

國立臺灣體育大學(臺中)競技運動學系  
碩士學位論文

**ACID-INDUCED VISCOSITY COMPLEX**

對耐力運動之脂肪與醣類代謝的影響

**THE EFFECT OF ACID-INDUCED VISCOSITY COMPLEX  
ON FAT AND CARBOHYDRATE METABOLISM DURING  
ENDURANCE EXERCISE**



研究生：謝秉勳 撰

指導教師：張振崗 教授

中華民國 98 年 6 月

# Acid-induced viscosity complex 對耐力運動之脂肪與

## 醣類代謝的影響

### 中文摘要

Acid-induced viscosity (acid I-V) complex 可能可以減緩健康受試者在攝取高醣類後血糖上升反應。本研究目的為探討 acid I-V 對耐力運動期間醣類與脂肪代謝的影響。共 9 位健康志願者參與本次研究，每位受試者各進行 4 次測試，每次測試於運動前 3 小時分別攝取葡萄糖飲料 (GLU 組)，acid I-V+葡萄糖飲料 (包含 alginate, citrate, 與 insoluble calcium, Acid I-V 組)，nutrious (不含 alginate 之膳食纖維)+葡萄糖飲料 (Nutrious 組)，與空腹 (FAST 組)，測試用葡萄糖飲料均含 75 克葡萄糖，隨後以固定式腳踏車運動 ( $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 60 分鐘。以滯留針於空腹，餐後階段 (15 分鐘，30 分鐘，60 分鐘，90 分鐘，120 分鐘，150 分鐘，180 分鐘) 與運動期間 (15 分鐘，30 分鐘，45 分鐘，60 分鐘) 自肘靜脈各採集 10 ml 血液樣本，並於同時間點以氣體分析儀測量  $\text{VO}_2$  與  $\text{VCO}_2$ ，計算醣類與脂肪氧化率，分析血漿葡萄糖、insulin、C-Peptide、triglyceride、non-esterified fatty acid、glycerol、3-hydroxybutyrate、uric acid、 $\text{NH}_3$ 、lactate 濃度。GLU，Acid I-V，與 Nutrious 組餐後血糖與胰島素反應顯著高於 FAST 組，但各組間血糖與胰島素曲線下面積無顯著差異 (GLU:  $626 \pm 611.4$ , Acid I-V:  $478 \pm 486.9$ , Nutrious:  $470 \pm 684.2$ , FAST:  $725 \pm 689$  arbitrary unit)。FAST 組 non-esterified fatty acid 濃度於餐後 30、60、90 分鐘顯著高於 Acid I-V 組；餐後 60、90、120 分鐘顯著高於 GLU 組；餐後 120、180 分鐘顯著高於 Nutrious 組。FAST 組 glycerol 濃度於餐後 90、120、150 分鐘顯著高於其他三組，但各處置間 non-esterified fatty acid 及 glycerol 濃度曲線下面積於餐後與運動階段均無顯著差異，各組碳水化合物與脂肪氧化率亦未無顯著差異。本研究顯示，雖然 acid I-V 可減緩餐後升糖與胰島素反應，但對於隨後耐力運動期間之醣類與脂肪代

謝並無顯著影響。

關鍵字：血糖，胰島素，未酯化游離脂肪酸，甘油，運動

# **The effect of acid-induced viscosity complex on fat and carbohydrate metabolism during endurance exercise**

## **Abstract**

The acid-induced-viscosity complex (acid I-V) may attenuate the postprandial glycemic response to a glucose challenge in healthy subjects. The purpose of the present study was to examine the effect of acid I-V mixed on carbohydrate and fat metabolism during endurance exercise. Nine healthy volunteers participated in this study. Every subject performed 4 trials. The subjects ingested glucose drink (GLU), acid-induced viscosity complex (containing alginate, citrate, and insoluble calcium) with glucose drink (Acid I-V), nutritious with glucose drink (Nutritious), or fasting (FAST) 3 hours before exercising on a cycle ergometer at 50%VO<sub>2</sub>max for 60 min. The test drinks contained 75 g glucose. An aliquot of 10 ml blood samples were obtained at fasting, during postprandial period (15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 min) and during exercise (15, 30, 45, 60 min) via a cannula. Gas analysis was performed at the same time points to calculate carbohydrate and fat oxidation rates. Plasma concentrations of glucose, insulin, C-peptide, triglyceride, non-esterified fatty acid, glycerol, 3-hydroxybutyrate, uric acid, NH<sub>3</sub>, and lactate were measured. The glycemic and insulinemic responses in the postprandial periods were higher in GLU, Acid I-V, and Nutritious trials than FAST. However, the incremental areas under the curve of glucose and insulin were

