

# 咖啡因和冷刺激對運動代謝和有氧工作效率的影響

謝伸裕

國立臺灣師範大學體育學系

## 摘要

本驗研究咖啡因和冷刺激在人體浸滯水中時對運動代謝和有氧工作效率(AWE, 每消耗1公升的氧所能作的功)的影響。受試者是十名健康的男子(29.4±3.4歲, 77.1±6.7公斤)浸滯在水中作腳踏車運動55分鐘。其運動強度為每公斤體重每分1.5瓦特, 平均分鐘117±11瓦特。測驗情況有四種: 28度C非藥劑(Placebo)(28P), 28度C咖啡因(每公斤體重5毫克)(28CF), 18度C非藥劑(18P)和18度C咖啡因(18CF)。非藥劑或咖啡因均在運動前90分鐘服用。實驗結果發現耗氧量因咖啡因和冷刺激而顯著的上昇。耗氧量最大者為18C(2.56升/分)而最小者為28P(2.32升/分)。AWE則因咖啡因和冷刺激的影響而顯著的降低。血液中游離脂肪酸(FFA)因咖啡因而昇高, 但因冷刺激而被抑制。FFA以28CF(1.24mmol/L)最高, 以18P(0.62mmol/L)最低。血液中的乳酸也顯著的受咖啡因和冷刺激的影響而提昇。乳酸最高是在18CF(5.5mmol/L)而最低是在28P(3.8mmol/L)。結論: 運動時咖啡和冷刺激能堆加式的使耗氧量提昇, 而同時降低AWE。咖啡因和冷刺激促進的是無氧代謝而不是有氧代謝。

## 壹、前言

咖啡因(caffeine, 簡稱Cf)是全世界最普遍的飲料成分之一。咖啡因很容易被腸胃吸收, 而其藥劑效果也即刻可以顯現。其主要的效果包括使中樞神經系統興奮, 動員代謝物質, 和可能增進肌肉收縮的功能(Power and Dodd, 1985)。近年來, 咖啡因的效能也成為運動生理學家們所探討的對象。

Costill 等(1978)發現服用330毫克的咖啡因能增進游離脂肪酸(free fatty acids, 簡稱FFA)的氧化74.6%, 因此使受試者運動到衰竭的時間延長19.5%。又Ivy等(1979)也發現在120分鐘中強度的持續運動中服用總共500毫克的咖啡因能比控制組增加7.4%的工作量, 增進游離脂肪酸的氧化作用31%。不過Ivy等也發現咖啡因增加了運動時之耗氧量(oxygen consumption, 簡稱VO<sub>2</sub>)7.3%。

咖啡因所以能促進持續性之運動成績主要的是因為它能加速體內脂肪細胞之脂質分解作用(lipolysis)。咖啡因能直接或間接的使細胞內cAMP濃度增高, 因此能加速脂細胞放出游離脂肪酸進入血液循環, 供給各細胞組織能量之來源(Martin等, 1983)。在老鼠的實驗中(Rennie等, 1976), 血液中游離脂肪酸濃度之提高, 能促使骨骼肌在運動時利用較多的游離脂肪酸為能源而節省肌肉內之肝糖。此現象也在人類實驗中證實過(Essig等, 1980)。此種與咖啡因有關的肌肉肝糖節省之好處, 也在馬拉松賽跑時證實過(Callow等, 1986)。

人在寒冷的氣候和深海中操作時, 常常遭遇到的是冷刺激(cold stress)。冷刺激也能引起類似咖啡因所引起的效果。在小狗處於冷空氣中的實驗, 血漿中的甘油和游離脂肪酸之濃度均有顯著上昇的情形(Baum等, 1971)。同時血漿

中的腎上腺素(epinephrine)在老鼠受冷刺激時(Chin等,1973)和人類在洗冷水澡時(Keatinge等,1964)都有顯著的提高。而腎上腺素則是引起脂細胞脂肪分解的內分泌物之一(Martin等,1983)。

既然咖啡因和冷刺激的生理反應有不少類似處,而工作者在冬天到戶外作業或在深海工作前都有飲用熱咖啡或茶的習慣,問題是如果此兩種因素同時加諸於人體時,其效果是加倍的或是相互抵制的呢?又此二因素是否會同時影響到有氧的工作效率(aerobic work efficiency,簡稱AWE)呢? Temple和Haymes(1983)曾提到在室溫5°C作中強度的運動前服用咖啡因(每公斤體服用5毫克),體內游離脂肪酸之氧化作用有被阻礙的現象。本研究的目的就是為了能進一步的瞭解咖啡因和冷刺激對運動代謝和有氧工作效率的影響。

