

能量系統、運動的燃料

黃三峰

大綱

- * 能量轉換
- * 運動的燃料來源
- * 生物能量學
- * ATP-PC系統
- * 醱解作用
- * 有氧系統
- * 克勞伯環
- * 電子傳遞鏈



基本概念

- * 發現細胞的人：英國科學家虎克（Robert Hooke）。
- * 細胞包含細胞膜、細胞質、細胞核。
- * 細胞膜負責區隔細胞外液保護細胞內部。
- * 基因位於細胞核內，負責蛋白質的合成。
- * 細胞質：細胞內液體部分，有很多包器。
- * 細胞內的能量工廠：細胞核。

基本概念

- * 人體有超過95%是由氧(65%)、碳(18%)、氫(10%)、氮(3%)構成。
- * 少量元素：鈉、鐵、鋅、鉀、鎂、氯、鈣。
- * 細胞質內包含分解葡萄糖所需的酶。
- * 新陳代謝定義：所有發生在人體**細胞內的反應**，包含分子的合成與分解。
- * 含碳的化合物為**有機**，不含碳的為**無機**。

生物能量轉換

- * 地球上所有能量來自**太陽**。
- * 例如：**醣類**、蛋白質、**脂肪**
- * 能量以不同形式存在，並能夠相互轉換。
- * 肌纖維：醣類、脂肪、蛋白質轉換為機械能。
- * **吸能反應**(Endergonic)：將食物轉換為能量儲存。
- * **釋能反應**(Exergonic)：細胞內氧化作用將葡萄糖分解為水、二氧化碳。

生物能量轉換

- * **偶合反應** (Coupled) : 一個反應釋放的自由能，被用來驅動第二個反應。
- * **活化能** (Energy of Activation) : 啟動化學反應的能量。
- * 例：乙醯輔酶A

生物能量轉換

- * **酶 (Enzymes)** :一種催化劑，影響化學反應的速度。調節發生反應的速率。
- * 酶在**理想溫度**時活性最大。
- * 酶的活性增加，會提高ATP的製造。
- * 酶的活性受體內PH質影響，例激烈運動身體會產生乳酸，讓身體偏酸，降低ATP的產生，影響運動能力。

專有名詞

- * **ATP** : 腺苷三磷酸
- * **ADP** : 腺苷二磷酸
- * **P_i** : 磷酸肌酸
- * **NAD** : 菸鹼醯胺腺嘌呤二核苷酸，加氫：NADH
- * **FAD** : 黃素腺嘌呤二核苷酸，加氫FADH
- * **GTP** : 鳥嘌呤核苷三磷酸

運動的燃料來源 _ 醣

- * 運動能量來源為**醣類**、**脂肪**及一小部分的**蛋白質**。
- * 碳水化合物：由碳、氫、氧組成，含碳為**有機**，反之為**無機**。
- * 一克的**醣**大約可以產生**4卡**的熱量。
- * 碳水化合物以三種形式存在：單醣、雙醣、多醣。
 - * **單醣**：葡萄糖、果糖，身體中的血糖也是。
 - * **雙醣**：2個單醣組成，例如蔗糖。
 - * **多醣**：3個以上的單醣組成，例如纖維素、澱粉。

運動的燃料來源 _ 醣

- * 雙醣或多醣可**分解為單醣**，作為身體能量的來源。
- * 肝醣：儲存於組織（細胞）中的多醣。
- * 一個肝醣有**數百到數千**的葡萄糖分子。
- * 肝醣**也**在肝臟分解，透過血液傳送到全身組織。
- * 攝取低醣類飲食會妨礙肝醣的合成，高醣類飲食會促進肝醣合成。

運動的燃料來源 _ 脂肪

- * 1克脂肪有9卡熱量，是醣及蛋白質的2倍。
- * 脂肪對長時間運動是種理想的能源。
- * 脂肪：脂肪酸、三酸甘油酯、磷脂、類固醇4種。
- * 三酸甘油酯：1個脂肪酸、1個甘油。
- * 脂肪酸以三酸甘油酯方式被儲存。
- * 大部的三酸甘油酯儲存在脂肪細胞中，骨骼肌中也有少許。

運動的燃料來源 _ 脂肪

- * 脂肪分解得到**甘油**，可作被**肝臟**用來**合成葡萄糖**。
- * 磷脂是由**脂肪**及**磷酸**在不同細胞內合成，例細胞膜、神經的絕緣鞘。
- * **磷脂不會**成為骨骼肌的能量來源。
- * **類固醇也不會**成為骨骼肌的能量來源。
- * 最普遍的類固醇是**膽固醇**，所有細胞膜所需的一種成分。

運動的燃料來源 _ 蛋白質

- * 1公克蛋白質約4卡熱量。
- * 蛋白質由胺基酸組成，胺基酸約有20多種。
- * 亮胺酸、異亮胺酸、纈胺酸、甲硫胺酸、苯丙胺酸、色胺酸、蘇胺酸、賴胺酸、組胺酸無法由身體產生，必須靠進食。
- * 丙安酸在肝臟中轉換為葡萄糖，供人體使用。

胺基酸的種類

甘胺酸 (Glycine)

酪胺酸 (Tyrosine)

甲硫胺酸 (Methionine)

丙胺酸 (Alanine)

天冬胺酸 (Aspartic acid)

精胺酸 (Arginine)

纈胺酸 (Valine)

組胺酸 (Histidine)

絲胺酸 (Serine)

亮胺酸 (Leucine)

天冬醯胺 (Asparagine)

蘇胺酸 (Threonine)

異亮胺酸 (Isoleucine)

谷胺酸 (Glutamic acid)

半胱胺酸 (Cysteine)

