

運動後過攝氧量之探討

國立台灣體育大學 何伯瑋 陳裕鏞

摘 要

運動之後的恢復期仍持續做較高的耗氧稱為運動後過攝氧量, 影響 EPOC 的因素包括了肌肉中 PC 的再合成、乳酸移除、身體溫度的增高, 體內激素的增高等等因素, 所以身體的基本代謝機制也會影響 EPOC。另外 EPOC 還有快速期和慢速期兩個階段。雖然一些研究表明, EPOC 可能會持續幾個小時, 但也有其他學者得出結論認為 EPOC 的持續期間非常短暫。這矛盾的結果, 如果考慮了運動強度和持續時間就可以解決 EPOC 測量上的問題。也因為如此, EPOC 在強度較低或是運動持續時間較短的運動不明顯, 像是阻力運動對於 EPOC 的關係至今仍不明確, 但是在有氧運動方面, EPOC 取決於運動持續時間和運動強度這兩種因素, 許多學者共同研究的結果找到了關係曲線, 發現有氧運動在越高強度或是越長運動時間可以讓 EPOC 的曲線更為線性且明顯。另外可以在數學公式中以運動設計中的 VO_{2MAX} % 或運動持續時間來預測 EPOC, 而不用在運動之後再另外測量 EPOC 的生成量。將來要做 EPOC 相關研究的時候, 運動強度、運動持續時間、運動型式等皆是必須要考慮的因素。

關鍵字：EPOC、運動強度、運動持續時間

壹、緒論

一、EPOC 的演化

運動期間攝氧量的提升也伴隨著能量消耗隨之增加，而運動過後期間，心跳率和攝氧量並沒有馬上回復到安靜狀態，仍持續做較高的能量消耗以及攝氧量，這就是所謂“運動後過攝氧量” EPOC (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption) 的觀念。早期 Krogh and Lindhard (1919) 兩人提出了運動初期氧不足的假說，缺氧的部分指的是運動時為了供應 ATP 的再合成，所造成肌肉磷酸肌酸消耗的部分。(Hill et al. 1923) 提出氧債的假說，認為運動後會有較高攝氧量的原因有 20%來自於乳酸的氧化，80%來自於乳酸轉化為葡萄糖，認為運動後過攝氧量的原因就是償還運動初期的氧債部分。但是，Gaesser and Brooks (1984) 用 EPOC 的理論駁斥了氧債理論，因為在運動後升高的耗氧量，並不是完全都和身體借氧，認為 EPOC 不只償還了氧債部分，由於影響個人內在差異的因素有肌肉中 PC 的再合成、乳酸移除、身體溫度的增高，體內激素的增高等等因素，使得人體在運動過後仍保持高耗氧的狀態。在本篇論述中 EPOC 包括了數個階段(快速期及慢速期部份)，以及與各個因素加以探討與 EPOC 的關係。

二、早期 EPOC 的迷思

最早發現運動後仍持續做高攝氧量的概念是在 Benedict and Carpenter (1910)兩位學者發表研究的，他們發現兩個不同實驗組別在運動過後休息的 7~13 個小時，休息代謝率 (RMR)提升了 11.1%。認為 EPOC 代表了 RMR 的上升情況，起初認為運動不只要攝氧，能量也會隨之消耗，Herxheimer et al. (1926) 研究五名未接受訓練的受試者在運動後 36~48 小時並不會馬上回復到安靜狀態。Edwards et al. (1935)研究在經過兩個小時的足球比賽之後的 15 個小時，身體的休息代謝提升了 25%。Passmore and Johnson (1960) 發現三名受試者以每小時 6.4 公里速度走 16 公里的路，運動後 7 個小時 RMR 提升了 15%，而且 deVries and Gray (1963)在有氧運動也發現了運動後有高攝氧量的情況，在一個小時的混合有氧運動之後的六個小時，RMR 提升了 10%。但是以上這些學者的研究，並沒有明確的界定運動時間和運動的持續時間為何？只提供了些微的資訊來描述控制組的情況，也沒有說明受試者的個人因素，會影響 RMR 的高低，包括了有無攝取咖啡因、主要運動的不可控制因素、食物、溫度的控制以及個人的心理因素等等，在之前的研究都沒有考量進去，以致早期學者們對於 EPOC 並沒有很深入的了解。

後來，有更多的控制個人因素的研究已經完成，使得近期幾年對於 EPOC 有更深入探討。有一些研究已經證實，EPOC 有可能會持續幾個小時 Gore et al. (1990) & Bahr et al. (1993)，但是也有其他研究得出結論認為 EPOC 只行使了短暫的時間或是沒有 (Elliot and

Hagberg, 1988)。這些產生矛盾的結果，如果考慮到運動強度和持續時間，或許就可以有個明確的EPOC理論，另外考慮性別和不同的運動模式，例如無氧和有氧，這些因素也是有可能會導致EPOC上的不同。

