

運動代謝

黃三峰

大綱

- * 安靜到運動時轉變
- * 代謝反應
- * 運動持續時間與強度
- * 短時間高強度運動
- * 長時間運動
- * 短時間運動
- * 燃料的選擇
- * 身體燃料來源



名詞

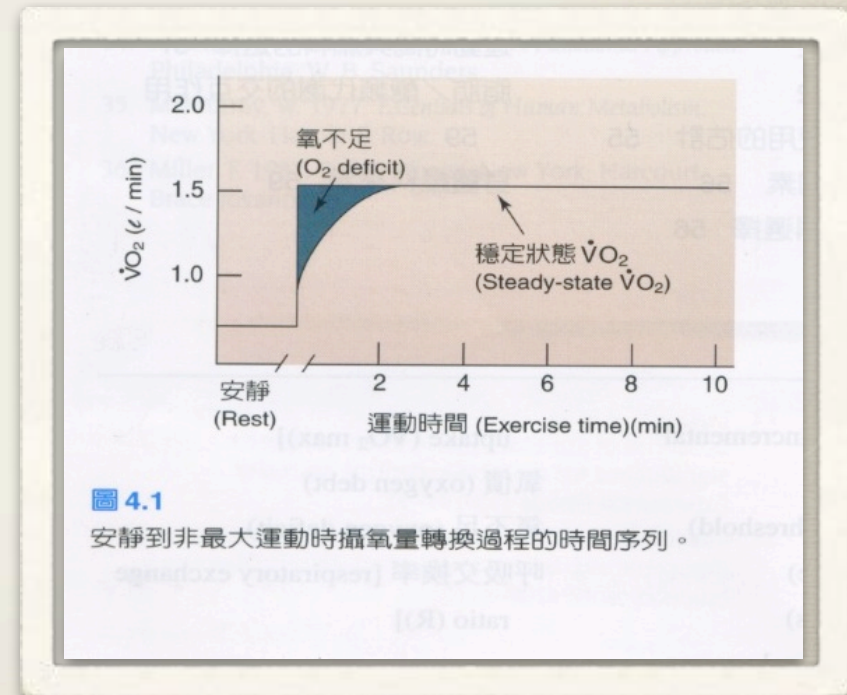
- * 無氧閾值 (anaerobic threshold)
- * 運動後過耗氧量 (EPOC)
- * 醣質新生 (gluconeogenesis)
- * 乳酸閾值 (lactate threshold)
- * 最大攝氧量 (maximal oxygen uptake , $\dot{V}O_2$ Max)
- * 氧債 (oxygen debt)
- * 呼吸交換率 (respiratory exchange ratio , R)

安靜到運動的轉變

- * **ATP的產生**決定運動是否繼續。
 - * 例如跑步時的重心轉移而產生的跌倒。
- * 能量的使用
 - * ATP-PC系統、醣解系統、有氧系統
- * 三種能量系統**交集**使用。

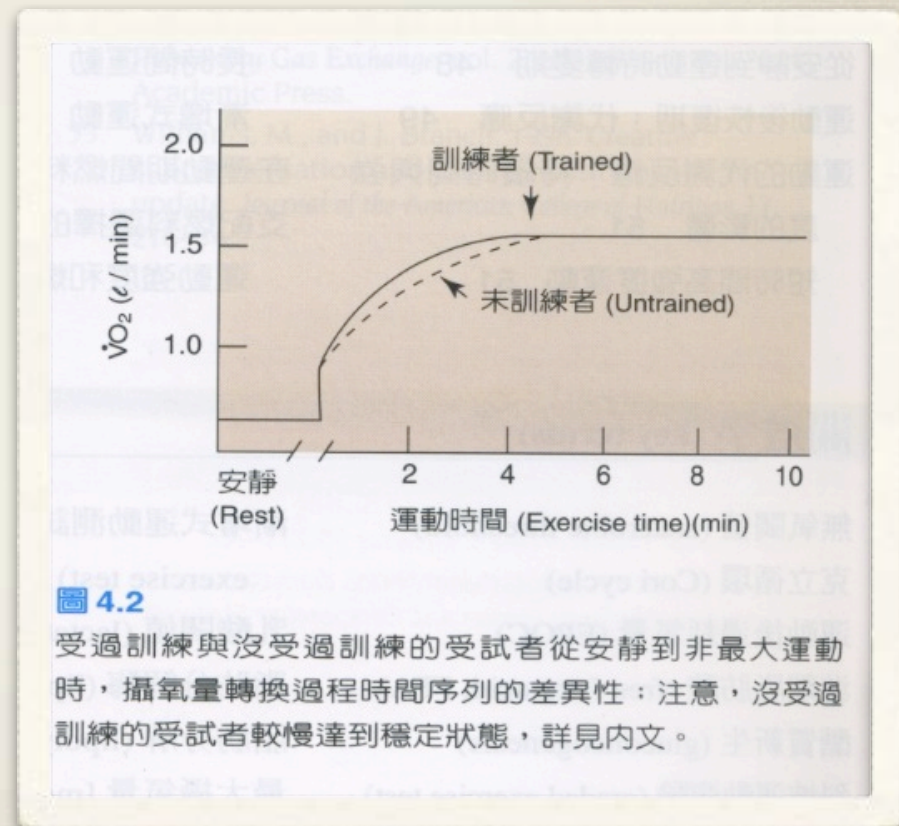
氧不足

- * 耗氧量的快速增加
- * 輕度運動耗氧量會在1~4分鐘穩定。
- * 氧不足：運動開始時氧攝取的延遲。
- * 氧不足被定義：運動初期氧攝取與達到穩定狀態的氧攝取量不同。