苯丙胺酸 (Phenylalanine)

賴胺酸 (Lysine)

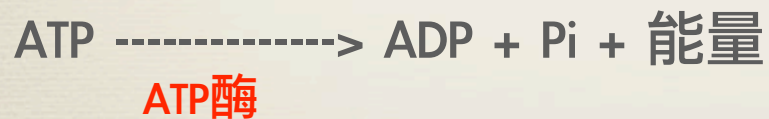
脯胺酸 (Proline)

色胺酸 (Tryptophan)

谷氨醯胺 (Glutamine)

高能磷酸化合物

- * **腺苷三磷酸 (ATP)** 是肌肉收縮的能量來源。
- * 大部分**缺乏**足夠ATP的細胞很快就會死亡。
- * 腺苷三磷酸 ATP：由腺苷、核糖、3個磷酸結合而成。
- * $ATP = \text{腺苷二磷酸 (ADP)} + \text{無機磷酸 (Pi)}$
- * ATP能量釋放



生物能量學

三種能量系統（或代謝路徑）

名稱	燃料	使用順序	有 / 無氧
ATP-PC系統	磷酸肌酸 (PC)	1	無氧代謝
醣解作用	葡萄糖 肝醣	2	無氧代謝 有氧代謝
有氧系統	脂肪	3	有氧代謝

ATP-PC系統

- * **ATP-PC系統**

- * 運動開始，**短時間高強度**，例如衝刺、跳高、舉重

- * 0~6秒的運動

- * 大量補充**磷酸肌酸 (PC)** 有助於成績的提升

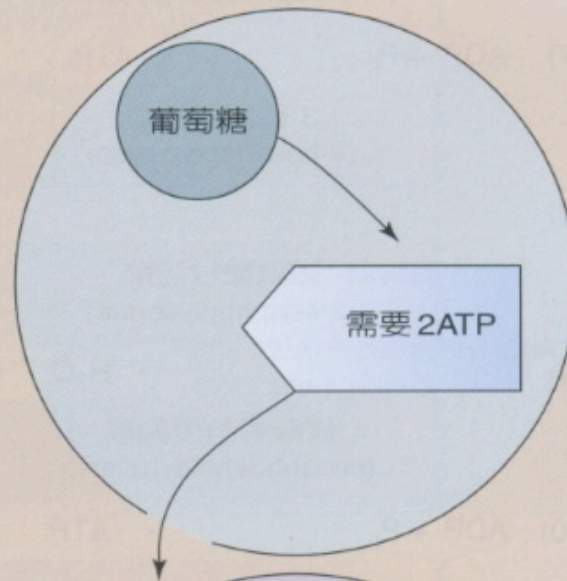
- * 可改善30秒內的運動表現（實驗室驗證）

- * **非正式**報告中：大量肌酸的補充會造成噁心、腸胃不適、肌肉痙攣

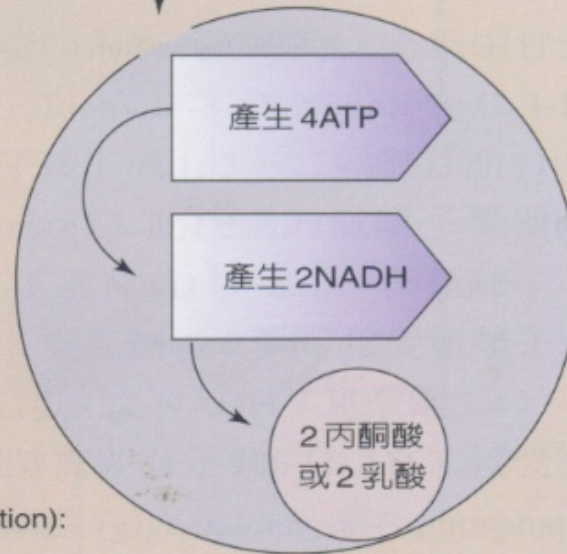
醣解作用

- * 不需要用到氧氣的代謝路徑
- * 主要的燃料（能量）：肝醣、葡萄糖
- * 分兩階段進行：能量投資、能量生產
- * 1莫爾（Mole）葡萄糖產生產生2莫爾ATP及2莫爾丙酮酸
- * 1莫爾肝醣產生產生3莫爾ATP及2莫爾丙酮酸

1
能量投資階段
(Energy invest-
ment phase)



2
能量產生階段
(Energy gener-
ation phase)



淨產量 (Net production):

輸入 (Input)	輸出 (Output)
1 glucose	→ 2 pyruvate or 2 lactate
2 ADP	→ 2 ATP
2 NAD	→ 2 NADH