三、EPOC 的測量方法

到底哪些方法才能準確的測量 EPOC 呢？除了需要良好的可重複性間接測量熱量的工具以外，實驗前的控制條件也要非常嚴謹，還要考慮運動的模式與 EPOC 的關係，才能探討 EPOC 的究竟。早期的學者選擇測量攝氧量的工具大部分為道格拉斯袋，但是後來的學者使用自動化氣體分析系統來分析攝氧量的情況，對於這些儀器測量的精準性和誤差並沒有實際考慮進去，因為實驗的工具本身不同的關係，所以沒辦法和早期的學者做一個比較。再來就是實驗前控制條件能不能做得很嚴謹，除了要控制受試者的體重，攝取的食物種類，運動模式必須要一致，EPOC 的時間要拉長到睡眠的時候，必須要睡在實驗室一個晚上直至隔天早上，這時使用間接測量工具困難度就會提升很多 (Turley et al., 1993)，另外，性別不同所要控制的因素也會有所不同，如果要測量女性 EPOC 的話，考慮月經週期的差異，以便精準控制受試者一致性的情況。

另外基準值(baseline)的計算也是一個問題，該問題出現於學者們在測量基準值和 EPOC 之間的時間不一致的情況。計算基準值必須要單獨對照來收集數據，而大部分較新的文獻只用一個實驗前的基準值。在許多研究中，研究者只用早上的 30 分鐘中的最後 10 分鐘來當作 EPOC 的基準值。Bahr et al. (2003) 認為這樣會導致 EPOC 的基準值會偏高，因為在早上人的攝氧量比平常時還要高，導致低估 EPOC 的結果。所以因為受到受試者內在差異的因素，必須要有大量的研究數據才能明確的定義 EPOC。

貳、內文

一、EPOC 的快速期

EPOC 是結合多種人體生理機制下代謝的產物，對於快速期階段至今已有解答，有很多因素影響了 EPOC 快速期的階段，像是償還血液和肌肉的氧債、身體溫度的提升、乳酸的移除、磷酸肌酸的再合成，有學者強調快速期的部分是償還初期氧不足的部分，早期的學者 Asmussen (1946)證明無氧糖酵解有一半來自於乳酸的氧化，Lukin and Ralston (1962)認為氧不足和 EPOC 的比率應該為 2：1，Pearl et al. (1956)認為氧不足和 EPOC 的比率應該為 3：1(這些學者都認為 EPOC 的部分就是氧債)，傳統的乳酸理論就在 Gaesser and Brooks (1984) 用 EPOC 的理論給駁斥了，因為在運動後升高的耗氧量，並不是完全都和

身體借氧，不過快速期是有包含償還氧債的部分，但慢速期卻不是如此，因為醣質新生的影響，還有各種生理因素的變化。

二、EPOC 的慢速期

慢速期的探討就要涉入運動生化領域，身體溫度的增高來讓身體能量消耗增加，並提高運動後的攝氧量，但影響不大，Bahr (1992) 認為只有提高不到 1L 的氧氣。而三酸甘油脂和脂肪酸的比例循環(TG/FA cycle)則是在運動後恢復期扮演重要的角色，當停止高強度運動的時候，體內的脂肪酸和攝氧量仍持續增加，顯示體內為清除代謝廢物，肌肉中的肝糖用盡的情況之下，仍需克勞伯循環產生的能量來恢復安靜時的狀態，醣質新生的作用就因此而產生，運動強度的不同導致慢速期有無發生的情況。

慢速期牽涉到三酸甘油脂和脂肪酸的比例循環(TG/FA cycle)的因素，運動期間的壓力刺激之下，在運動結束之後的一段期間，碳水化合物轉變為脂肪幫身體提供能量，而身體內的腦下垂體前葉就會分泌生長激素、促腎上腺皮質激素(ACTH)，兒茶酚胺等等激素，而其中激素中又會引發升糖素的分泌，抑制胰島素的分泌，因此可以刺激肝醣分解及脂肪細胞釋放脂肪酸，形成醣質新生作用。醣質新生的主要原料是運動後的乳酸、甘油和一些生糖的胺基酸，要經過一段期間才能夠生成新的葡萄糖，而醣質新生作用的主要製造的器官是肝，肝可以直接分解肝糖成為葡萄糖，來提供能量給肌肉使用。

