研究設計上的問題	421
二、類固醇	423
三、安非他命	424
四、血液的強化	424
五、天門冬氨酸鹽	425
六、氧	425
七、維他命E	426
八、摘要	427
第二十章 女性的運動和訓練	429
一、運動記錄	429
二、身體大小和組成	431
三、能量系統	436
四、肌力	445
五、身體的可訓練性	454
六、婦產科的問題	461
七、摘要	466
第二十一章 測驗和測量	469
一、體重	469
二、溫度和相對濕度	472

6 運動生理學

三、動力測驗.....	480
四、最大有氧動力測驗.....	485
五、摘 要.....	494
附錄A 肺的符號和常模.....	496
附錄B 氣體的定律.....	501
附錄C 耗氧量和二氧化碳產生量的計算.....	508
附錄D	513
附錄E	521
名詞解釋.....	528
單位換算.....	551
增補部份.....	553

導 論

今日，科學（science）對成功的體育指導和運動訓練計劃的重要性更甚於以前的任何時代。過去二十年來，運動生理的實驗室一再地增加。結果，訓練和發展體能有關的科學論文相繼出現。

在此科學的領域中，譬如，1954年美國運動醫學院（American College of Sports Medicine）的成立，即是一例。此學院的成員包括生理學家、醫生、體育教師和教練等。此組織一年開會一次，其發表之論文包括運動科學之所有範圍。此學院發行有「Medicine and Science in Sports」雜誌，論文主題含蓋整個運動科學領域。

美國醫學協會（American Medical Association）也在1959年成立運動醫學委員會（The Committee on the Medical Aspects of Sports），此團體出版維護運動員健康有關之論文，也舉辦教練、訓練員和醫生的講習會。

欲在體育和運動界貢獻出自己的力量，必須瞭解有關的科學知識，目的不僅僅在於造就傑出的代表隊或更佳體能計劃，也同時在於維持我們選手的健康，因為這是我們的主要責任！同時瞭解為何要選擇某特殊的訓練計劃，使自己成為此一行業的成員，而不僅僅是一個專門技師。

本書中之各章，我們已盡力地刪除一些較為專精的生理學部分，而儘量搜羅一些馬上可以應用到體育館和運動場上的內容。換句話說，本書是為各位讀者而不是為你們的教授而寫的。

本章將概述書中各章之內容，以便各位瞭解其中之大要。請問您，在體育與運動領域中，有那一專有名詞可適切解釋體育及運動

2 運動生理學

各種現象的名稱？我們以爲此名詞應以能（energy）最適宜，因此，將之列於第一章。

有了能的釋放，一塊肌肉才能收縮。儲藏能量被消耗的方式，主要決定於活動者的體能和所從事活動之內容。藉著訓練計劃可顯著的增強你的能力，換句話說，你可修正或增加儲藏的能量。設計訓練計劃時，需要瞭解所進行活動的能量消耗和能量補充有關的知識。

食物是人的間接能源。在體內，它進行著相當複雜的化學反應，但在此，我們將僅提及一些與直接能量來源有關的化學和代謝的路徑，我們以程式和數字來敘述這些路徑。研究這些程式之後，將有助於對某訓練表提出有效的判斷，尤其你將曉得能產生最大能量的食物。

這些是瞭解第一章與能量有關之知識的一些重要理由，我們也可能在此後的每一章中提到能量，事實上也是如此，在體育與運動上，無時無刻不牽涉到此。

在活動中，儲藏的能量逐漸消耗，結果產生疲勞。第二章中，我們將提出一些諸如運動後恢復期的非乳酸性氧債和乳酸性氧債等之重要代謝問題。這些氧債使身體再恢復它的能量系統。

第三章中，我們將說明運動生理實驗室中如何測定能量。瞭解從事某活動所耗能量後，我們可以用功（work）或動力（power）的單位來表示我們的活動（譬如，我們想說明某一段時間內的作功能量時）。第三章的內容，也將使你具備判斷運動強度的能力，同時給你一些間接測量耗氧量的基本方法，而其值也可正確地表示出某種活動的能量需要。我們還要提出運動員跑一哩或美國NASA太空中心用以間接測量太空人在太空漫步時消耗能量的方法。

所有的動作均賴肌肉收縮而來。如果教練熟知了肌肉活動的神經控制，對於技巧性的訓練當可獲益。更重要的是第四章中也讓體育教

師們對學生們開始學習跑、跳和擲等活動時的基本的神經肌過程有進一步的認識。

瞭解了神經和肌肉聯合作業產生動作的方式之後，應進一步地瞭解骨骼肌的解剖組織。因此，第五章中也包括了肌肉的結構和功能。

什麼是發展肌力的最佳途徑？譬如什麼裝備最適合我們的學校？到底是 Nautilus 之類等力性訓練器、啞鈴或迷你器材(Mimi Gym)呢？是否等長運動優於等張的訓練呢？新名詞等力性收縮(isokinetic contraction)到底是什麼呢？在第六章中將討論這些問題：包括柔軟性及其和運動能力的相關，槓桿的定義和範例，以及以漸增阻力原則來實施重量訓練計劃的有關建議。