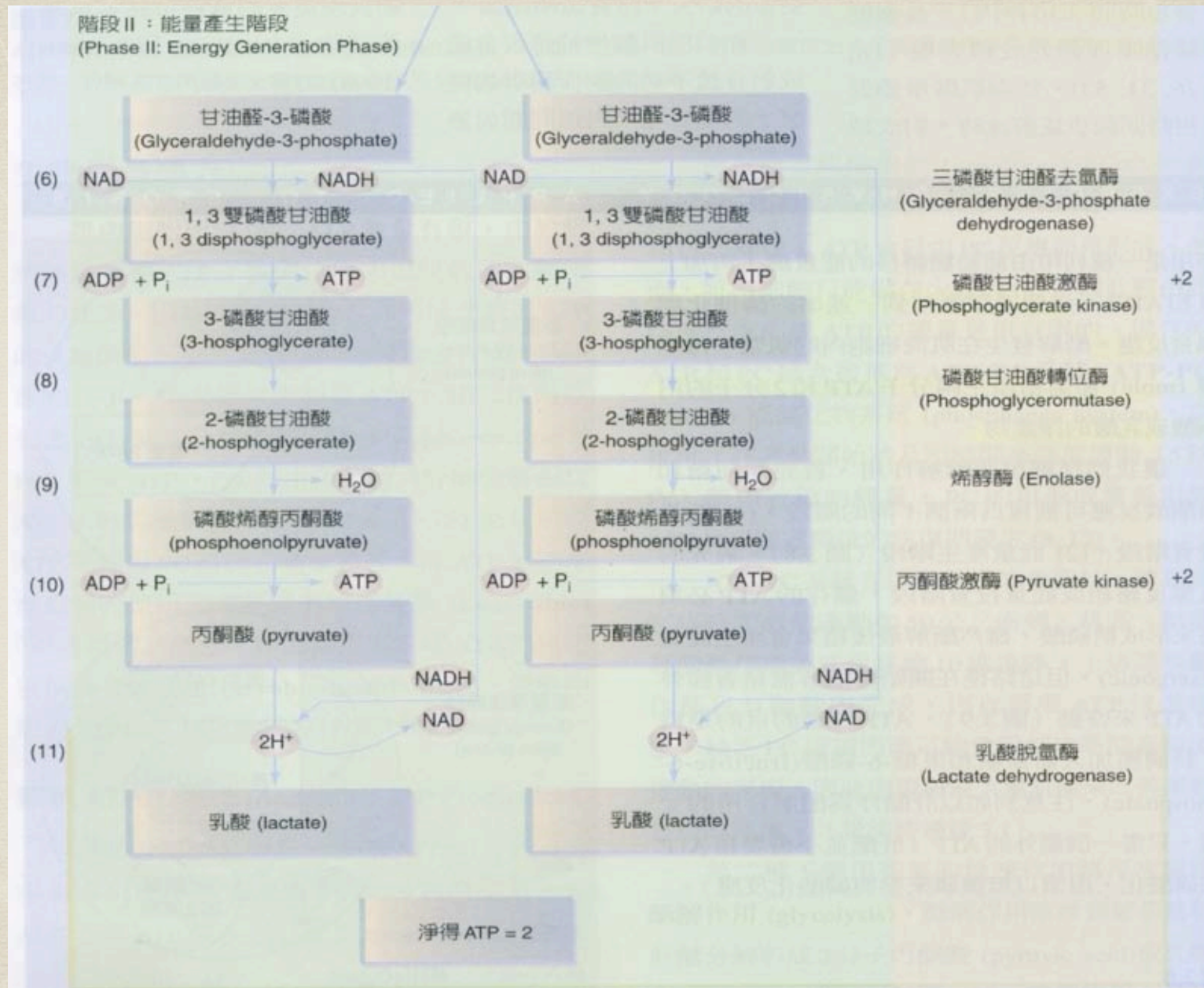
醱解作用

- * 不需要用到氧氣的代謝路徑
- * 主要的燃料（能量）：肝醣、葡萄糖
- * 分兩階段進行：能量投資、能量生產
- * 1莫爾（Mole）葡萄糖產生產生2莫爾ATP及2莫爾丙酮酸
- * 1莫爾肝醣產生產生3莫爾ATP及2莫爾丙酮酸
- * 備註：1莫爾分子 = 6×10^{23}