三、運動的持續時間和強度與 EPOC 的關係

在一些研究論文中發現了一致性的關係，有些學者認為在低運動強度和低運動持續時間，EPOC 是不會發生的，Hagberg (1980) 分別在 50%、65%、80%的 VOMAX 中做了 5 分鐘或是 20 分鐘腳踏車實驗，運動後的 35 分鐘卻發現沒有 EPOC 的情況，而 Pacy et al. (1985) 在跑步機上跑了 20~40 分鐘，或是以 4x20 分鐘的腳踏車重複試驗，VO₂MAX 為 35~55%之間，運動後的 40 分鐘也是同樣沒有 EPOC 的情況。Brehm and Gutin (1986)發現 EPOC 跟運動強度有一定的關係在跑步或是走路上面，但是他們控制的強度是在很低的情況下，最高不過為時速 11.3 公里的跑走，以這速度跑完了 3.2 公里，EPOC 為 71KJ(大約為 3.5L 的氧)。Elliot et al. (1988)等人發現在 VO₂MAX80%的腳踏車實驗下，騎乘 10~30 分鐘，EPOC 持續的時間不超過 30 分鐘(也就是 30 分鐘過後攝氧量為安靜時的攝氧量)，最後 Maresh et al. (1992) 在 VO₂MAX60%和 70%的腳踏車實驗下分別騎乘 20 和 30 分鐘，發現 EPOC 的時間不超過 40 分鐘。以上學者認為 EPOC 在低運動強度和低持續時間只行使短暫時間或是完全不會發生。

最早認為 EPOC 會超過 24 小時的學者是 Hermansen 等人在 1984 年的研究，也就是剛好 EPOC 理論出現的那一年 (Gaesser and Brooks, -1984)，Hermansen 以他自己一個人做個

案研究，以 75%VO₂MAX 腳踏車實驗，騎乘 80 分鐘，觀察運動後 12 小時(48L)和 24 小時 EPOC(VO₂ 上升 5.9%)的數據，Bielinski et al. (1985)以 50%VO₂MAX 強度跑步機 3 小時實驗發現運動後 4.5 小時 RMR 提升了 9%，18 小時後 RMR 提升了 4.7%，Mæhlum et al. (1986) 在 VO₂MAX70%的腳踏車實驗，運動時間為 80 分鐘(以 10~30 分鐘為一個階段，間隔休息五分鐘)發現運動後 12 小時(26L)，24 小時後(RMR 提升 5%)，Bahr et al. (1987) 以 VO₂MAX 70%腳踏車分別運動 20、40 和 76 分鐘(20 分鐘為一個階段、中間休息 5 分鐘)發現運動後 12 小時攝氧量分別提升了 5.1%、6.8%和 14.4%，76 分鐘的實驗 EPOC 為 31.9L。Withers et al. (1991) 以 VO₂MAX70%跑步機實驗，運動時間為 164 分鐘，發現運動後 24 小時 EPOC 為 32.4L。以上這些學者認為 EPOC 在高運動強度和高持續時間行使會超過 24 小時，也就是認為運動後過攝氧量在睡眠中也會發生。

認為運動強度和運動持續時間這兩種因素都會影響 EPOC 的大小，Gore and Withers (1990) 作跑步機實驗，運動持續時間分為 20、50、80 分鐘以及運動強度為 30、50、70%VO₂MAX。每個人共完成了九種實驗，每次實驗的間隔為兩天，測量每個人缺氧的部分和與 EPOC 的比率，以及八個小時 EPOC 的數據，並加以統計分析。結果顯示三種運動強度氧不足分別為 0.83、1.89、3.09L 達顯著差異(p<.05)。

EPOC 在運動強度為 30%VO₂MAX 下三種運動持續時間 20 分(1.01L)、50 分 (1.43 L)、80 分(1.04L)沒有顯著差異(p>.05)，不過在運動強度為 70%VO₂MAX 下三種運動持續時間 20 分(5.68L)、50 分(10.04 L)、80 分(14.59L)有顯著差異(p<.05)，運動強度為 50%VO₂MAX 下三種運動持續時間 20 分(3.14L)、50 分(5.19 L)、80 分(6.10L)也有顯著差異(p<.05)，他們認為運動強度影響 EPOC 的程度比運動持續時間還要來得大，因為運動強度的系統性變異量達到 45.5%，但是運動持續時間和交互作用只達到 8.9%和 7.7%。但如果以 Wenger (1985) 所做的實驗與 Gore and Withers 的研究相比較，他認為影響 EPOC 的因素，運動持續時間比運動強度來得重要，他做了 50%VO₂MAX 38 分鐘的腳踏車實驗 (EPOC 為 8.41L)顯著高於 70%VO₂MAX30 分鐘(EPOC 為 5L)，不過他們只做了單一性的比較，沒有控制好實驗的變因，因此給人錯誤的印象，然而 Chad and Wenger (1988)又以 VO₂MAX70%腳踏車實驗分別騎乘 30、45 和 60 分鐘，EPOC 分別為 6.6L(128 分鐘)、14.9L(204 分鐘)及 33L(455 分鐘)。Quinn et al. (1994) 以 VO₂MAX70%跑步機實驗分別運動 20、40 和 60 分鐘，3 小時的 EPOC 分別為 8.6、9.8 和 15.2L。因為 Chad and Wenger 計算 EPOC 時間不同所以也沒辦法做比較，不過可以確定的是在高強度運動中，運動持續的時間長短都會有 EPOC 的產生，而且時間越長 EPOC 的量也會越多。