not significantly different among the 4 trials (GLU:  $626 \pm 611.4$ , Acid I-V:  $478 \pm 486.9$ , Nutrious:  $470 \pm 684.2$ , FAST:  $725 \pm 689$ ). FAST trial had significantly higher plasma non-esterified fatty acid concentration at 30, 60, 90 min postprandial than Acid I-V; at 60, 90, 120 min postprandial than GLU; and 120 and 180 min postprandial than Nutrious. FAST trial showed significantly higher plasma glycerol concentration than the other 3 trials at 90, 120, and 150 min postprandial. However, the incremental areas under the curve of non-esterified fatty acid and glycerol were not significantly different among the 4 trials. The oxidation rates of carbohydrate and fat were also similar among the 4 trials during the postprandial and exercise periods. The results of this study suggested that although acid I-V could reduce postprandial glycemic and insulinemic responses, it had no effect on carbohydrate and fat metabolism in endurance exercise.

**Keywords :** glucose, insulin, NEFA, glycerol, exercise

## 謝誌

回想當初報考研究所的動機是要得到更多關於訓練知識與延續選手生命，只是單純地喜歡運動罷了。想不到拿到畢業證書這一刻，我還是對體育仍始終如一喜愛，能利用所學設計對選手有幫助的訓練計畫，得到好成績，十分欣慰。

大學念經濟系的我像是一張白紙，沒接觸過體育學科，什麼都是初體驗，慶幸碩班同學（宜真，佳政，承諭，玉齡，瓊萱）陪著我，在我失戀時候帶我去黑白切，學業上互相砥礪，很感謝你們。

我的指導老師-張振崗教授，記得第一次與您會面談選擇指導教授到最後一次論文拿給您改，察覺到的優點依然始終如一，在您身上學習到對學生要有耐心，察覺問題所在，給予指正；也見識到什麼叫做用頭腦做事情，找出最有效率的方法做事。

一部論文的完成，背後總有說不完故事，張振崗與巫錦霖老師在論文內容做到滴水不漏、逐字斧正的程度，實令我深為感佩，助理季洧姊陪伴我完成三天兩夜的馬拉松上機做完所有血液分析（CSI影集根本都騙人，做分析那能這麼帥氣輕鬆），邊做邊教的務實精神，讓我很佩服！參與人體實驗的受試者（腋辰，阿崗，巫老師，書寧，維哲，廷彰，正義魔人漢斯，致霖，我自己）佩服你們完成四次實驗還有一次要人命的 ALL OUT，還得喝下稠稠黏黏的飲料，辛苦了。這段期間遇到許多實驗分析挫折，由於本實驗室一個有溫情有歡樂的地方，正義魔人漢斯，美食達人志暉，打電動的書寧，洋蔥（謝誌沒寫我，很過分），韋均，玫蕙，冠邑，玫璇，南君，儀，佩玉.....等人有你們讓我覺得不是一個人孤軍奮

戰。方世華老師也時常關心我論文進度，讓我倍感溫暖窩心。

一樣米百樣人，從不同角度看待一件壞事，也許是一個自我學習機會，像是實驗室研究生沉迷魔獸線上遊戲已久，謝謝你告訴大家做學術需腳踏實地，不可抄襲，雖然都是老生常談，但受益無窮。