## 貳、方法

### 一、受試者:

受試者是10位志願的健康男性。在實驗開始前的諮詢過程中,每位均瞭解本實驗的目的,過程和可能發生的危險,且在志願同意書上簽名。若平均每天飲用四杯以上的咖啡或茶者則不能採用。受試者均無心肺機能和神經系統不正常之狀況或先例,且都有常運動的習慣。他們除得維持平常的飲食起居外,還得在受測前24小時寫日記。受試者也必須遵守以下的規定:(1)受試前4小時不能飲食;(2)受試前24小時不能作消耗體能或勞力性的工作;(3)受試前24小時不能食用任何有咖啡因的飲料或食品;(4)受試前36小時不能飲用有酒精之飲料。

### 二、實驗設計:

每位受試者每週都在同一時間受測一次。測驗情況共有四種:(1)服用咖啡因(Cf)在28°C水中運動(此情況簡稱28Cf);(2)服用咖啡因在18°C水中運動(此情況簡稱18Cf);(3)服用非藥劑(P)在28°C水中運動(此情況簡稱28P);(4)服用非藥劑在18°C水中運動(此情況簡稱18P)。在初步研究中發現在28°C的水中做60分鐘中等強度的運動(體重每公斤1.5瓦特的工作)時是屬中性溫度(therma 1-neutral temperature),即運動時所產生的熱能等於在水中失去的熱能。而18°C的水溫則是足夠引起許多生理反應的冷刺激。

每位受試者四種情況之測驗程序均以平衡次序(balanced order)來調配,以減少因測驗次序而引起的測驗誤差。咖啡因(體重每公斤5毫克)或非藥劑(用食用麵粉)裝在不透明的膠囊裡在受測前90分鐘服用。因為咖啡因在人體內的半衰期(half-life)約為3.5小時(Drews,1984),且血液中的咖啡因濃度在服用60到90分鐘後達最高值(Kamimori等,1987),在受測前90分鐘服用可以確定在整個實驗過程中受試者均在咖啡因之藥劑影響下。藥物的給予是雙盲式的,也就是受試者和測驗者均不知道當天的藥劑情況。

### 三、測驗程序:

整個實驗過程均在水中進行,而且可分為四個小階段:(1)5分鐘的休息,(2)

5分鐘的暖身運動(50瓦特,不分體重), (3)55分鐘的中強度運動(每公斤體重1.5瓦特), (4)15分鐘的運動後恢復。測驗時受試者僅穿游泳褲坐在一電動且有總工作量綜合器(total work integrator)的腳踏車測量器上受測。而此腳踏車測量器則置於一720加侖的大水槽中,受試者的身體除頭部外均浸在水中。

耗氧量( $V_{O_2}$ )以開放式的能量測量法(open-circuit spirometric techniques)每分鐘量一次。瓦斯分析器均在測驗前和測驗後校正其準確度。有氧工作效率(AWE)則以在每公斤體重1.5瓦特的階段每分鐘之工作量(瓦特/分)除以當時每分鐘的耗氧量(公升/分)來計算。所以有氧工作效率的單位是瓦特/公升的氧。為了防止受試者體溫過低的情況發生,肛門溫(rectal temperature)每五分鐘查錄一次,如肛門溫降到 $35^{\circ}\text{C}$ 或以下者,測驗即告終止。在所有20次的 $18^{\circ}\text{C}$ 水溫之測驗中,曾有兩次因此而被迫終止,以保護受試者生命之安全。

#### 四、血液樣本:

靜脈血樣本以14號5公分長的置靜脈導管(intravenous catheter)置於前臂靜脈中取出。導管與皮膚接觸處則加以消毒和防水,以防止感染發炎。血液樣本則在飲用藥物前和在水中運動時每10分鐘抽取一次。血樣本中的血清即時用離心器將其與血蛋白分開,以便作游離脂肪酸和乳酸(lactic acids,或lactate)分析之用。游離脂肪酸是以鈷化和色度計量法來決定其濃度(日本Wako化學公司藥品)。乳酸則以YSI 2746 L-乳酸藥品在YSI 27型乳酸分析器(Yellow Spring Instrument, Ohio)決定其濃度。