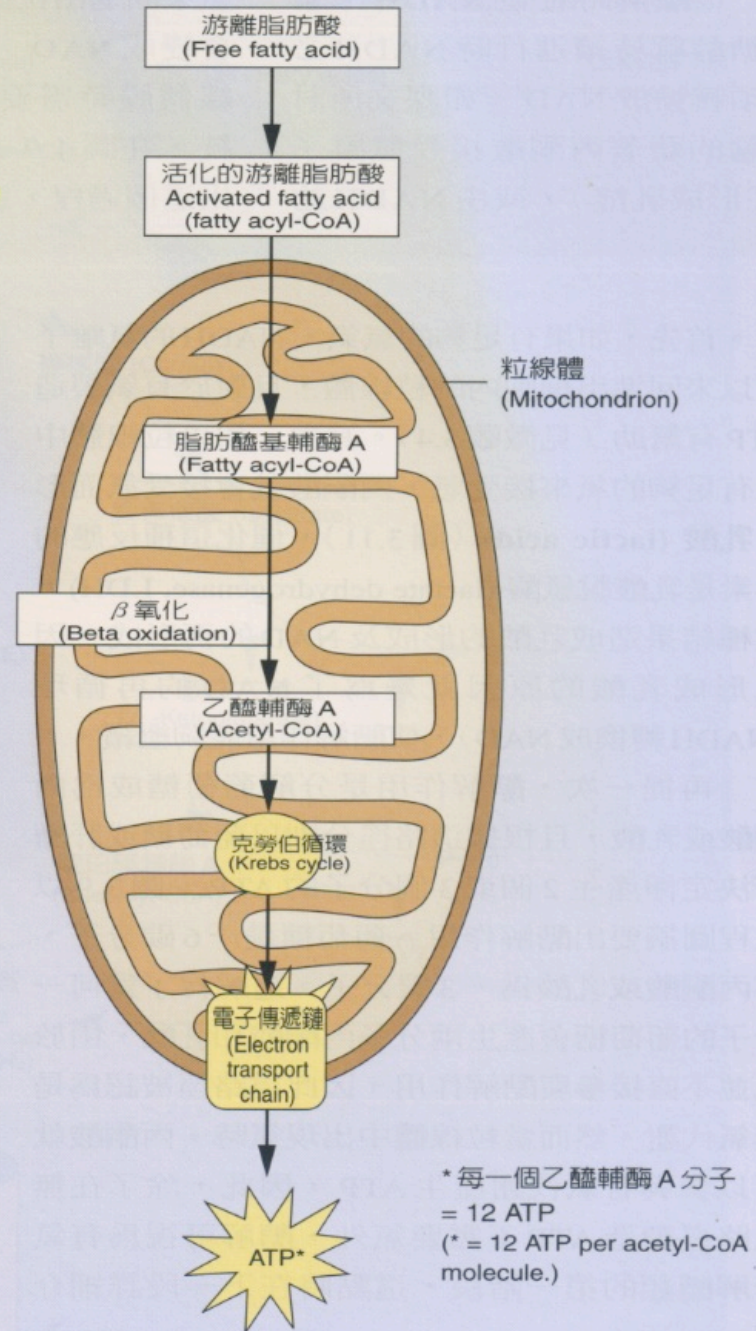
專有名詞

- * **ATP** : 腺苷三磷酸
- * **ADP** : 腺苷二磷酸
- * **P_i** : 磷酸肌酸
- * **NAD** : 菸鹼醯胺腺嘌呤二核苷酸，加氫：NADH
- * **FAD** : 黃素腺嘌呤二核苷酸，加氫FADH
- * **GTP** : 鳥嘌呤核苷三磷酸

步驟 #	反應 (Reaction)	酶 (Enzyme)	產生 ATP
階段 I : 能量投資階段 (Phase I: Energy Investment Phase)			
(1)	<p>葡萄糖 (Glucose)</p>	六碳糖激酶 (Hexokinase)	-1
(2)	<p>葡萄糖-6-磷酸 (Glucose-6-phosphate)</p>	磷酸葡萄糖異構酶 (Phosphoglucosomerase)	
(3)	<p>果糖-6-磷酸 (Fructose-6-phosphate)</p>	磷酸果糖激酶 (Phosphofructokinase)	-1
(4)	<p>果糖-1,6-雙磷酸 (Fructose-1,6-bisphosphate)</p>	醛縮酶 (Aldolase)	
(5)	<p>甘油醛-3-磷酸 + 二羥丙酮磷酸 (Glyceraldehyde-3-phosphate + dihydroxyacetone phosphate)</p>	磷酸甘油醛異構酶 (Triose-phosphate isomerase)	