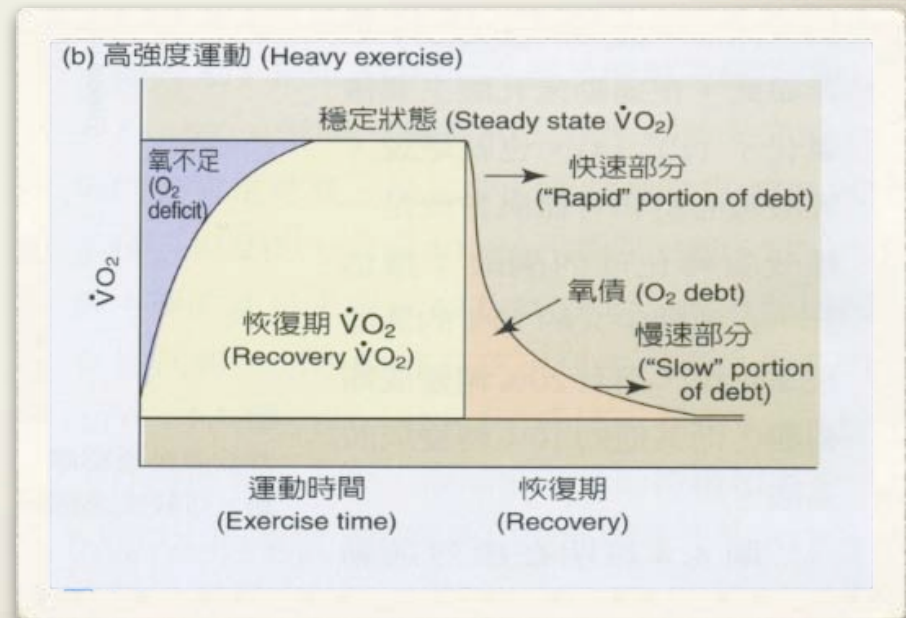
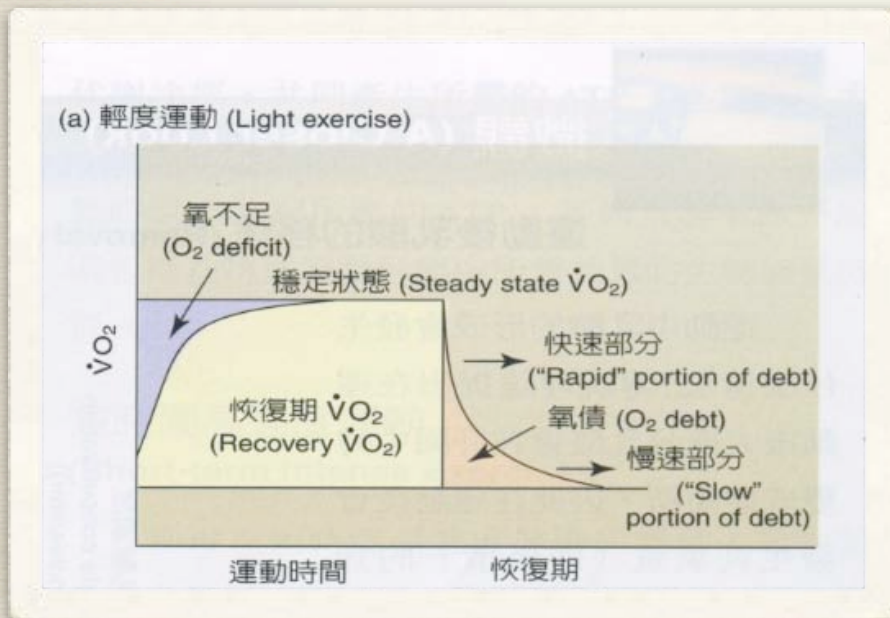
氧不足

- * 受過訓練與非訓練者，從安靜到非最大運動時，攝氧量轉換過程序列的差異，如右圖。
- * 運動**初期**由**無氧路徑**提供所有ATP，**穩定狀態**後，**有氧系統**提供。



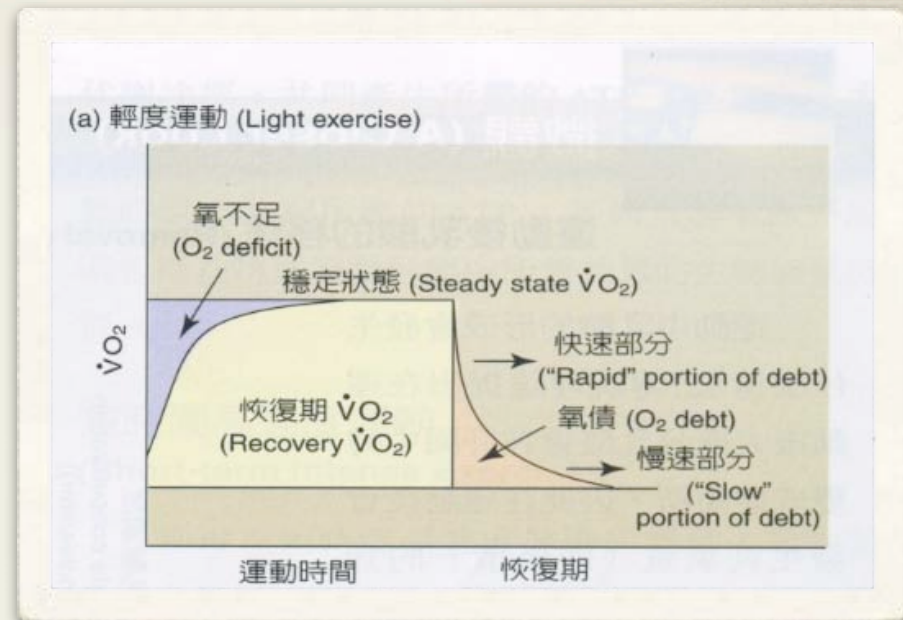
運動恢復期：代謝反應

* 高強度運動後恢復期，氧攝取量比輕度運動的恢復期高且長。



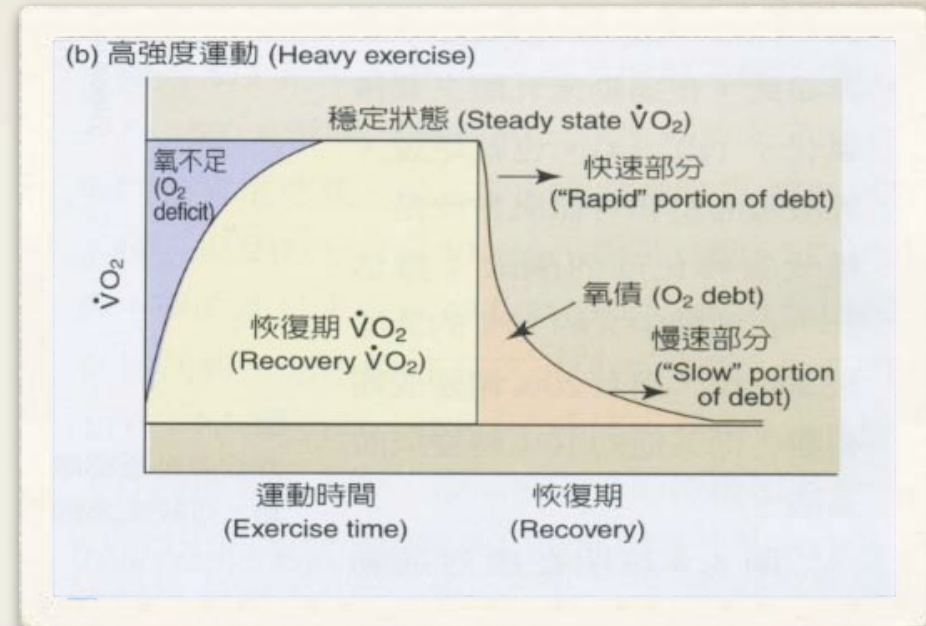
氧債 Oxygen debt

- * 由 Hill 和歐美學者提出。
- * 定義：運動後攝氧量高於安靜時攝氧量的部份。



氧債 Oxygen debt

- * 氧在的二個部分
 - * 快速部分（大約2~3分鐘），較慢部分（持續30分鐘以上）
- * 快速：ATP-PC在合成，肌肉組織氧的儲存，20%。
- * 較慢：肝臟中乳酸轉換為葡萄糖，80%