#### 五、資料統計分析:

耗氧量, 有氧工作效率, 游離脂肪酸和乳酸因咖啡因和冷刺激在運動時所發生的變化均以雙因子變異數分析(two-way analysis of Variance)重複量數(repeated measures)法來處理。在平均值間有顯著的差異時則以紐曼-柯爾氏(Newman-Keuls)的多種比較法(multiple comparison)來分析。顯著性均以 $p < 0.05$ 為接受標準。

## 參、結果

受試者的平均年齡為29.4歲,平均體重為77.1公斤,平均身高為176.0公分。最大氧攝取量( $V_{O_2 \text{ max}}$ )在"乾"的情況下測定時平均值為 $48.2 \text{ ml/kg/min}$ ,體脂肪百分比(以水中稱重法測量)平均值為15.1%(表一)。服用前(四種測驗情況)和服用後(兩種咖啡因情況)血清中的咖啡因濃度則列於表二。跟同情況的相比,血清的咖啡因濃度均無顯著的差別。測驗時所記錄下來的實際水溫平均值也在表二中。測驗前後水溫變化的平均值,在 $28^{\circ}\text{C}$ 的溫度情況下是正 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,在 $18^{\circ}\text{C}$ 情況下,其平均值為正 $0.7^{\circ}\text{C}$ 。

在117瓦特(體重每公斤1.5瓦特運動時之平均值)的運動過程中,其耗氧量在5分鐘內即達到隱定率(steady-rate)(請看圖一)。每分鐘耗氧量的平均值在

28P 情況時為 2.23 升, 在 28Cf 情況時為 2.37 升, 在 18P 情況時為 2.46 升, 而在 18Cf 情況時為 2.56 升(表三), 而此四平均值間均有顯著的不同( $p < 0.05$ )。由表三底下的平均值比較中可以看出咖啡因和冷刺激對耗氧量均有很明顯的影響, 而其影響, 是可以相加的。因為在每一情況下工作量並無差別(表二), 有氧工作效率便因此與耗氧量之大小恰恰相反(表三), 即咖啡因加上冷刺激大大的降低有氧工作效率。有氧工作效率最高平均值是在 28P 情況, 每升氧 52.4 瓦特, 最低平均值則在 18Cf 情況, 每升氧 44.9 瓦特。

血液中的游離脂肪酸濃度在四種情況下均依時間而上升(圖二), 而咖啡因則比非藥劑更能提昇游離脂肪酸之濃度(表三), 不過冷刺激似乎有抑制游離脂肪酸上昇的傾向。游離脂肪酸濃度最高的是在 28Cf 情況, 每升血 1.24mmol, 最低值則在 18P 情況, 每升血 0.26mmol。血清的乳酸濃度也很明顯的受到咖啡因之影響(圖三和表三), 冷刺激對乳酸的影響也可在咖啡因之情況下看出(表三), 乳酸濃度最高平均值是在 18Cf 情況, 每升血 5.6mmol, 而最低平均值則在 28P 情況, 每升血 3.8mmol。需要提及的是每一種情況受測前受試者之血清游離脂肪酸和乳酸之濃度均無差異。

## 肆、討論

服用體重每公斤 5 毫克的咖啡因相當於飲用四杯五盎斯的咖啡(Barone and Roberts, 1984)。本實驗在進入水中運動前 90 分鐘給受試者服用咖啡因, 使血液中的咖啡因濃度在 60 分鐘的運動後提昇了約 18 倍(表二)。如此可以肯定受試者在實驗過程中均在咖啡因的藥劑影響之下。

本實驗的咖啡因劑量確實比非藥劑情況更能提升在運動時血液中的游離脂肪酸。文獻中曾提到足夠的游離脂肪酸能促使肌肉使用更多的脂肪酸為能源而節省肌肉中之肝糖。本實驗資料顯示運動時脂肪酸的使用現象, 當運動結束時(圖二第 60 分鐘), 游離脂肪酸仍繼續上昇(圖二第 70 和 75 分鐘)。這與 Temples and Haymes(1983)的報告有所不同。他們稱咖啡因抑制在冷空氣中運動時肌肉氧化脂肪酸的能力。依本實驗資料, 應該是冷刺激而不是咖啡因影響了脂肪酸的氧化功能。