小結：

許多學者以證實出 EPOC 和運動強度有密切相關 (Bahr et al., 1987; Brehm & Gutin 1986; Christensen & Hagberg, 1950; Knuttgen, 1970; Lukin & Ralston, 1962; Schneider et al. 1968), 如果運動強度達到 100%VO₂MAX, 則 EPOC 就會呈倍數增加 (Brehm and Gutin 1986; Christensen and Hagberg 1950; Hagberg et al. 1980; Knuttgen 1970). 此外, 運動的持續時間影響 EPOC 的量到目前為止還是有爭論, 是因為運動強度和運動持續時間的交互作用以及運動持續時間的介定仍不明確, 必須還是要有大量樣本才可釐清。

Gore 和 Withers 研究發現運動持續時間 5~20 分鐘, 運動強度 30~50% 所造成 EPOC 的量是一樣的。換句話說, Bahr et al. (1987) 研究在 70%VO₂MAX 的運動強度下運動 20 分鐘、40 分鐘、80 分鐘的腳踏車實驗, EPOC 在運動後的 12 個小時測得的數據是一樣的。

Hagberg et al. (1980) 發現 50%VO₂MAX 和 65%VO₂MAX 的運動強度, 測得 EPOC 的時間為 5 或 20 分鐘是沒有顯著差異的。Gore and Withers (1990) 實驗說明了只有在大於 50% 的運動強度, EPOC 的時間可延長至八小時。說明了運動強度不只是影響了 EPOC, 運動持續時間過了某一個閾值也是影響 EPOC 的一個因素。

四、EPOC 的預測公式

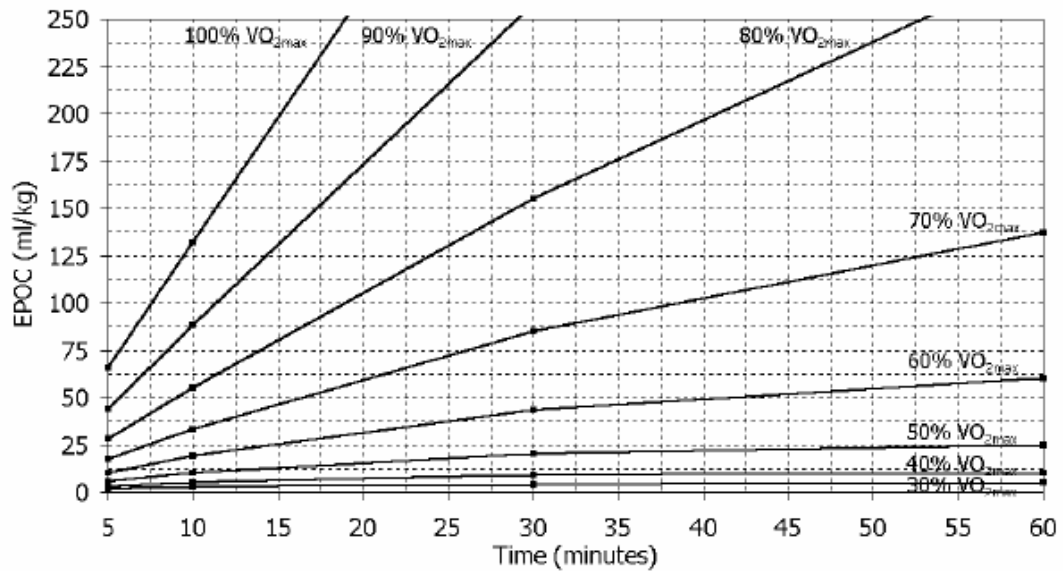
EPOC 反映了人體在運動後恢復過程的需求, 像是代謝率的增加(運動後體溫的升高、心跳率的增高、荷爾蒙的提升)、人體能量代謝後的恢復再生成(氧氣、ATP、CP), 造成一種自然的人體代謝機制 (Brooks & Fahey, 1984; Børsheim & Bahr, 2003)。但以其心跳率而言, 因為方便測量而且與能量消耗和攝氧量成正相關的關係, 若以簡單的心跳率就可以來預測 EPOC 的生成量, 不必再耗費長時間就可以來預測, 因此有運動相關產業 Firstbeat 有限公司找了大量樣本做一個 EPOC 的常模公式, 設計了 48 種運動模式, 共有男女 158 人參與。其中男女生裡面有分訓練和非訓練的, 運動持續時間從 2 到 180 分鐘都有, 而運動強度從 18% 到 108% 都有, 運動模式有連續或間歇性運動, 包括跑步機和騎腳踏車實驗, 藉這個常模公式來以運動設計中的 VO₂MAX% 或運動持續時間來預測 EPOC 的量, 而不用在運動後再另外測量 EPOC 的生成量。