氧債的最新研究成果

- * 運動後只有**20%**的氧債用來將運動中的**乳酸轉換為葡萄糖**。
- * 乳酸轉換為葡萄糖的過程，稱為**糖質新生**（Gluconeogenesis）。
- * 目前有多位學者主張**廢除**『氧債』乙詞。
 - * 因為運動後升高的耗氧量並**不是**完全都是向身體**借氣**。
 - * 建議以『**運動後過耗氧量**』代替氧債乙詞。

運動後過耗氧量的可能因素

造成運動後過耗氧量的可能因素
(Factors Contributing to Excess Post-Exercise Oxygen Consumption)

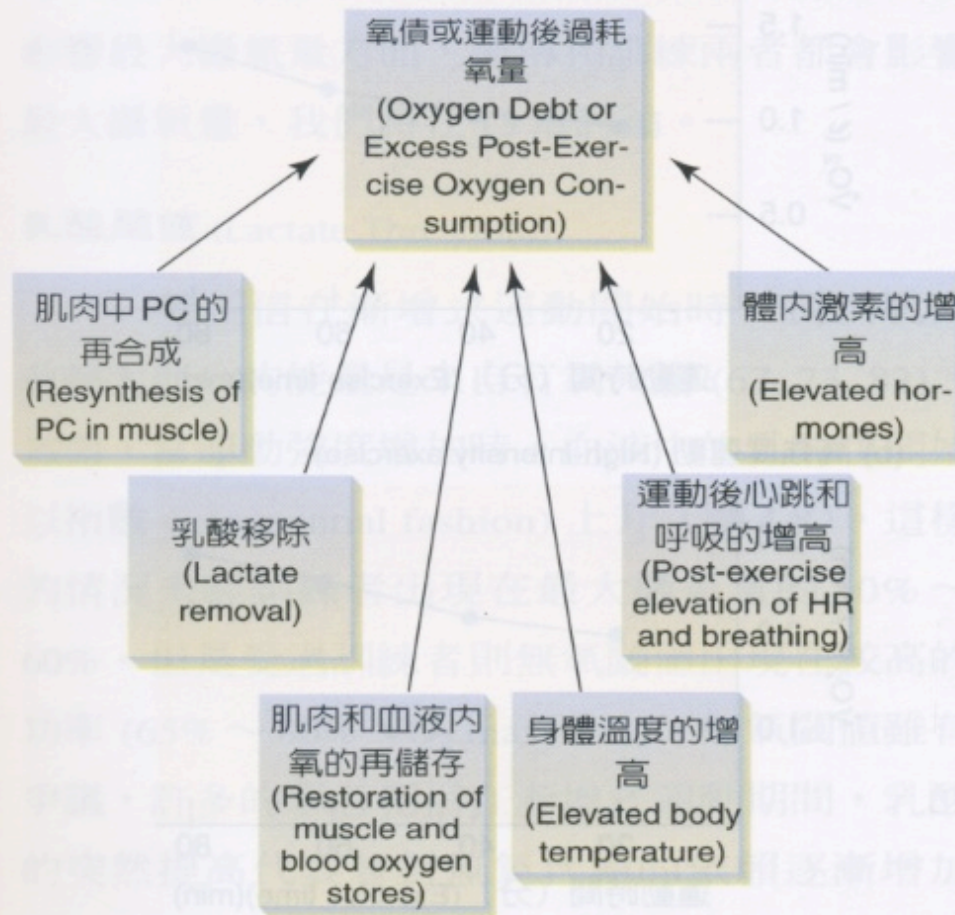


圖 4.5

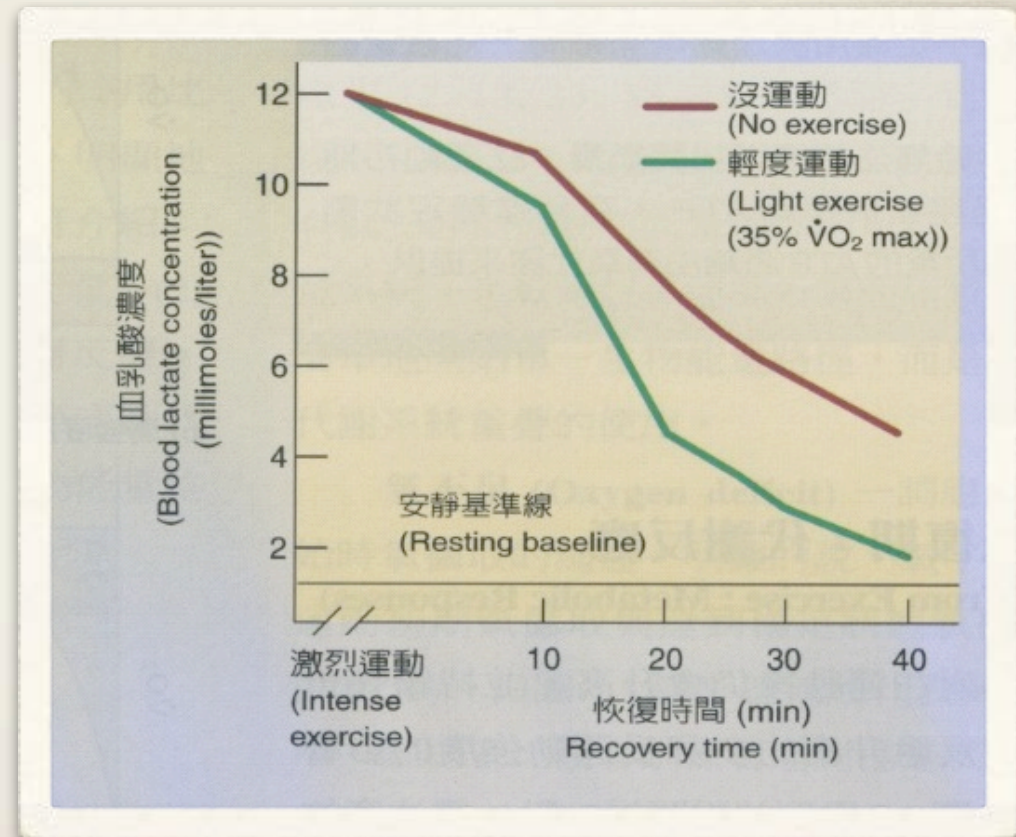
可能導致 EPOC 因素的摘要。

運動後乳酸升高

- * 運動後有少部分的**氧**被用來**儲存肌肉及組織中**。
- * **PC和氧**的儲存會在恢復期的**2~3分鐘**完成。
- * 運動後**腎上腺素**和**正腎上腺素**會導致耗氧量（爭議中）。
- * 肝、骨骼肌、心臟會移除乳酸。
- * 備註：
 - * 腎上腺素：促進肝臟將肝糖轉變為血糖→〔血糖〕↑，促進交感神經的作用。
 - * 正腎上腺素：促進小動脈收縮，血壓升高