咖啡因也比非藥劑更能提昇血液中乳酸濃度。血液中的乳酸濃度顯示著乳酸的形成和乳酸驅除間的不平衡(Brooks and Fahey, 1984)。不過在一般的情況下, 乳酸濃度的提高, 表示無氧糖解作用(anaerobic glycolysis)的加速。另外, 咖啡因有加速肝臟和肌肉系統中肝糖解化的功效(Lehninger, 1975)。這也可以視為是咖啡因加速無氧糖解作用的證明。

本實驗中, 冷刺激似乎有抑制脂肪酸濃度提昇的現象。此現象是因為冷刺激影響脂細胞內解脂酶(lipases)的活動, 或因血管受冷刺激而管徑縮小因而影響游離脂肪酸的循環, 則必需進一步的研究。可是冷刺激則對乳酸濃度的提昇有很顯著的影響(表三)。Jacobs 等(1985)發現冷空氣刺激能加速身體在運動時對糖類的需要。此報告與本實驗之結果有相似之處, 即冷刺激能加速無氧的糖

解作用。不過引起此反應的機轉仍待研究。

LeBlanc等(1985)發現咖啡因顯著的提高休息代謝率(resting metabolic rate)。在同一運動量的情況下,咖啡因在本實驗中顯著的引起耗氧量的增加(表三)。運動耗氧量的提昇可能會使運動員超越自己的無氧閾值(anaerobic threshold)之運動強度而影響成績。還有,Gaesser and Rich(1985)發現咖啡因能使以乳酸為準的無氧閾值提早來到,也就是咖啡因使無氧閾值在較低的運動強度中出現。若是如此,咖啡因對長距離或持久性的運動是不利的。有氧工作效率(每升的氧可做多少瓦特的功)也因耗氧量之提昇而下降(表三)。此現象似乎與Costill等(1978)和Ivy等(1979)之咖啡因能促進持久性運動成績的報告相互矛盾。目前對此矛盾仍無法解釋,不過較合理的猜測是人體在咖啡因的影響下能有一股夠大的緩衝性能源,有辦法耗費能量(不經濟的使用能量)並且能完成更高的工作需求。此矛盾現象很值得進一步的探討。

僅以運動時之耗氧量來計算其工作效率,在物理學上是正確的。可是此法對生物體而言則有缺失。主要的是生物體的能量消耗中的無氧代謝(anaerobic metabolism)是不包括在有氧代謝(aerobic metabolism)中的,生物體的總代謝量是有氧和無氧代謝量的總和。一般認為血液中乳酸濃度的昇高是無氧代謝加速的指標。本研究資料顯示咖啡因使有氧和無氧代謝均提昇,所以說咖啡因降低工作效率,並無過言。

在冷刺激的情況下之有氧工作效率也有顯著的下降(表三)。這種現象是較容易理解的,因為冷刺激會引起非顫動性的生熱作用,因而引起耗氧量的提昇。而冷刺激加上飲用咖啡因,其工作效率更為降低(表三)。此資料顯示在冬天作戶外運動或下深海操作前服用有咖啡因的飲料,對工作效率來說並非上策。

## 五、結論

本研究發現人體運動時的耗氧量,血液中的游離脂肪酸和乳酸會因咖啡因的藥劑作用和冷刺激而提昇,而其有氧工作效率也因此而下降。文獻中所稱之咖啡因能促進耐力性運動成績者,有待進一步的探討研究。

## 致謝

本研究作者感謝美國海軍醫學研究中心的贊助。同時也得對 Dr. Thomas J. Doubt之熱心指導,致申十分的謝意。

## 參考文獻

# 附錄

表一

	Age (yrs)	Weight (kg)	Height (cm)	VO2 max* (ml/kg/min)	Body fat (%)
Mean	29.4	77.1	176.0	48.2	15.1
+ SD	3.4	6.7	7.6	6.8	4.7

\* obtained using a semi-recumbent cycle ergometer in the dry.

表二

	c f - 測驗前 (mmol/L)	c f - 測驗後 (mmol/L)	水溫 (°C)	實際工作量 (瓦特/分)
28P	0.33 ±.31		27.7 ±.4	116.4+9.9
28Cf	0.21 ±.16	6.83 ±.71	27.5 ±.6	116.9+11.2
18P	0.48 ±.57		18.8 ±.8	115.5+11.2
18Cf	0.52 ±.63	7.16 ±.67	18.9 ±.8	113.7+9.6