變數使用了兩個變數, 一個是當下的 VO₂MAX%, 另一個則是運動持續時間 Δt 公式如下：

$$EPOC(t) = f(EPOC(t-1), \text{exercise_intensity}(t), \Delta t). (1) \text{ (Saalasti, 2003)}$$

以特定的運動強度和特定的運動持續時間就可以預測 EPOC 的量(ml/kg)

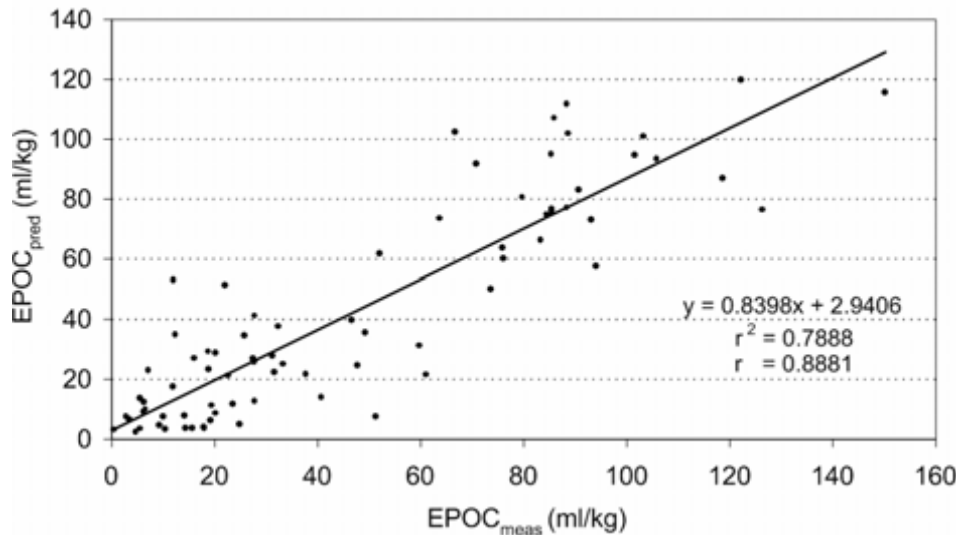
圖一：特定運動強度與特定運動時間所預測的 EPOC



資料來源：Firstbeat Technologies Ltd

以這個圖來看，運動強度和運動持續時間與 EPOC 的生成量是呈現一個線性關係，若是在低運動強度和低運動持續時間，EPOC 的預測上就相當接近，以 30%VO_{2MAX} 和 40% 來看，運動持續時間若為 30 分鐘則 EPOC 的量就會差不多，但是如果跟 80%VO_{2MAX} 來比，差距就顯得相當明顯了。

圖二：以心跳數來預測 EPOC 的回歸公式與實際測量 EPOC 的相關圖



資料來源：修改自 Rusko et al., (2003) 來自 (Firstbeat Technologies Ltd)

相關係數達到 0.88 以上，算是相當有效的預測公式，不過還是有一定的誤差存在，不過在測量 EPOC 上面增添了方便性，以供在研究 EPOC 的學者們一個很好的參考價值。

五、運動的型式與 EPOC 的關係

本篇研究以前學者探討 EPOC 所採取的運動模式不外乎就是腳踏車和跑步機兩種，兩種模式在同種運動強度下究竟有沒有差異？這還需要進一步做新的研究，目前並沒有學者針對同種運動強度下不同運動模式來做 EPOC 的探討，也沒有針對同種運動持續時間下不同運動模式，不過大部分學者所採用的運動模式為腳踏車測驗，跑步機相對較少許多，但是也有學者以游泳和腳踏車來做個比較，Neary et al. (1993) 以游泳和 65%VO₂MAX 腳踏車實驗分別運動 30、45 和 60 分鐘，游泳的 EPOC 分別為 5.3(8.1 分鐘)、5.6(10.1 分鐘)、5.6L(9.4 分鐘)，腳踏車則是 8.2(18.3 分鐘)、9.9(20.4 分鐘)和 10L(22.9 分鐘)。筆者在 EPOC 的量後面加上時間代表的是以恢復到安靜狀態的時間，有學者以特定時間來計算 EPOC 的量，也有學者認為要恢復到安靜狀態的時間，EPOC 的量才會準確，計算方法上見仁見智，但基本原理都是一樣的。

六、受試者訓練型態與 EPOC 的關係

目前並沒有專門研究受試者訓練型態與 EPOC 之間的關係，不過有幾篇類似的研究，像是 Sedlock (1994) 找了 10 名男性(5 名有訓練、5 名未訓練)分別做 VO₂MAX50%腳踏車實驗發現兩組的 EPOC 並沒有顯著差異(有訓練和未訓練同 2.5L，EPOC 的時間是 16.6 和 20.4 分鐘)，Frey et al. (1993) 13 位女性(7 名未訓練, 6 名有訓練) 分別做 VO₂MAX65% 和 80%腳踏車實驗(24~45 分鐘)發現兩組的 EPOC 也是沒顯著差異(未訓練為 4L 和 5.9L(運動後休息時間同為 60 分鐘)，有訓練為 4.7L(50 分鐘)和 5.6L(40 分鐘)。以 Sedlock 的結果來看可能腳踏車運動強度並不是很高，所以導致 EPOC 沒有差異，而 Frey 等人雖然沒有看出顯著差異，是因為計算 EPOC 時間不同，所以也沒達顯著。結果這些研究很難看得出訓練型態和 EPOC 之間的關係，除了要控制兩個組別之間必須要有很明顯的差距，運動的強度和持續時間也要控制一樣，實驗的難度就提高許多，至今尚未釐清。