運動後乳酸的移除

- * 運動中乳酸轉化：70%氧化，20%葡萄糖，10%胺基酸。
- * 緩和的運動移除入酸速度較快。
- * 最大攝氧量的30%~40%移除乳酸效果最佳。
- * 受訓者及未受訓者，如酸排除速度沒有差異。



克立循環 Cori Cycle

- * 運動中，骨骼肌產生的乳酸藉由**血液運送到肝臟**，乳酸藉由「**醣質新生作用**」轉換為葡萄糖。
- * 葡萄糖會被**釋放到血液中**，成為運動中的能量來源之一。
- * 在**肌肉與肝臟**之間的**乳酸與葡萄糖**的循環，稱為「**克立循環**」

在運動時，骨骼肌產生的一些乳酸，藉由血液而被運送到肝臟，進入肝臟後，乳酸藉由醣質新生作用就可轉化成葡

萄糖。這個“新”的葡萄糖可以釋放到血中，並且在運動時，被運回骨骼肌當成一種能量的來源。在肌肉和肝臟之

間，乳酸-葡萄糖循環，就稱為克立循環，如圖4.16所示。

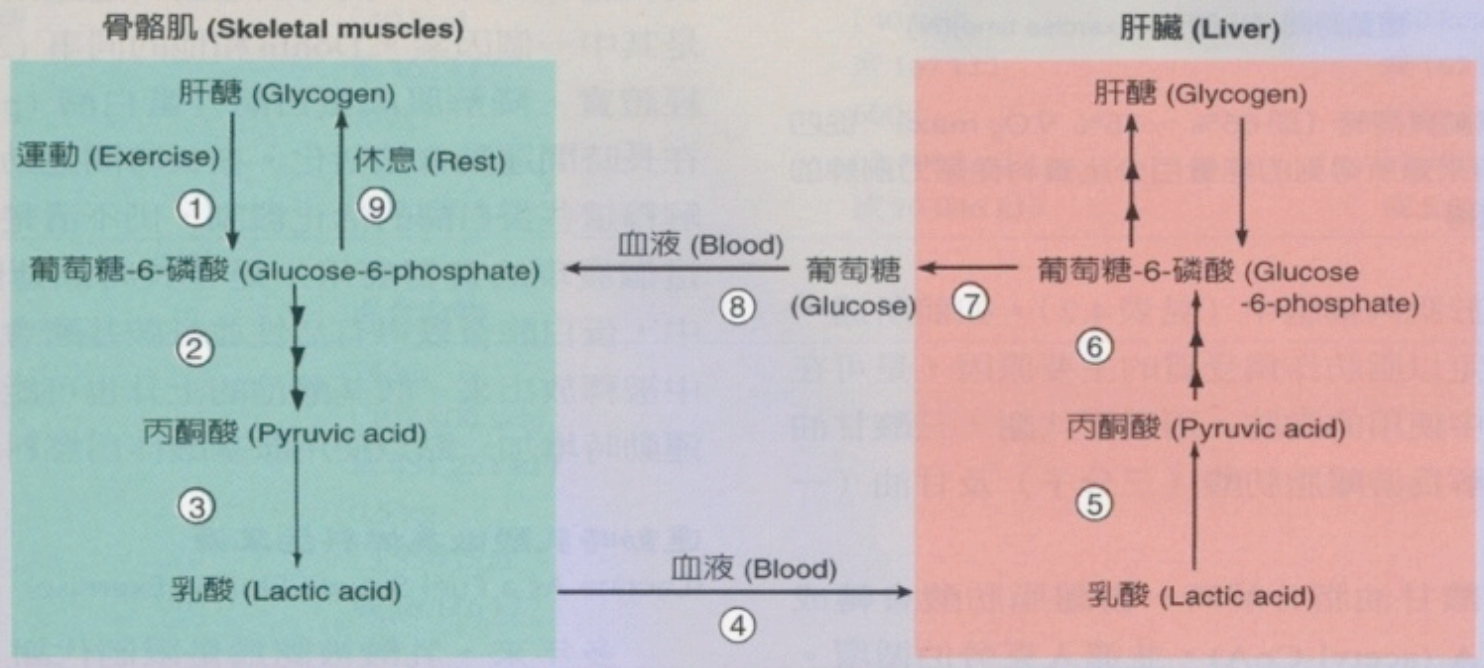


圖 4.16 克立循環，運動開始後的步驟以數字 1 ~ 9 表示。

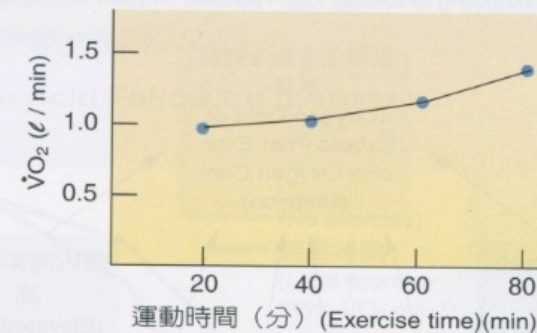
能量使用：短時間高強度

- * **短時間高強度**運動的能量，最主要來自**無氧代謝路徑**。
- * ATP-PC及醣解作用（乳酸系統），例50公尺衝刺
- * 在高強度、短時間運動（2~20秒），肌肉的ATP產生，主要靠**ATP-PC系統**。
- * 超過20秒的**高強度**運動，依賴**無氧醣解作用**產生所需的ATP。
- * 400公尺衝刺（約55秒）主要能源為ATP-PC、**醣解作用**和有氧代謝，以醣解作用**產生最多的ATP**。

能量使用：長時間運動

- * **長時間運動**（超過10分鐘）所用的能源，最主要來自**有氧代謝**。
- * **長時間低強度**的運動，攝氧量通常可以被維持。
- * 2個例外，**熱且濕的環境**、**高強度運動**，會導致取現象上飄移。

(a) 熱且濕的環境 (Hot/humid environment)



(b) 高強度運動 (High-intensity exercise)