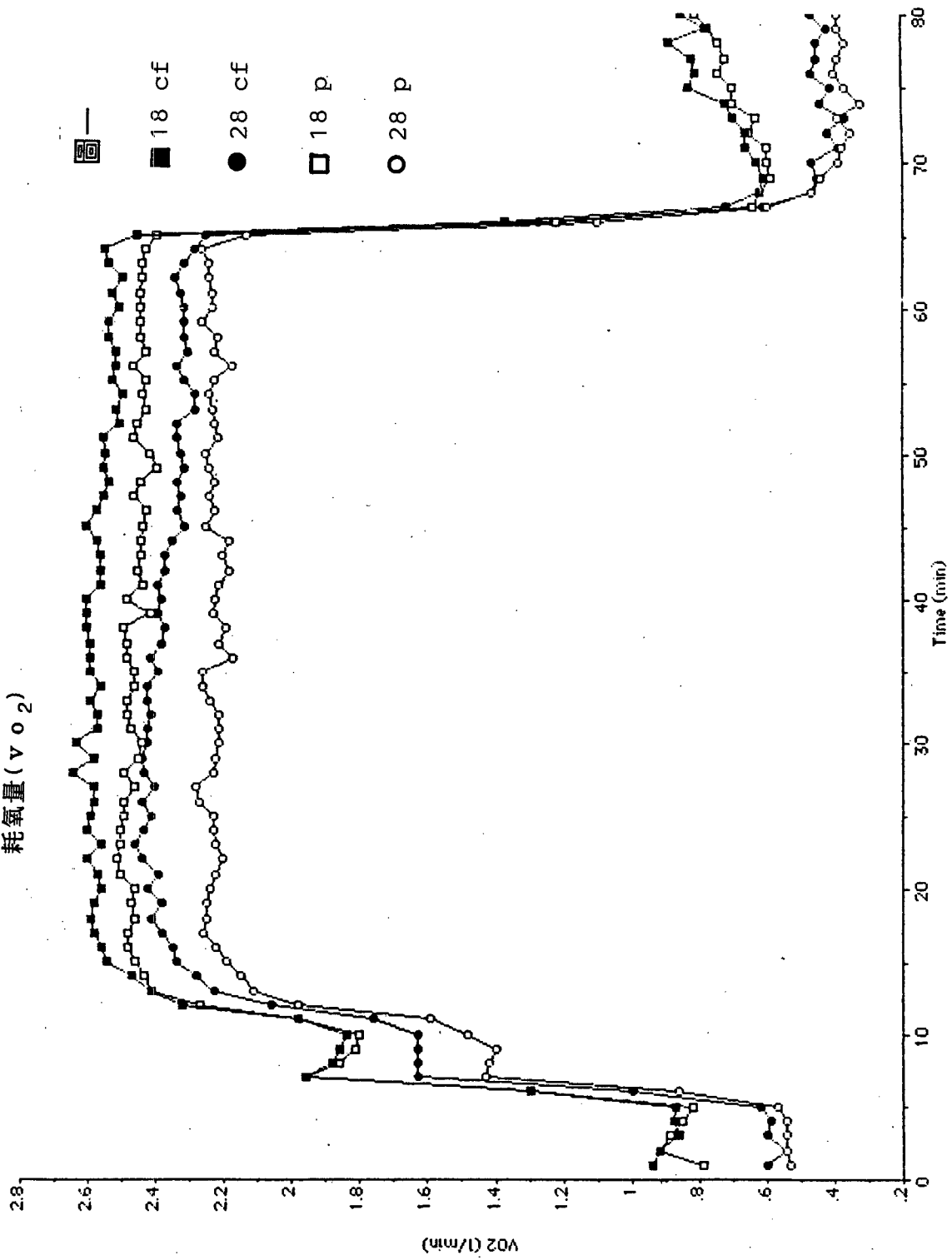
表三

耗氧量( $v o_2$ )，有氧工作效率(AWE)，游離脂肪酸(FFA)和乳酸(Lactate)的平均值和±標準差  
( N = 8 )

	VO2 (117W) (升/分)	AWE (瓦特/每升氧)	FFA (mmol/L)	Lactate (mmol/L)
28p	2.23±.24	52.4±2.5	0.87±0.45	3.8±1.0
28cf	2.37±.32	49.4±3.7	1.24±0.56	4.9±1.4
18p	2.46±.39	47.7±6.0	0.62±0.30	4.3±1.5
18cf	2.56±.34	44.9±4.8	1.07±0.49	5.6±1.6
ANOVA	p=0.003	p=0.001	p=0.01	p=0.02
	18cf>18p	18p>18cf	18cf>18p	28cf>28p
	28cf>28p	28p>28cf	28cf>28p	18cf>18p
	18p >28p	28p>18p	28cf>18p	18cf>28cf
	18cf>28cf	28cf>18cf		18cf>18p
	18cf>28p	28p>18cf		