換氣(氣體之進出肺)主要決定於活動量。在安靜時，每分鐘的換氣量大約在5~6 l 間；運動時，可能高達170l！第七章協助我們瞭解安靜與運動時肺換氣的生理和其力學知識。

第八章主要內容為氧進入體內以製造ATP和代謝產物CO₂的排除。運動和訓練可能改善O₂和CO₂的交換系統，而瞭解這些系統如何地發生變化對教練和運動員也相當重要。

正如氣體交換可因訓練而發生變化一樣，血流和氣體輸送機轉也受影響。第九章中提出了一些心輸出量、血流分佈和血流動力等有關的知識。

人透過大腦中的呼吸和循環中樞之聯合作業，以調整人體的肺換氣和血流。心跳率、每跳心輸出量、各器官的血流分配和靜脈回流等重要的循環效果，我們將在第十章循環的控制中提出報告。

第十一章中的間歇訓練原理對大家也是相當重要的。它對田徑、游泳、籃球或低體能者的體能訓練皆相當重要。此外，尚包括其他的體能訓練方法：衝刺訓練、連續慢跑和快跑訓練、反覆訓練等。但是

4 運動生理學

有一件事必須弄清楚的是，不瞭解第一章的內容，將難於瞭解第十一章所提的利益。

運動訓練後發生了一些人體測量與生理學上的變化，包括體脂肪消失、肌力增加；從事輕負荷活動時的耗氧量減少、動作更有效率；中等活動中心跳率下降，活動後血壓更快恢復等。此外，訓練過的人有氧與無氧的能力皆較未訓練者優秀。有關這些和其他訓練的影響詳述於第十二章中。

第十三章敘述滲透、擴散和溺水。雖然此主題好像與我們沒有直接相關，但事實上，生命是由細胞維持的，分子如何進出細胞之知識有助於我們了解運動生理學，大家可能瞭解接二連三地發生溺水之事件。因此，你最好具備急救過程有關的知識。

第十三章中，最主要包括水和電解質的平衡，以及運動員賽前嚴重脫水的禍害，體液中之酸鹼平衡微妙地調整着，激烈運動中，由於乳酸的形成，此平衡暫時破壞，體液變成酸性，我們將學習身體如何地透過肺換氣和腎功能來維持中性的酸鹼度。

探險似乎是人類非常自然的天性。第十五世紀哥倫布即因而出盡風頭。現在，我們看到有關太空人揭穿太空中的秘密和以 aquanauts 來探測海洋深度的探險事蹟。一旦人們離開自己習慣居住的環境，身體和生理學知識將面臨考驗，而必須保證安全和最高成績之表現。第十五章中，我們將研究人在海中和在高地上的一些問題。如此，你可指點帶潛水器（scuba）的潛水者，同時，認識運動員在山地比賽（超過 5000 呎）時所面臨的一些問題。

在足球場上的死亡事件中，25 % 的人的死亡當歸因於缺乏熱平衡有關之知識。第十六章之內容將協助我們來避免運動員水與鹽分（電解質）的失衡。如果發生不平衡現象，將顯著地削減隊中的實力，

中暑的危險將隨之增加。

你將了解欲在熱環境中適應環境和增加工作效率並非難事。我們將討論個人如何地協助散熱以及防止受凍的有關知識。

運動員必須營養夠才能有最佳表現。第十七章中不僅協助大家適當的飲食，也提出參加比賽前、中和比賽後的攝食上的建議，本章中，你將可發現耐力項目運動員增加肝醣的攝食方法，此外，尚包含肥胖的定義以及解決此問題的一些建議。

運動成績和人的體型有關。足球員肌肉多（中皮層），體操和滑雪選手較瘦（外皮層）。第十八章中說明兩種評價體型之法，此外，尚包括量皮脂厚和其他人體測量的方法。而計算淨體重和高中摔角選手最小體重的預測乃為本章之精華所在。

有時候，教練常想在體能與技術訓練之餘，找尋增加運動成績之道。這些強化效果之事或物包括音樂、叫喊、鼓勵、催眠等心理之協助等，有時候甚至使用藥物以求改善成績。第十九章中，你將得到一些有關輸血、安非他明的使用、吸氧和使用其他類固醇等的有關知識。

今日，女性運動員人數正逐漸增加中。二十章，提供女子運動和訓練上最廣泛的資料。資料包括體型、身體組成、能量系統、肌力和運動記錄之男女比較。本章有關之資料所參考之文獻超過七十篇，是本書精華之一。

最後，第二十一章列舉了一些本書各章中資料的測驗和測量法，這些資料將有助於進一步地瞭解各章之內容。譬如：體重測量對運動員的健康狀況非常重要。我們也將說明運動員增減體重的原則，瞭解溫度、濕度、太陽輻射的方法，可使我們瞭解怎樣的環境條件可能影響運動成績。動力對運動成績也很重要，我們也列出了幾種測量方法