Bata氧化作用



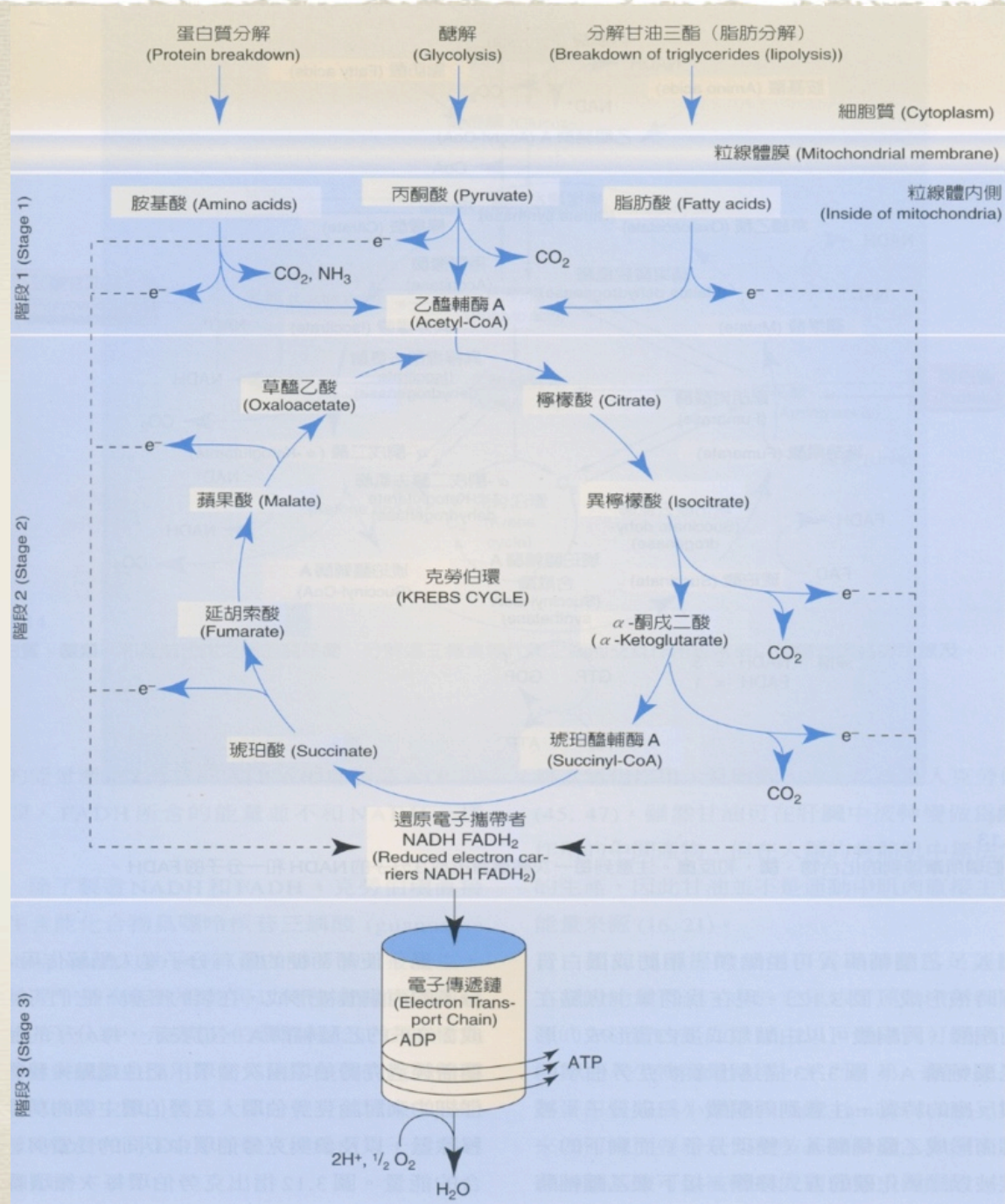
Beta氧化作用

- * 脂肪是以三酸甘油酯型態儲存於脂肪細胞或肌肉纖維。
- * 三酸甘油酯要使用時，必須先轉換為游離脂肪酸。
- * 脂肪酸可以成為有氧代謝中的能源。
- * Beta氧化作用：將**脂肪酸變成乙醯輔酶A**形式的過程。
- * 乙醯輔酶A為克勞伯循環的能量來源。
- * Beta氧化作用在粒線體中進行。
- * 每一個乙醯輔酶A可以產生12ATP。

加深印象

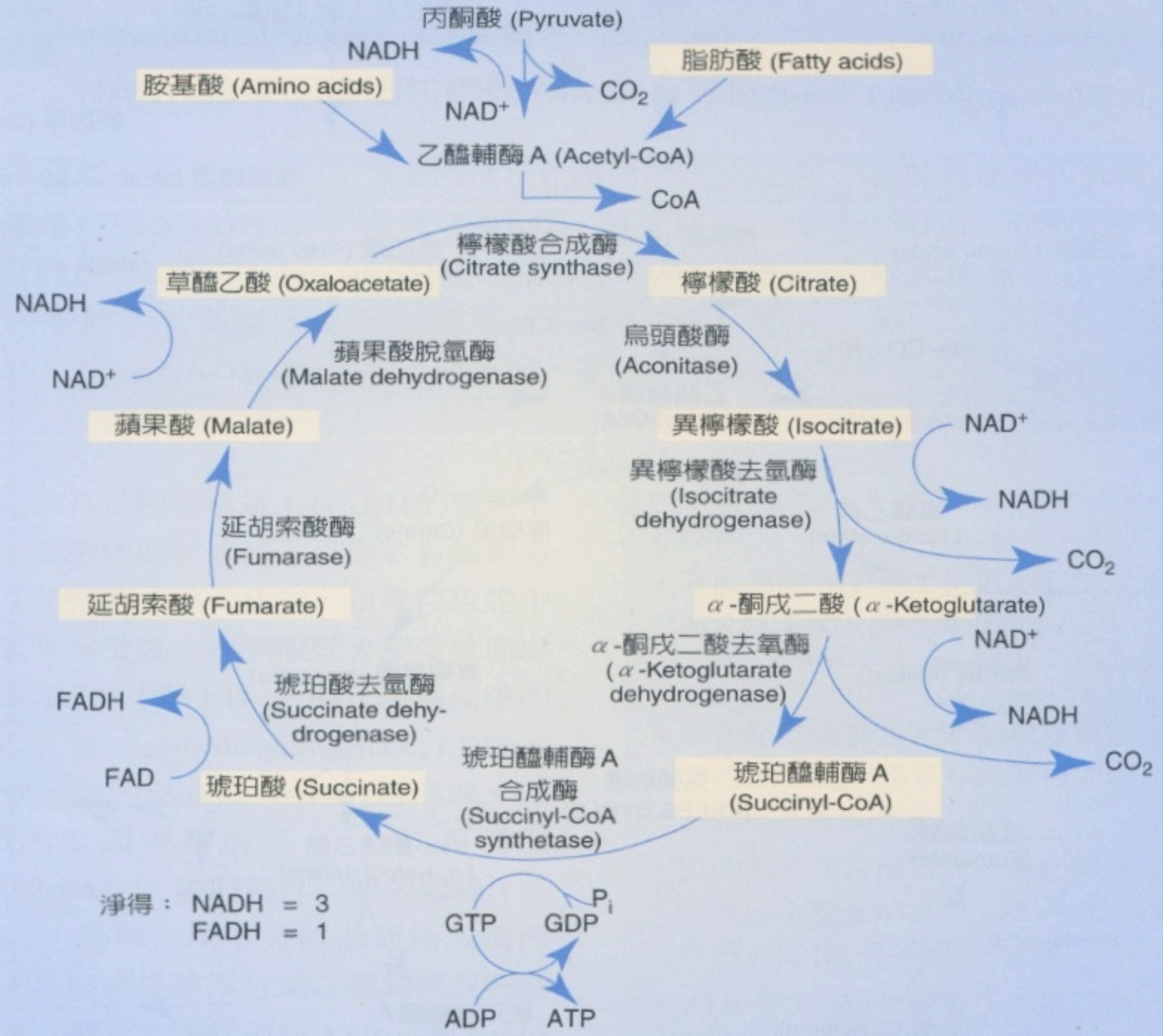
- * 高能磷酸ATP是肌肉收縮的立即能量來源。
- * ATP經由ATP酶分解 = ADP + Pi + 能量
- * 沒有使用氧製造ATP的過程稱為無氧代謝。
- * 製造ATP時利用氧作為最後電子接受的方式稱為有氧代謝。
- * 肌肉細胞可以使用ATP-PC系統、醣解作用、有氧磷化作用 3方式綜合製造或任何一種製造ATP。