七、EPOC 與阻力運動的關係

EPOC 常在有氧運動和阻力運動之間做比較，雖然阻力運動常被看作是無氧運動，但它仍屬於不穩定性間歇性運動，學者研究出高強度的阻力運動可產生大量的 EPOC，但作功量與每人 EPOC 之間的關係卻很難定義，(Burlerson et al. 1998; Gillette et al. 1994)認為能量的消耗與攝氧量的上升是有類似的關係，因此以運動後過攝氧量和運動後的能量消耗來去描述阻力運動和有氧運動之間的關係是可行的，所以阻力運動的 EPOC 生成量常拿來跟跑步機或是腳踏車實驗做比較，像是 Elliot et al. (1992) 讓受試者進行 40 分鐘、80% HRmax 的腳踏車運動、阻力循環運動(4 組、8 個動作、50% 1RM 的強度、15 次反覆)和阻力高強度運動(3 組 8 個動作 80-90% 1RM 的強度)，結果發現高強度阻力運動的 EPOC 生成量大於阻力循環運動，但是受試者之間的作功量難以描述。而 Burlerson et al. (1998) 分別做了阻力運動(2 組 8 個動作 強度 60%1RM 反覆次數 8 - 12 次)和 45%VO₂MAX、運動時間 27 分鐘的跑步機實驗，受試者先做阻力運動，然後再以平均攝氧量，阻力運動的強度來當跑步機的強度，最後發現阻力運動後 30 分鐘的 EPOC 大於跑步機實驗，但是運動後 60 分鐘和 90 分鐘卻沒有顯著差異，顯然阻力運動雖然強度大於跑步機，但它屬於一種不穩定的間歇性運動，所以造成之後的 EPOC 的量不明顯，雖然阻力運動的攝氧量和跑步機的攝氧量控制相同，但是這項實驗並沒有描述阻力運動的作功量，因為要以間接測量法來測量阻力運動的能量消耗是有難度的。

阻力運動強度的不同也會影響 EPOC 生成量的不同，Thornton and Potteiger (2002)找了 14 名女性分別做兩種不同強度的阻力運動，A 組是(9 個上肢和下肢動作 2 組，15 次反覆，45%強度 1RM，1 分鐘休息) B 組則做(9 個上肢和下肢動作 2 組，8 次反覆，85%強度

8RM, 1 分鐘休息)發現運動後兩小時, A 組 EPOC 約為 1.1L(5.5kcal), B 組則是約為 2.3L(11kcal)。阻力運動強度越高, 身體作功量提高, EPOC 的生成量也會隨之提高。

有學者認為阻力運動 EPOC 生成量會超過 24 小時甚至到 48 小時, Dolezal et al. (2000) 找了 18 名男性受試者(9 名有訓練, 9 名未訓練)(8 個腿部動作, 6 次反覆, 6RM, 間隔 3 分鐘休息)發現運動後 24 小時 RMR 上升了 18%, 48 小時後 RMR 上升了 11%。而 Osterberg and Melby (2000) 找了 7 名女性(上肢和下肢共 10 項運動 5 組, 10~15 次反覆, 12RM 或是強度 70%1RM, 間隔休息 2 分鐘)發現運動後 3 小時攝氧量上升了 13%, 16 小時後 RMR 也上升 4.2%。Schuenke et al. (2002)找了七名男性做阻力循環運動(4 個上肢和下肢動作 3 組、50% 10RM 的強度、8~12 次反覆、間隔兩分鐘休息), 發現運動後 38 小時 RMR 平均提升了 20%。另外 Melby et al. (1993) 找了兩組男性, 1 組做 (10 個上肢和下肢動作 6 組, 8~12 次反覆, 70% of 1RM, 90 分鐘休息), 另一組也是做類似的動作 (10 個上肢和下肢動作 5 組、8~12 次反覆、70% of 1RM, 90 分鐘休息), 運動後 15 小時 EPOC 兩組同為 7L 沒顯著差異。

Binzen et al. (2001) 找了 10 名女性(上肢和下肢共 10 項運動 3 組, 10 次反覆, 強度 70%1RM, 間隔休息 1 分鐘) 發現運動後一小時 EPOC 為 1L。