註：表中的 FFA和Lactate為運動時第10分鐘到第60分鐘之總平均值±標準差。

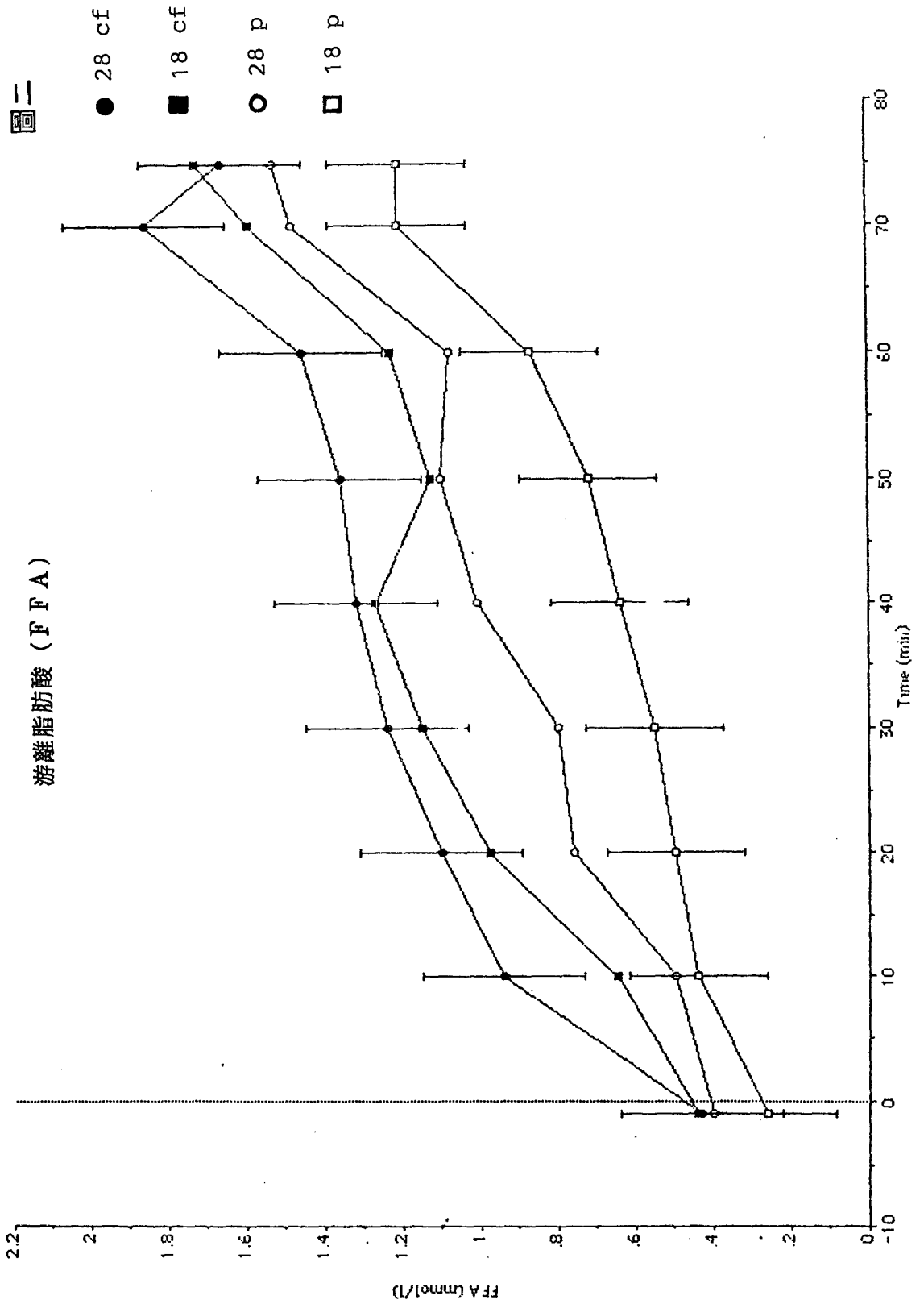
耗氧量 (VO<sub>2</sub>)