氧化磷酸化三階段

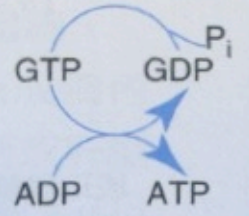


有氧ATP產生

- * 有氧能量的產生分為下面兩個階段：
- * **克勞伯環 (Krebs cycle)**
 - * 是以生化學家Hans Krebs命名。
 - * 又稱為檸檬酸循環 (Citric acid cycle)
- * **電子傳遞鏈 (electron transport chain)**
 - * 又稱為呼吸鏈 (respiration chain) 或細胞色素鏈 (cytochrome chain)



淨得 : $\text{NADH} = 3$
 $\text{FADH} = 1$



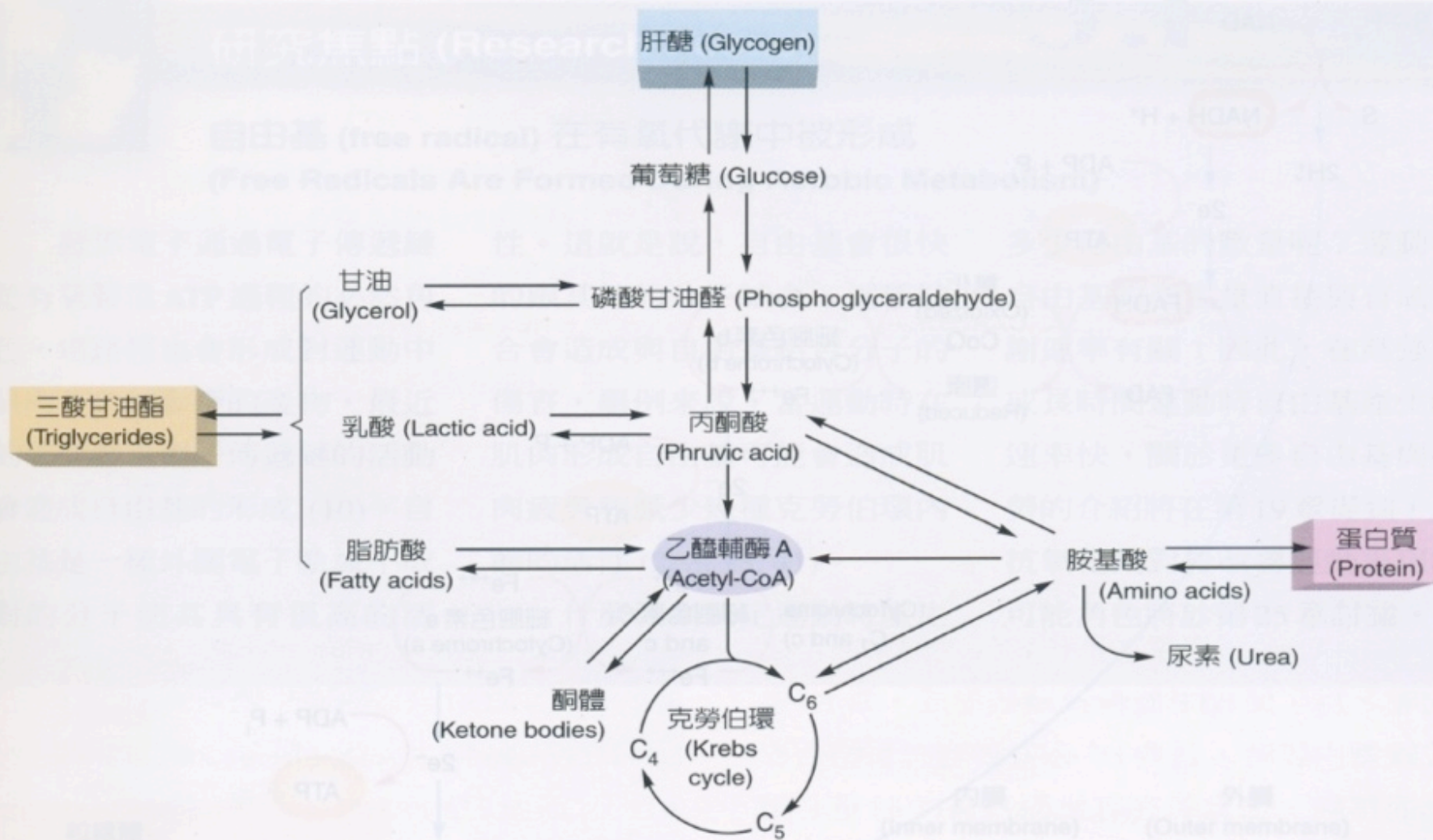
克勞伯環

Krebs cycle

- * 主要的功能在**去除氫**。
- * 每分子的**FADH**可以產生**2莫爾的ATP**
- * 產生**鳥嘌呤核苷三磷酸 (GTP)**
 - * GTP的磷團可以讓ADP轉換為ATP
- * 大部分克勞伯環所產生的能量 (NADH、FADH) 被拿來在**電子傳遞鏈**製造ATP
- * 完成醣類、脂肪或蛋白質的**氧化作用**