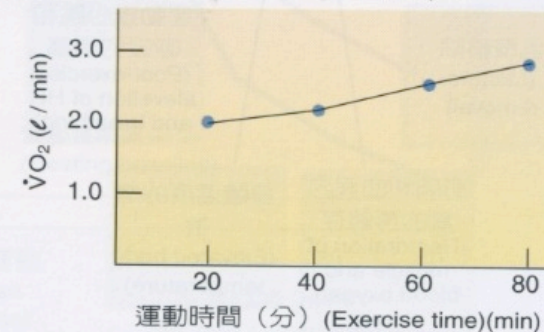
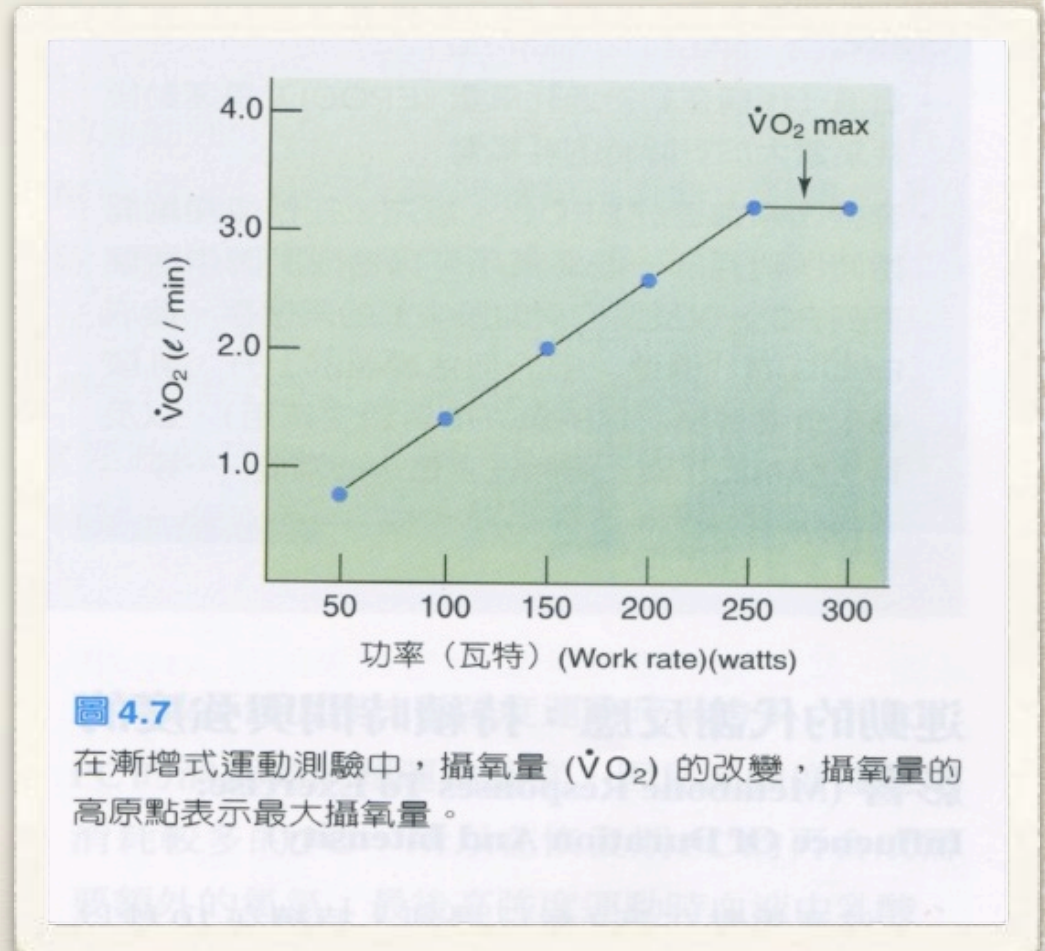


圖 4.6

比較在熱且濕的環境中長時間運動，氧攝取量的時間變化 (a)。高相對功率中 ($>75\% \dot{V}O_2 \text{ max}$) 長時間運動 (b)。注意這兩種情況耗氧量呈現穩定的“向上移動”。

漸增式運動

- * 最大攝氧量 ($\dot{V}O_2 \text{ MAX}$)：在運動中運送及使用氧的最大容量。或每分鐘所能攝取消耗的氧氣的最高值。
- * 漸增式運動測試又稱階段運動測驗，例跑步機速度及坡度調整。
- * 最大攝氧量出現時，再提昇力量輸出，也部會影響攝氧量的提升。
- * 氧氣運輸的生理極限能力。



最大攝氧量測試影片

- * 影片中地點：台灣體育大學運動科學研究所營養生化實驗室
- * 狀態：飯後2小時，固定溫度、濕度環境下
- * 帶著氣體收集面罩的男性受試者，隨著節拍器的「滴、滴、滴...」聲，維持腳踏車踩踏速率（70 rpm/min）
- * 左邊的施測者每3分鐘會將腳踏車負荷量調增0.5 kp重量負荷，直到受試者「力竭」。

最大攝氧量的生理因素

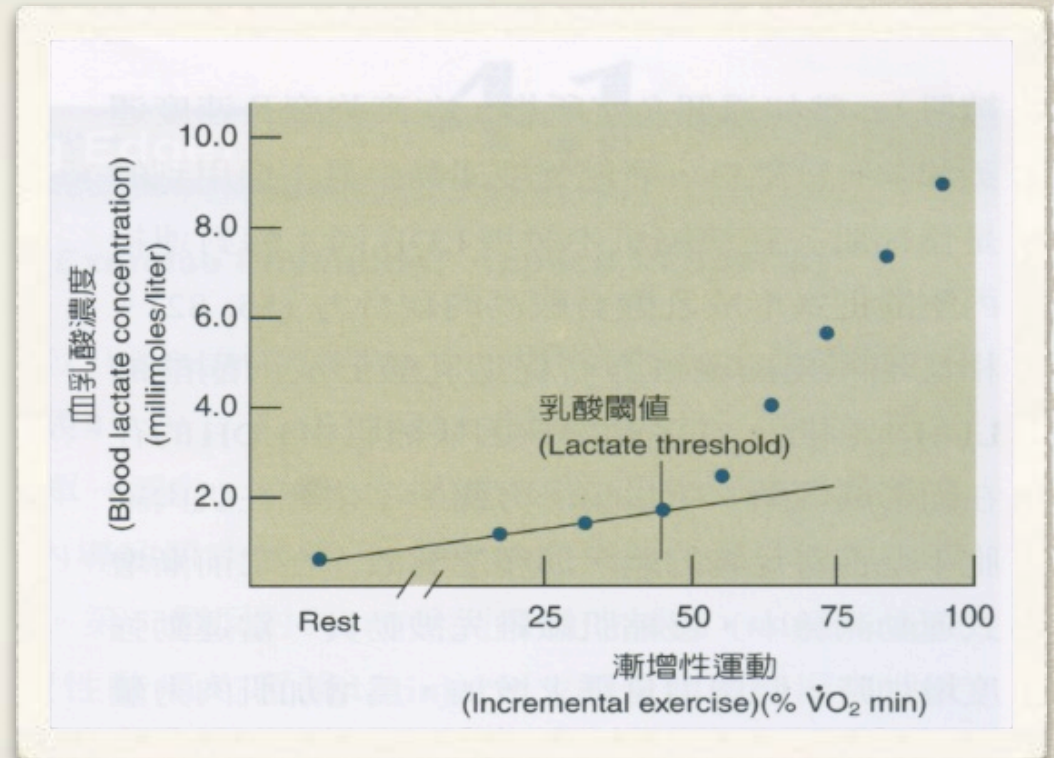
- * **心肺**系統在肌肉收縮時，運送**氧**到**收縮肌群**的做大能力。
- * 肌肉吸收氧及**有氧**製造**ATP**的能力。
- * **訓練**和**遺傳**都會影響**最大攝氧量**。