6 運動生理學

。最後所提的則是最重要的最大耗氧量的測量方法。

本書之末尚包括五種附錄。附錄 A 是國內外生理學家所使用的符號和縮寫，提出一些呼吸方面的安靜測量值。附錄 B 討論到一些氣體定律及其在運動生理學上的應用。附錄 C 說明氧的消耗和二氧化碳產生量的測量法。附錄 D 則為基本的重量訓練計劃。附錄 E 為大學男女生間歇訓練例，其方式是由 Ohio 州立大學的研究演化出來的。

第一篇 肌收縮的能量學

第一章 能量來源

本章的主要內容在於①能量出於何處②能量如何使用，以求體育教師、教練能將此知識應用於體育館（gym）運動場（athletic field），或許本章最重要的資料（information）可利用來作為運動員訓練和體能訓練（conditioning programs）的科學基礎。譬如：短跑的訓練為何必須異於長跑；為什麼有些項目的疲勞會延遲出現？我們的主要主題是能量來源（energy sources）。

本章的內容將使你能夠進一步的瞭解運動訓練計劃的編排法及所謂高能食物（high energy foods）的攝取有關之知識。這是我們有必要瞭解和研究能量來源或體育的生物能量學（bioenergetics of physical education）的理由。

一、能量的定義

或許我們之間有人對能本身有某些概念。一些普通字，如動力（power）、作用力（force）、肌力（strength）、精力（vigor）、移動（movement）、生命（life）及精神（spirit）多多少少具有能的概念，但這些名詞都沒有令人滿意的完整概念。它們沒有科學量化（scientific quantitation）。因此，科學家將energy定義為“作功的能量 capacity to perform work”，功（work）則為

移動物體某距離的力量 (the application of a force through a distance)，因此，能與功是不可分開的。第三章將說明能與功之關係。

能有六種形：①化學能 (chemical) ②機械能 (mechanical) ③熱能 (heat) ④光能 (light) ⑤電能 (electrical) ⑥核子能 (nuclear)。每一種可變換成另一種，這種能的轉換 (transformation of energy)，尤其在生物體進行的能的轉移，這是非常具有吸引力的過程。尤其在人類動作上，我們將特別注意化學能轉變為機械能 (藉此在人體內將食物變轉成化學能)。

二、生物學的能量循環

太陽系 (solar system) 的所有能量源於太陽。太陽能是從何處來？太陽能實際上來自核能 (nuclear energy)，一些核能以陽光或光之形式到達地面。地球上的百萬綠色植物從太陽光中儲存一些能量——化學能。反過來，化學能被綠色植物利用 CO_2 和 H_2O 來製成諸如葡萄糖 (glucose)、纖維素 (cellulose)、蛋白質 (proteins)，和脂質 (lipids)。這種綠色植物製造食物的過程，稱為光合作用 (photosynthesis)，人類無法行之，必須吃植物和其他動物，因此我們直接仰賴植物為生，而最終 (間接) 仰賴了太陽來做為能源。

食物經過呼吸 (respiration) 過程，藉氧來分解成 CO_2 及 H_2O 而釋出化學能。呼吸的最後目標是供給執行諸如生長的化學功和肌收縮的機械功之類的化學過程中所需的能量。此整個過程稱為生物學的能量循環 (biological energy cycle) (圖 1 ~ 1)。

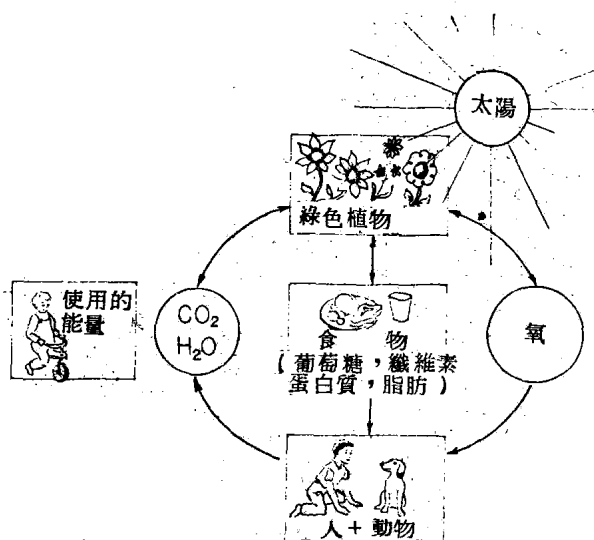


圖 1-1 生物的能量循環。來自太陽光的能量，被植物用來由 CO_2 和水製成食物分子，而後釋出氧，植物和動物再利用氧來分解食物，以獲得維持生命之能量。

三、腺嘌呤核苷三磷酸 (ATP)

我們已知能出自何處，且人是由食物中獲取。下一問題應來了解能 (energy) 如何來執行工作，做肌收縮的機械工作。由食物分解過程中所釋放出的能量，並不直接用於作功，而是被用來製造化學成分，稱為腺嘌呤核苷三磷酸 (adenosine triphosphate) 簡稱 ATP (存於肌細胞中)。此成分之分解才能從事特殊的功。

ATP 由一個非常複雜成分 adenosine 及三個較不複雜的磷團 (phosphate groups) 組成，就我們學體育的人來講，它的化學重要性在於磷團。圖 1~2 A 是 ATP 的簡化的結構，兩端磷群的鍵 (bonds)