專有名詞

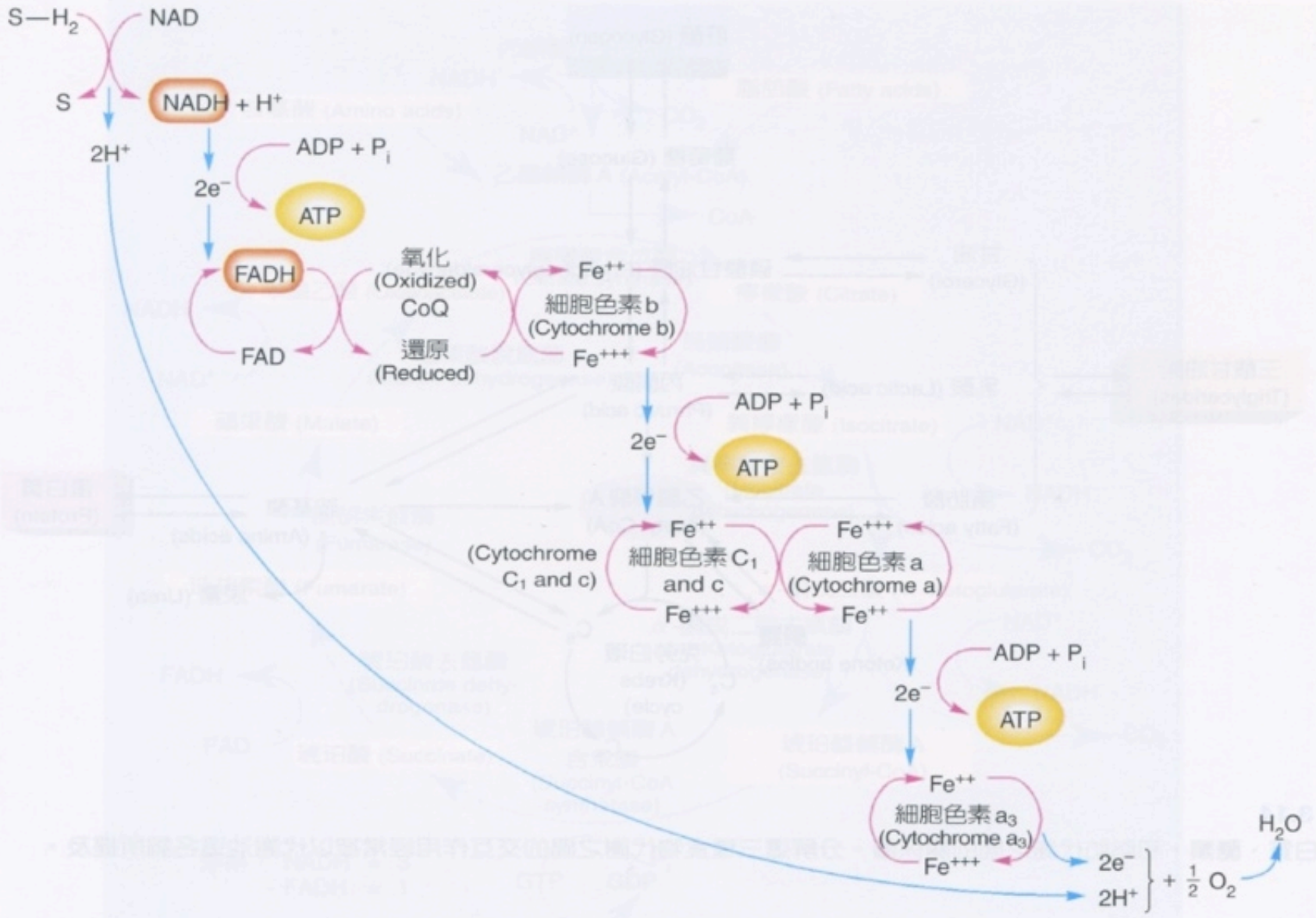
- * **ATP** : 腺苷三磷酸
- * **ADP** : 腺苷二磷酸
- * **P_i** : 磷酸肌酸
- * **NAD** : 菸鹼醯胺腺嘌呤二核苷酸，加氫：NADH
- * **FAD** : 黃素腺嘌呤二核苷酸，加氫FADH
- * **GTP** : 鳥嘌呤核苷三磷酸



電子傳遞鏈

electron transport chain

- * 有氧製造ATP發生在**粒線體內**。
- * 有氧製造ATP的機制**可能**是利用電位能將NADH、FADH氫離子攜帶者**還原**，把**ADP磷酸化為ATP**。
- * 電子通過電子傳遞鏈時，稱為**自由基**。
- * 過多的**自由基可能**對肌肉有害，且會造成肌肉疲勞。
- * **高強度或長時間**的運動最**自由基產生速度較快**。



氧化磷酸化作有的效率

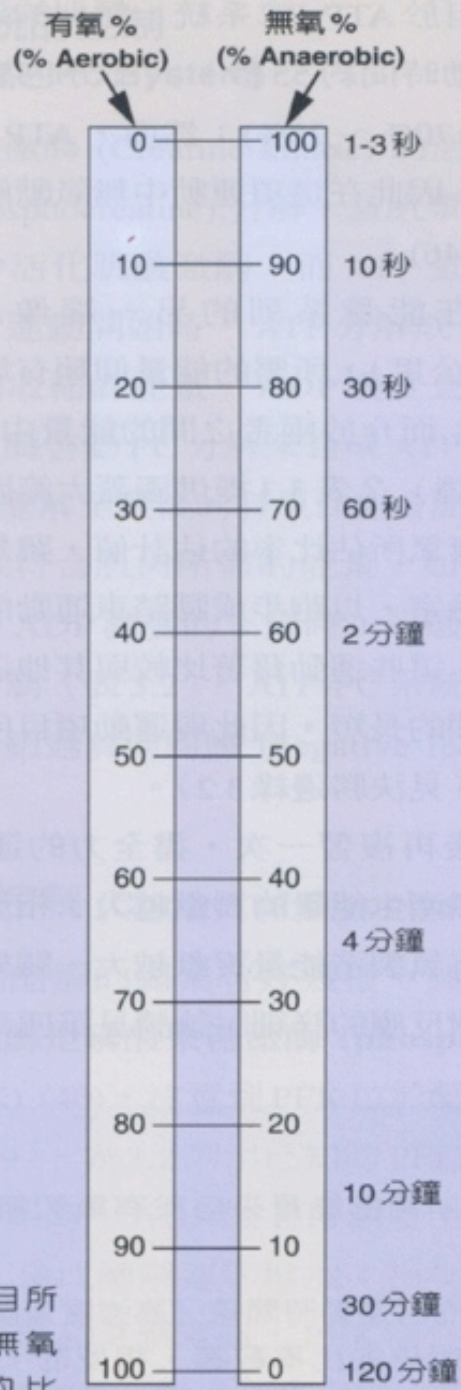
- * 1莫爾葡萄糖經由氧代謝產生38莫爾的ATP。
- * 1莫爾肝醣經由氧代謝產生39莫爾的ATP。
- * 有氧分解的的整理效率約40%，而其他的60%的能量以熱量的形式釋放。
- * 呼吸效率 =
$$\frac{38 \text{ 莫爾ATP} / \text{莫爾葡萄糖} \times 7.3 \text{ 卡} / \text{莫爾ATP}}{686 \text{ 卡} / \text{莫爾葡萄糖}} \times 100 = 40\%$$