名詞

- * 無氧閾值 (anaerobic threshold)
- * 運動後過耗氧量 (EPOC)
- * 醣質新生 (gluconeogenesis)
- * 乳酸閾值 (lactate threshold)
- * 最大攝氧量 (maximal oxygen uptake , $\dot{V}O_2$ Max)
- * 氧債 (oxygen debt)
- * 呼吸交換率 (respiratory exchange ratio , R)

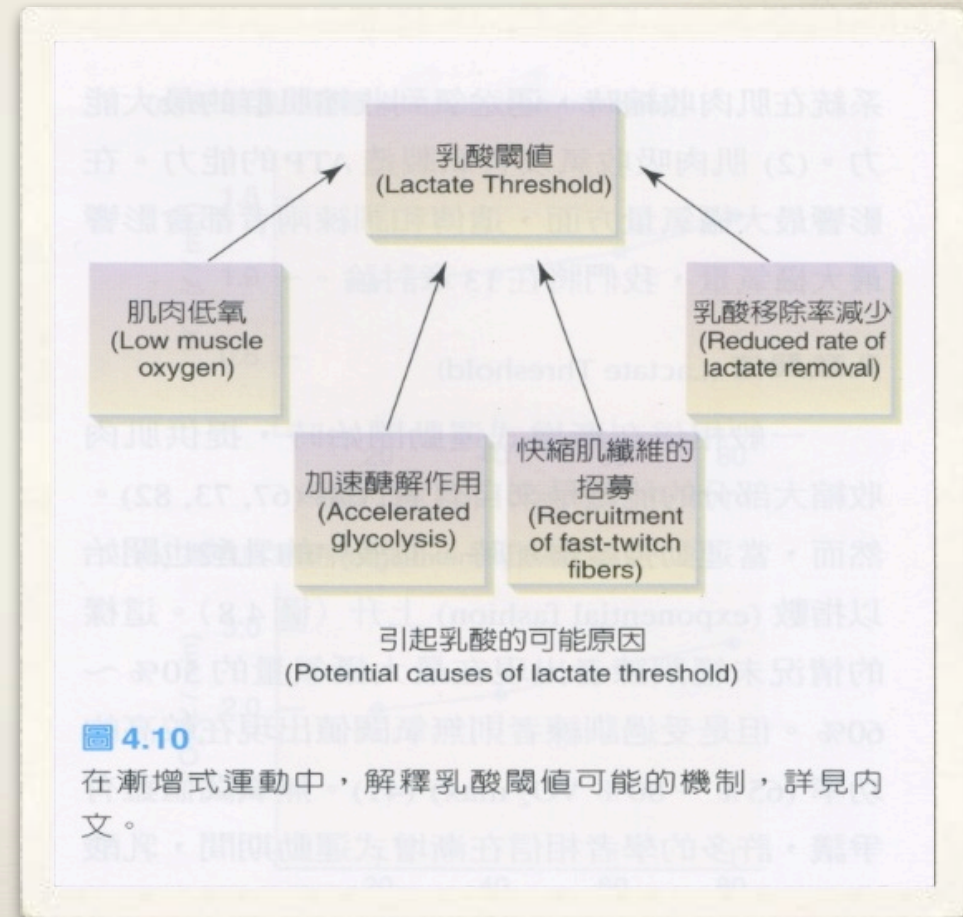
乳酸閾值

- * 漸增式運動開始時，提供肌肉的能量為**有氧代謝**。
- * 運動強度開始增加，血液中**乳酸開始急速上升**的點，為**乳酸閾值**。
- * $\dot{V}O_2$ Max- \rightarrow 未訓練者**50%~60%**，訓練者**60%~80%**。
- * **乳酸升高**，代表**醣解作用**的使用率**升高**。



引起乳酸的可能原因

- * 肌肉低氧
- * 加速醱解作用
- * 快速肌纖維的招募
- * 乳酸移除率減少



無氧閾值

- * 確認人體由「**有氧運動**」，開始啟用「**無氧性能量**」參與的運動強度，稱為**無氧閾值**。
- * **無氧閾值**似乎很難（也可能**沒有辦法**）**界定清楚**「**有氧**」與「**無氧**」界線的人體生理反應特徵。
- * 隨著運動時間的增加，體溫的上升、肌肉的疲勞、心理上的煩躁等，都可能顯著影響無氧閾值相關研究的客觀性。

乳酸會引起酸痛嗎？

- * 延遲性肌肉酸痛的原因**並非乳酸堆積所造成**。
- * 兩個生理現象支持乳酸並非延遲性肌肉酸痛的主要原因：
 - * 高強度運動，骨骼肌產生大量乳酸，但於運動停止**60分鐘後恢復到安靜值**。
 - * 如果乳酸是造成肌肉酸痛的原因，**爆發力選手**應該在每次訓練完後都感到酸痛。
- * 推論：肌纖維受損，造成**發炎及浮腫**，因為是慢慢，所以在24～48 小時候才會發生。

運動強度與燃料選擇

- * 在少於 **1個小時**的運動，**蛋白質**作為燃料低於**2%**。
- * 脂肪是**低強度運動**中最主要的能量來源。VO₂ MAX 小於30%
- * **高強度運動**中，**碳水化合物**是主要能量來源。VO₂ MAX 大於70%
- * 交叉點的形成。