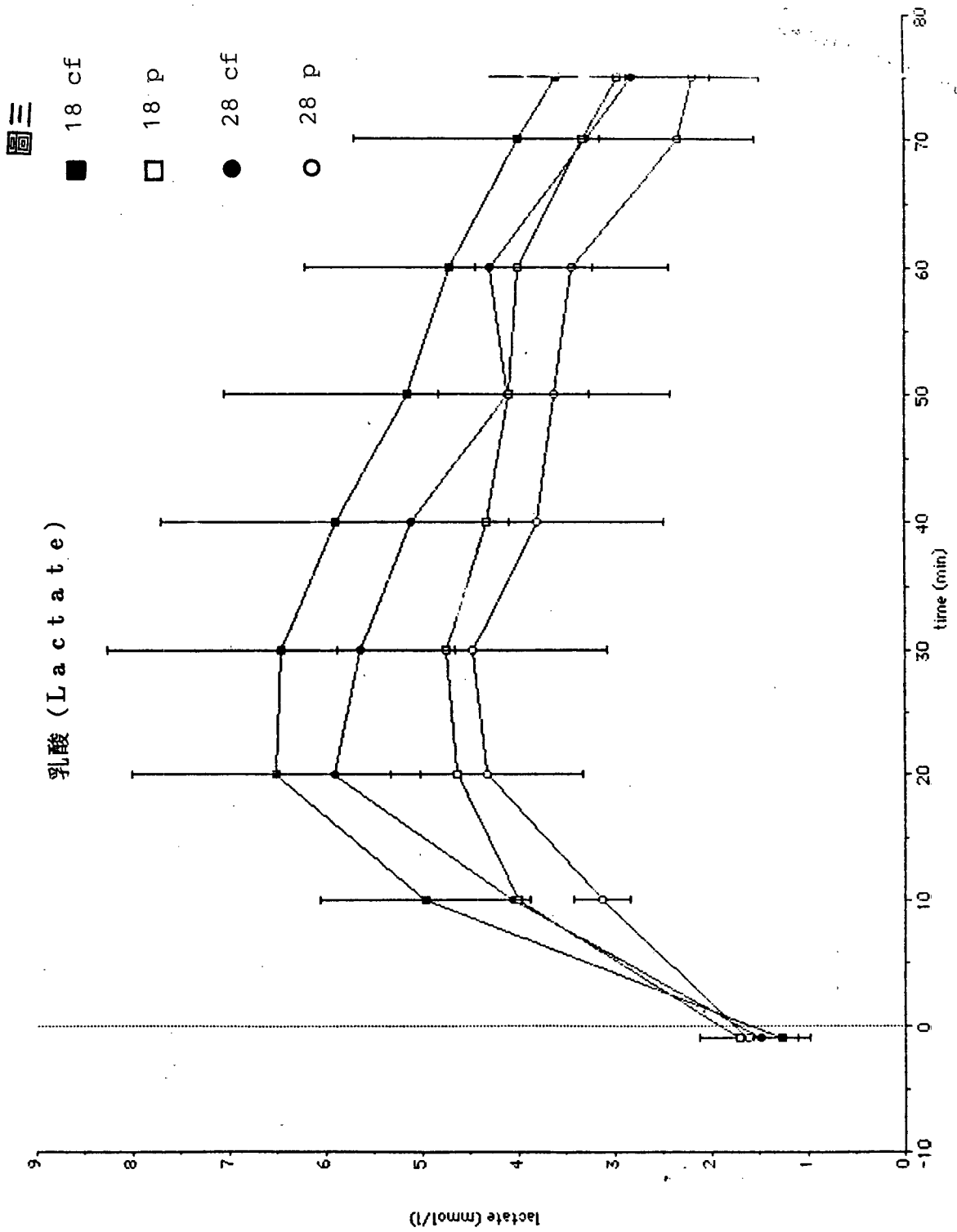




圖二

游離脂肪酸 (F F A)