從以上研究結果可以得知, 阻力運動產生 EPOC 的量與運動強度有很密切的關聯, 除了能量消耗會隨著運動強度增高而提升, 恢復到安靜時期的攝氧量時間拉長, 而且在高強度阻力運動下 EPOC 也是有可能會延長到一整天的, 但是要探討阻力運動的能量消耗和 EPOC 生成的直接關係還是需要更進一步的探討, 除了要限制阻力運動的強度和持續時間, 休息的時間因素也要考慮進去, 才能更一步確立 EPOC 與阻力運動之間的關係。

表一 阻力運動對於運動後過攝氧量之相關研究

學者	年代	受試者條件	實驗內容	EPOC 的時間與生成量
Elliot et al.	1992	5 男 5 女	40 分鐘、80% HRmax 的腳踏車運動、阻力循環運動(4 組、8 個動作、50% 1RM 的強度、15 次反覆)和阻力高強度運動(3 組、8 個動作、80-90% 1RM 的強度)	阻力循環運動 10.2L(48kcal) 阻力高強度運動 10.6L(51kcal)
Melby et al.	1993	12 男分兩組	一組為 10 個上肢和下肢動作 6 組, 8~12 次反覆, 70% 1RM 的強度, 90 分鐘休息 另一組為 10 個上肢和下肢動作 5 組, 8~12 次反覆, 70% 1RM 的強度, 90 分鐘休息	15 小時後兩組同為 7L, 沒顯著差異

Gillette et al.	1994	10 男	5 組、10 個動作、70%1RM 的強度、8-12 次反覆，間隔休息 2 分鐘	5 小時後為 12.6L
Burleson et al.	1998	15 男	阻力運動(2 組、8 個動作、60%1RM 的強度、8 - 12 次)和 45%VO2MAX、運動時間 27 分鐘的跑步機實驗	30 分鐘兩組有顯著差異，60 和 90 分鐘無顯著差異
Dolezal et al.	2000	18 男(9 名有訓練、9 名未訓練)	阻力運動(8 個腿部動作，6 次反覆，6RM，間隔休息 3 分鐘)	未訓練 EPOC > 有訓練，24 小時後 RMR 上升了 18%
Osterberg & Melby	2000	7 女	阻力運動(上肢和下肢共 10 項運動 5 組，10~15 次反覆，12RM 或是強度 70%1RM，間隔休息 2 分鐘)	3 小時後 EPOC 上升了 13%，16 小時後 RMR 上升 4.2%
Binzen et al.	2001	10 女	(上肢和下肢共 10 項運動 3 組，10 次反覆，強度 70%1RM，間隔休息 1 分鐘)	1 小時後為 1L
Schuenke et al.	2002	7 男	阻力循環運動(4 個上肢和下肢動作 3 組、50% 10RM 的強度、8~12 次反覆、間隔休息兩分鐘)	38 小時後 RMR 平均上升了 20%

EPOC 為運動後過攝氧量，RMR 為休息代謝率，RM 為能重複的最高次數，1RM 為最大肌力

參、結論

將來要做 EPOC 相關研究的時候，加進運動強度和運動持續時間是必要條件，再者是考慮運動的型式，例如：無氧或是有氧運動。運動的種類與性別差異對於 EPOC 的關係至今無法明朗化，因為要設計適當的實驗流程困難度會相對提高許多，也難以去評估這些因素影響 EPOC 的大小。而阻力運動跟 EPOC 之間的關係至今仍不明確，因為運動強度和持續時間無法確立，不過在高強度阻力運動的確是有 EPOC 的產生，而且 EPOC 持續的時間也延長了。至於有氧運動跟 EPOC 之間的關係在這篇論述中已經有了初步的概念，在強度越高或是運動持續時間越長的有氧運動，EPOC 與運動強度跟運動持續時間越有一定的線性關係，而在短時間、低強度運動的 EPOC 不明顯，甚至可能沒有慢速期階段的產生。

肆、參考文獻

- Asmussen E. (1946). Aerobic recovery after anaerobiosis in rest and work. *Acta physiologica Scandinavica* 11, 197-210
- Alpert N. R. (1965). Lactate production and removal and the regulation of metabolism. *Annals of the New York Academy of Sciences* 119, 995-1002
- Benedict F. G, Carpenter T. M. (1910). The metabolism and energy transformations of healthy man during rest. *Washington, DC, The Carnegie Institute.*
- Bonde-Petersen F, Knuttgen H. G, Henriksson J. (1972). Muscle metabolism during exercise with concentric and eccentric contractions. *Journal of applied physiology* 33, 792-795
- Bielinski R, Schutz Y, Jequier E. (1985). Energy metabolism during the postexercise recovery in man. *The American journal of clinical nutrition* 42 (1), 69-82
- Brehm B. A, Gutin B. (1986). Recovery energy expenditure for steady state exercise in runners and nonexercisers. *Medicine and science in sports and exercise* 18, 205-210
- Bahr R, Inghes I, Vaage O, Sejersted O. M, Newsholme E. A. (1987). Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Journal of applied physiology* 62, 485-490
- Bahr R. (1992). Excess postexercise oxygen consumption: magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum* 605, 1-70
- Burleson Jr M. A, O'Bryant H. S, Stone M. H, et al. (1998). Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Medicine and science in sports and exercise* 30 (4), 518-22
- Christensen E. H, H6gberg P. (1950). Steady-state, O₂ deficit and O₂ debt at severe work. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschliesslich Arbeitsphysiologie* 14, 251-254
- Consolazio C. F, Johnson R. E, Pecora L. J. (1963). Physiological measurements of metabolic functions in man. *McGraw-Hill, New York, p 47*
- Cerretelli P, Shindell P, Pendergast D. P, Di Prampero P. E, Rennie D. W. (1977). Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work. *Respiration physiology* 30, 81-97
- Chad K. E, Wenger H. A. (1985). The effects of duration and intensity on the exercise and post-exercise metabolic rate. *Australian journal of science and medicine in sport* 17 (4),