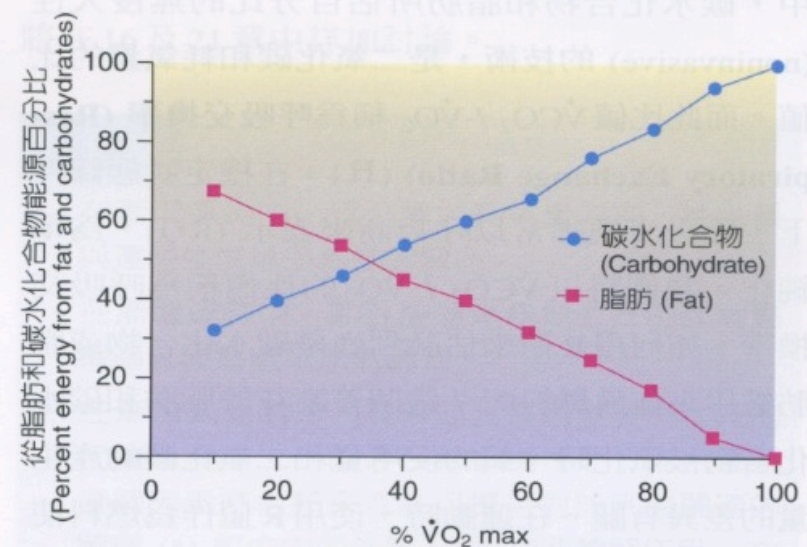
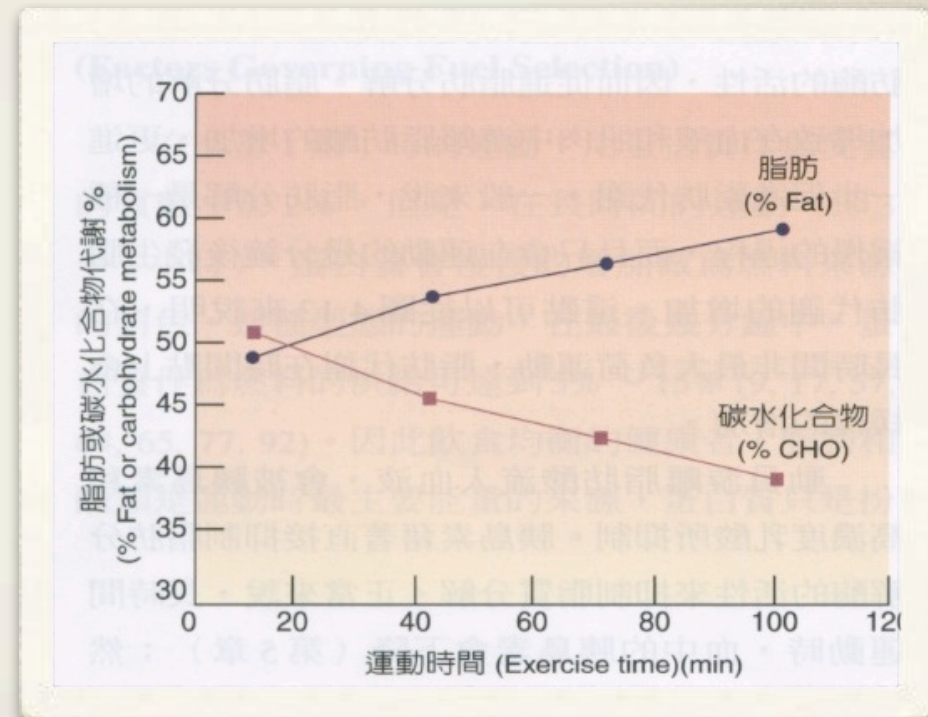


圖 4.11

圖示交叉的觀念，注意當運動強度增加時，以碳水化合物 (CHO) 為燃料來源的比例也逐漸增加。

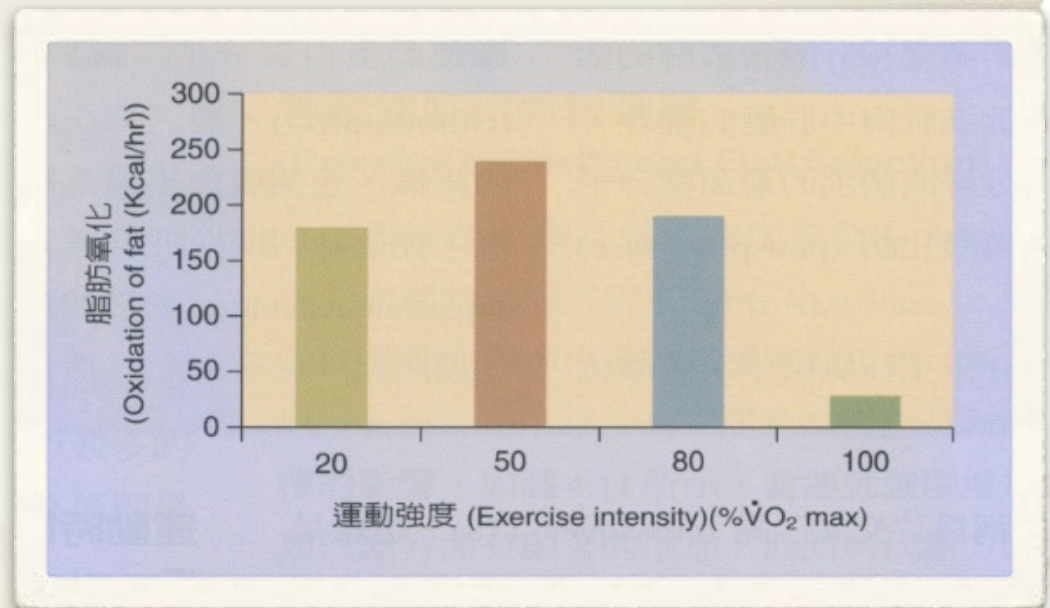
運動時間與燃料

- * **長時間低強度**運動中（大於30分鐘）由**醣類**代謝轉為**脂肪**代謝。
- * 脂肪以**三酸肝油脂**的形式儲存，使用前被分解為游離脂肪酸及甘油。
- * 低強度長時間運動，血中**腎上腺素**濃度會上升，促進**脂肪**的分解。
- * **游離脂肪酸**流入血液，會被**胰島素**及高濃度**乳酸**抑制。



低強度運動對脂肪使用最好？

- * 能量來源的**誤導**
 - * 20%的最大攝氧量，有60%的能量來源是脂肪。
 - * 50%的最大攝氧量，有40%的能量來源是脂肪。
- * 除了能量來源的使用率，應在加上**總能量的消耗**。
- * **50%的最大攝氧量**的強度總能量消耗，比20%的**消耗多出33%**。



低強度運動對脂肪使用最好？

- * 因此，當要設計一個運動計畫來降低身體脂肪存量，考慮燃料消耗的總比例和脂肪代謝中所消耗的能量百分比非常重要。

醣類的飲料改善耐力表現？

- * 在長時間運動中，醣類的攝取可以改善耐力表現。
- * 在低於70%的最大耗氧量強度，長時間運動（90分鐘以上）可以改善耐力表現。
- * 每小時補充30～60克醣可以提昇運動表現。
- * 目前尚未有醣類的補充，而提昇30～60分鐘的運動表現之文獻。