分解1分子葡萄糖

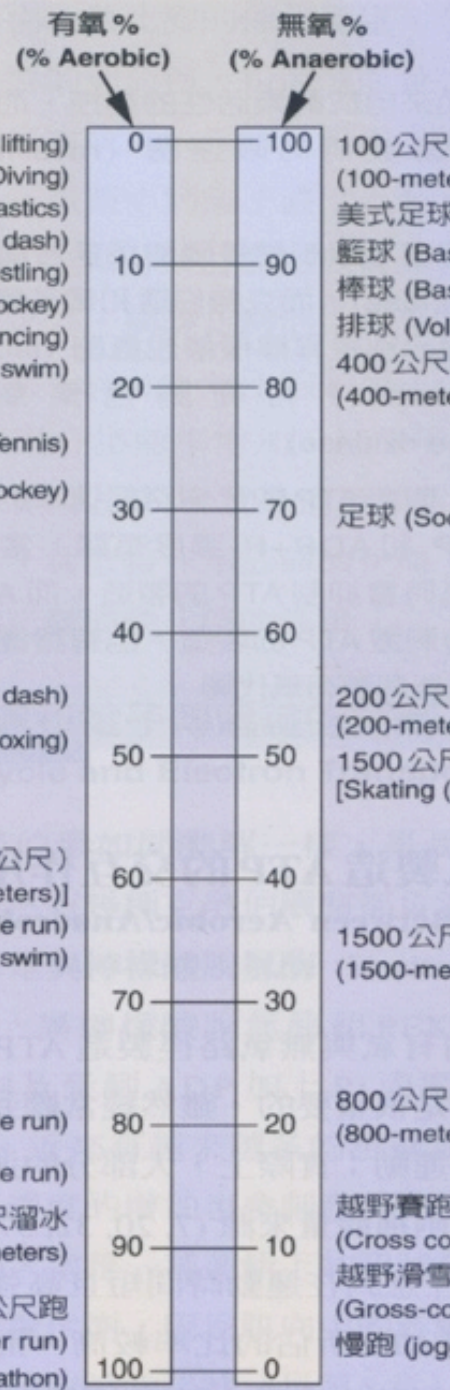
代謝過程	高能產物	氧化獲得的ATP	ATP小計
糖解作用	2ATP 2NADH	-- 6	2 6
丙酮酸至 乙醯輔酶A	2NADH	6	6
克勞伯環	2GTP 6NADH 2FADH	-- 18 4	2 18 4
總計			38

有氧無氧ATP貢獻

最大運動時間									
	秒			分					
	10	30	60	2	4	10	30	60	120
有氧%	10	20	30	40	65	85	95	98	99
無氧%	90	80	70	60	35	15	5	2	1



- 舉重 (Weight lifting)
- 跳水 (Diving)
- 體操 (Gymnastics)
- 200 公尺衝刺 (200-meter dash)
- 摔角 (Wrestling)
- 冰上曲棍球 (Ice hockey)
- 擊劍 (Fencing)
- 100 公尺游泳 (100-meter swim)
- 網球 (Tennis)
- 草地曲棍球 (Field hockey)
- 800 公尺衝刺 (800-meter dash)
- 拳擊 (Boxing)
- 划船 (2000 公尺) [Rowing (2000 meters)]
- 1 英哩跑 (1-mile run)
- 400 公尺游泳 (400-meter swim)
- 2 英哩跑 (2-mile run)
- 3 英哩跑 (3-mile run)
- 10,000 公尺溜冰 (skating 10,000 meters)
- 10,000 公尺跑 (10,000-meter run)
- 馬拉松 (Marathon)



- 100 公尺衝刺 (100-meter dash)
- 美式足球 (Football)
- 籃球 (Basketball)
- 棒球 (Baseball)
- 排球 (Volleyball)
- 400 公尺衝刺 (400-meter dash)
- 足球 (Soccer)
- 200 公尺游泳 (200-meter swim)
- 1500 公尺溜冰 [Skating (1500 meters)]
- 1500 公尺跑步 (1500-meter run)
- 800 公尺游泳 (800-meter swim)
- 越野賽跑 (Cross country running)
- 越野滑雪 (Gross-country skiing)
- 慢跑 (jogging)

圖 3.18
不同運動項目所需的有氧及無氧 ATP 所佔的比率。

F A Q

下週：運動代謝

資料來源

- * 林正常、林貴福、徐台閣、吳慧君譯（2005）運動生理學一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。
- * <http://tw.myblog.yahoo.com/jw!3dEE8aeRGh1hBsoubm8r/article?mid=614>