14-18

- Edwards H. T, Thorndike A, Dill D. B. (1935). The energy requirements in strenuous muscular exercise. *The New England journal of medicine* 213, 532-5
- Elliot D. L, Goldberg L, Kuehl K. S. (1988). Does aerobic conditioning cause a sustained increase in the metabolic rate? *The American journal of the medical sciences* 296, 249-51
- Furusawa K, Hill A. V, Long C. N. H, Lupton H. (1924). Muscular exercise and oxygen requirement. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing papers of a Biological character. Royal Society (Great Britain)* 97, 167-176
- Frey G. C, Byrnes W. C, Mazzeo R. S. (1993). Factors influencing excess postexercise oxygen consumption in trained and untrained women. *Metabolism: clinical and experimental* 42 (7), 822-8
- Gaesser G. A, Brooks G. A. (1984). Metabolic bases of excess postexercise oxygen consumption: a review. *Medicine and science in sports and exercise* 16:29-43
- Gore C. J, Withers R. T. (1990). Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of applied physiology* 68 (6), 2362-8
- Gillette C. A, Bullough R. C, Melby C. (1994). Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistive exercise. *International journal of sport nutrition* 4, 347-60
- Hill A. V, Lupton H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *The Quarterly journal of medicine* 16, 135-71
- Herxheimer H, Wissing E, Wolff E. (1926). Spätwirkungen erschöpfender Muskelarbeit auf den Sauerstoffverbrauch. *Z Gesamte Advances in experimental medicine and biology* 51, 916-28
- Hagberg J. M, Mullin J. P, Nagle F. J. (1980). Effect of work intensity and duration on recovery O₂. *Journal of applied physiology* 48, 540-4
- Hermansen L, Grandmontagne M, Mæhlum S, et al. (1984). Post-exercise elevation of resting oxygen uptake: possible mechanisms and physiological significance. In: Marconnet P, Poortmans J, Hermansen L, editors. *Medicine and sport science. Vol. 17. Basel: Karger*, 119-29
- Lukin L, Ralston H. J. (1962). Oxygen deficit and repayment in exercise. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschliesslich Arbeitsphysiologie* 19, 183-193
- Margaria R, Edwards H. T, Dill O. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and

- paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *The American journal of physiology* 106, 689-715
- Maresh C. M, Abraham A, De Souza M. J, et al. (1962). Oxygen consumption following exercise of moderate intensity and duration. *European journal of applied physiology* 65, 421-6
- Miyoshi H, Schulman G. I, Peters E. J, et al. (1988). Hormonal control of cycling in humans. *The Journal of clinical investigation* 81, 1545-55
- Melby C, Scholl C, Edwards G, et al. (1993). Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting meta-bolic rate. *Journal of applied physiology* 75 (4), 1847-53
- Neary J. P, Docherty D, Wenger H. A. (1993). Post-exercise metabolic rate is influenced by elevated core temperature. *Australian journal of science and medicine in sport* 25 (2), 43-7
- Osterberg K. L, Melby C. L. (2000) Effect of acute resistance exercise on postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate in young women. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism* 10 (1), 71-81
- Pearl D. C, Carlson L. D, Sherwood W. W. (1956). Mechanism of oxygen deficit. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. Society for Experimental Biology and Medicine* 92, 277-281
- Quinn T. J, Vroman N. B, Kertzer R. (1994). Postexercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Medicine and science in sports and exercise* 26 (7), 908-13
- Sedlock D. A. (1994). Fitness level and postexercise energy expenditure. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 34 (4), 336-42
- Turley K. R, McBride P. J, Wilmore JH. (1993). Resting metabolic rate 45. measured after subjects spent the night at home vs at a clinic. *The American journal of clinical nutrition* 58 (2), 141-4
- Thornton M. K, Potteiger J.(2002). A. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medical science* 439-48 *Medicine and science in sports and exercise* 34 (4), 715-22