脂肪/醣類代謝的交互作用

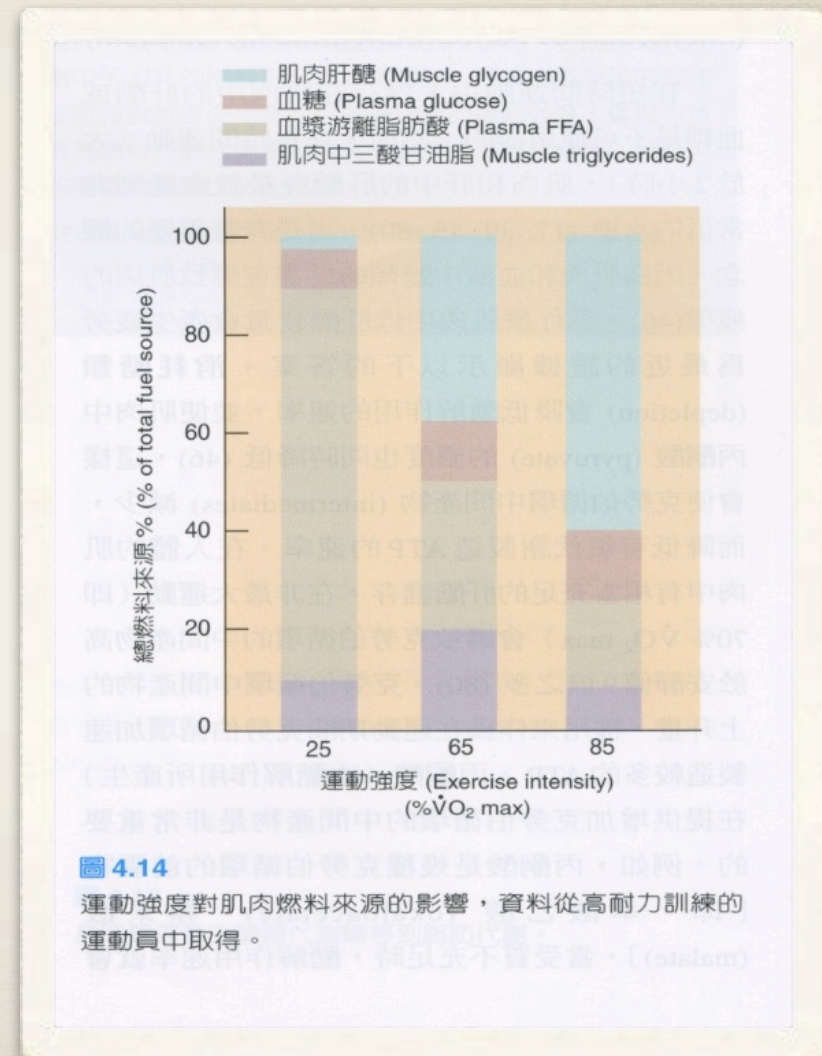
- * 在**短時間運動**中，儲存**肌肉**中的**肝醣**或**血糖**不會用盡。
- * **長時間運動**（大於2小時），肌肉和肝臟中的**肝醣**會達到**非常低**的水準。
- * 消耗醣類會降低醣解作用的效率。
- * 在肌肉中**ATP產生的速度下降**，限制表現的同時，可能**導致疲勞**。

運動中碳水化合物的來源

- * 碳水化合物以**肝醣**形式儲存於**肌肉**與**肝臟**中。
- * 肌肉中的肝醣作為肌肉能量代謝的**直接能源**。
- * **肝臟**中的**肝醣**被用來補充**血**中的**葡萄糖**，例長時間運動。
- * 在**低強度運動**中，**血糖**扮演重要的角色。

運動強度對肌肉的燃料來源

- * 在**高強度運動**中，**肝醣**是主要的醣類來源（醣解作用）
- * **非最大負荷的第1小時**，醣類使用順序為肌肉中的**肝醣**、血液中的**葡萄糖**。



運動中脂肪的來源

- * 從食物中**攝取能量**比實際消耗要**多**時，會以**脂肪的形式**儲存。
- * 每**3,500卡**的能量會在體內儲存**一磅的脂肪**。
- * 大部分的脂肪以三酸甘油脂的形式儲存於脂肪細胞中。
- * 三酸肝油脂分解，**游離脂肪酸**會轉變為**乙醯輔酶A**，並進入克勞伯環。
- * 強度介於**65%~85%**的最大耗氧量時，以脂肪作為肌肉燃料來源的比例，和**血漿游離脂肪酸**與肌肉中的**三酸甘油脂**之間比例大約相等。

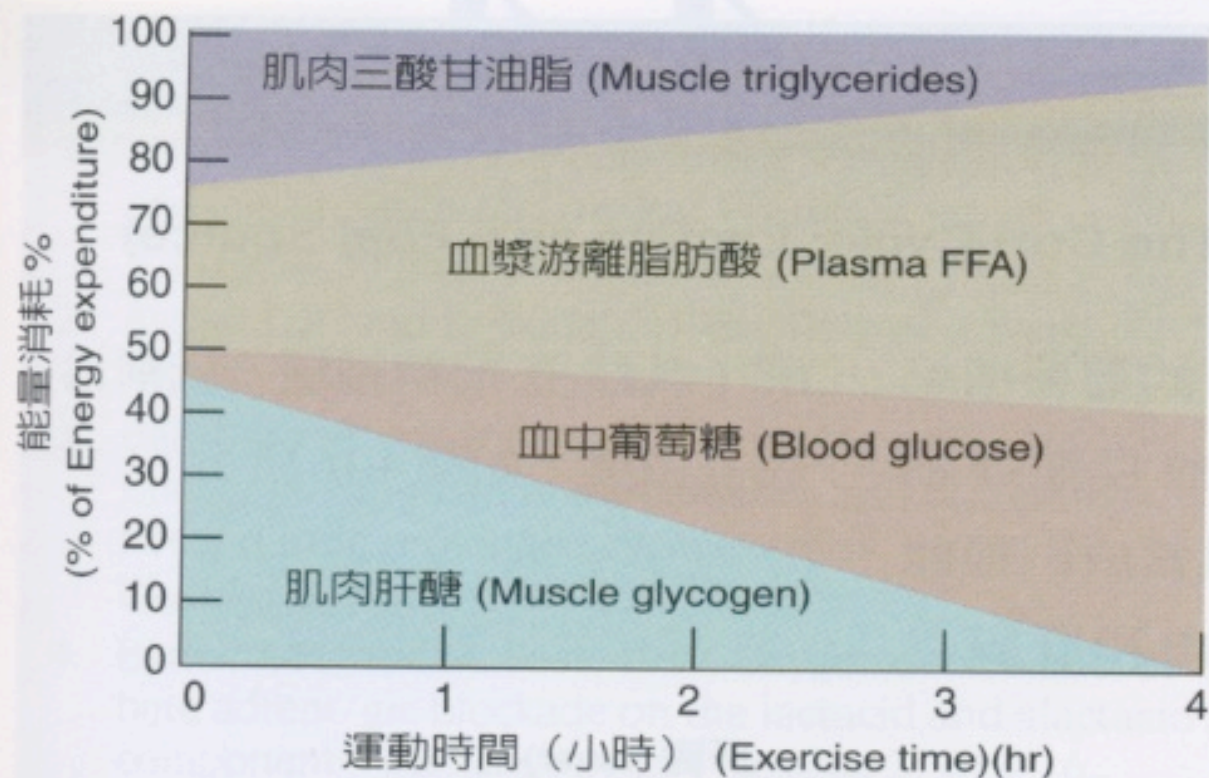


圖 4.15

在非最大運動負荷時（即 65% ~ 75% $\dot{V}O_2$ max），從四種主要燃料來源所得到的能量百分比資料從耐力訓練的運動員中獲得。

F A Q

下週：運動與神經控制

資料來源

- * 林正常、林貴福、徐台閣、吳慧君譯（2005）運動生理學—體適能與運動表現的理論與應用第4版，台北市：藝軒圖書出版社。
- * 最大攝氧量影片，<http://my2.tmu.edu.tw/d507097003/doc/2116>