- Baum, D., C. L. Anthony and C. Stowers. Impairment of cold-stimulated lipolysis by acute hypoxia. *American Journal of Diseases of Children*, 121: 115-119, 1971.
- Brooks, G. A. and T. D. Fahey. *Exercise Physiology : Human Bioenergetics And Its Applications*. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- Callow, M., A. Morton and M. Guppy. Marathon fatigue: The role of plasma fatty acids, muscle glycogen and glucose. *European Journal of Applied Physiology*, 55: 654-661, 1986.
- Chin, A. K., R. Seaman and M. Kapileshwarker. Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 34(4): 409-412, 1973.
- Costill, D. L., G. P. Dalsky and W. J. Fink. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Medicine and Exercise in Sports*, 10(3): 155-158, 1978.
- Dews, P. B. Behavioral effects of caffeine. In: Dews, P.B. (Ed), *Caffeine: Perspectives From Recent Research*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1984, pp. 86-103.
- Essig, D., D.L. Costill and P.J. Van Handel. Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *International Journal of Sports Medicine* 1(2): 86-90,
- Gaesser, G.A. and R. G. Rich. Influence of caffeine on blood lactate response during incremental exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 6(4):207-11, 1985.
- Ivy, J. L., D. L. Costill, W. J. Fink and R.W.

- Lower. Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Medicine and Science in Sports*, 11(1): 6-11, 1979.
- Jacobs, I., T. T. Rome and D. Kerrigan-Brown. Muscle glycogen depletion during exercise at 9 C and 21 C. *European Journal of Applied Physiology*, 54:35-39, 1985.
- Kamimori, G.H., S.M. Somani, R. G. Knowlton and R. M. Perkins. The effects of obesity and exercise on the pharmacokinetics of caffeine in lean and obese volunteers. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 31:595-600, 1987.
- Keatinge, W. R., M. B. McIlroy and A. Goldfien. Cardiovascular responses to ice-cold showers. *Journal of Applied Physiology*, 19(6): 1145-1150, 1964.
- LeBlanc, J., M. Jobin, J. Cote, P. Samson and A. Labrie. Enhanced metabolic responses to caffeine in exercise-trained human subjects. *Journal of Applied Physiology*, 59(3):832-837, 1985.
- Lehninger, A. L. *Biochemistry*. New York: Worth Publishers, 1975.
- Martin, D. W. Rodwell. *Harper's Review of Biochemistry* (19th ed.), P.A. Mayes and V.M. Los Altos: Lange Medical.
- Powers, S.K. and S. Dodd. Caffeine and endurance performance. *Sports Medicine*, 2(3):165-74, 1985.
- Rennie, M. J., W.W. Winder and J.O. Halloszy. A sparing effect of increased plasma fatty acids on muscle and liver glycogen content in the exercising rat. *Biochemical Journal*, 156:647-655, 1976.
- Temples, T. E. and E. M. Haymes. The effects of

caffeine on substrate, metabolic and body temperature responses during exercise in cold and neutral environment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(2):157, 1983. (Abstract)

EFFECTS OF CAFFEINE AND COLD STRESS ON EXERCISE METABOLISM AND AEROBIC WORK EFFICIENCY. Sandy Shen-Yu Hsieh, Department of Physical Education, National Taiwan Normal University, Taipei Taiwan, R.O.C.

Caffeine (Cf) or cold alone affects lipid metabolism. The combined effects of Cf and cold stress on exercise metabolism and aerobic work efficiency (AWE), defined as work output (Watts) divided by liters of O<sub>2</sub> consumed (W/L O<sub>2</sub>), was studied during head-out immersion. Ten males (29.4±3.4 yrs, 77.1 ±6.7 kg) exercised on a cycle ergometer at 1.5 W/kg (117±11 W) for 55 min. The 4 test conditions were: 28 or 18 C water with placebo (P) or Cf (5 mg/kg). Cf or P was ingested 90 min before exercise. Oxygen consumption (VO<sub>2</sub>) at 117W was elevated significantly by Cf and by cold. The highest VO<sub>2</sub> occurred at 18Cf (2.56 l/min) with the lowest at 28P (2.23 l/min). AWE was decreased by Cf and cold and varied inversely with VO<sub>2</sub>. Plasma free fatty acids (FFA) were significantly elevated by Cf and may be inhibited by cold. The highest FFA occurred at 28Cf (1.24 mmol/L) and the lowest at 18P (0.62 mmol/L). Blood lactate was significantly raised by Cf and by cold. The highest lactate was at 18Cf (5.6 mmol/L) and lowest at 28P (3.8 mmol/L). CONCLUSIONS: Caffeine and cold immersion elevate VO<sub>2</sub> additively and thus decrease AWE during moderate exercise. Both Cf and cold seem to promote anaerobic, not aerobic metabolism.

Barone, J. J. and H. Roberts. Human consumption of caffeine. In: Dews, P. B. (Ed), Caffeine: Perspectives From Recent Research Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1984. pp. 59-73.