我畢業了~~~~~阿嘶

# 目錄

目次	頁次
中 摘 .....	I
英 摘 .....	II
謝 誌 .....	V
目 錄 .....	VII
表 目 錄 .....	IX
圖 目 錄 .....	X
第壹章 緒論 .....	1
第一節 研究動機 .....	1
第二節 研究目地 .....	1
第貳章 文獻探討 .....	2
第一節 膳食纖維的定義與功能 .....	2
第二節 運動前攝取不同升糖指數碳水化合物的 影 .....	3
第三節 運動中攝取不同升糖指數碳水化合物的 影響 .....	9
第四節 運動後攝取不同升糖指數碳水化合物的 影響 .....	11
第參章 研究方法 .....	15
第一節 實驗對象 .....	15
第二節 實驗設計 .....	15
第三節 血液樣本 .....	15
第四節 運動測試 .....	16

第五節	實驗流程 .....	17
第六節	資料收集 .....	18
第七節	統計方法 .....	22
第八節	曲線下面積計算 .....	22
第肆章	結果 .....	23
第一節	.....	23
第二節	.....	23
第伍章	討論 .....	27
參考文獻	.....	33
附錄一	、健康問卷調查表 .....	43
附錄二	、受試者同意書 .....	44

## 表目錄

表一	食品成分 .....	45
表二	運動前攝取不同升糖指數碳水化合物的影 響 .....	46
表三	受試者資料 .....	47

## 圖目錄

圖一	不同處置血漿 glucose 濃度 .....	48
圖二	不同處置下 glucose 濃度-時間曲線下面積 .....	49
圖三	不同處置血漿 insulin 濃度 .....	50
	不同處置下 insulin 濃度-時間曲線下面積 .....	51
圖四	不同處置血漿 c-peptide 濃度 .....	52
圖五	不同處置下 C-Peptide 濃度-時間曲線下面積 .....	53
圖六	不同處置血漿 TG 濃度 .....	54
圖七	不同處置下 TG 濃度-時間曲線下面積 .....	55
圖八	不同處置血漿 NEFA 濃度 .....	56
圖九	不同處置下 NEFA 濃度-時間曲線下面積 .....	57
圖十	不同處置血漿 glycerol 濃度 .....	58
圖十一	不同處置下 glycerol 濃度-時間曲線下面積 .....	59
圖十二	不同處置血漿 D-3-Hydroxybutyrate 濃度 ...	60
圖十三	不同處置下 D-3-Hydroxybutyrate 濃度-時間曲線下面積 .....	61
圖十四	不同處置血漿 ua 濃度 .....	62
圖十五	不同處置下 UA 濃度-時間曲線下面積 .....	63
圖十六	不同處置血漿 NH <sub>3</sub> 濃度 .....	64
圖十七	不同處置下 NH <sub>3</sub> 濃度-時間曲線下面積 ...	65
圖十八	不同處置血漿 lactate 濃度 .....	66
圖十九		

圖二十	不同處置下 lactate 濃度-時間曲線下面積	67
圖二十一	不同處置下 CHO oxidation rate.....	68
圖二十二	不同處置下 fat oxidation rate.....	69
圖二十三	不同處置下 V02 濃度 .....	70
圖二十四	不同處置下 VC02.....	71
圖二十五	不同處置下 RQ 濃度 .....	72

# 第壹章 緒論

## 第一節 研究動機

碳水化合物是決定耐力運動表現的關鍵，運動員期望體內能儲存較多肝醣而維持耐力運動表現，但體內碳水化合物儲存有限，即使經過飲食調整及耐力訓練提高體內碳水化合物儲存量，仍可能無法滿足長時間耐力運動的碳水化合物需求，因此在運動期間補充碳水化合物，對耐力運動的表現十分重要。

不同碳水化合物具有不同的升糖指數，對於攝取後血糖與胰島素反應造成不同的影響。高升糖指數碳水化合物易引起血糖與胰島素升高，加速血糖進入細胞，而使血糖與胰島素較快恢復至攝取前的水準；低升糖指數碳水化合物吸收較緩慢，血糖與胰島素上升幅度較緩慢，但可維持較久的時間。

## 第二節 研究目的

探討於運動前補充碳水化合物與 acid-induced-viscosity (acid I-V) complex，對後續耐力運動中碳水化合物與脂肪代謝的影響。

## 第貳章 文獻探討

### 第一節 膳食纖維的定義與功能

膳食纖維(dietary fiber)的定義為植物中多碳水化合物(polysaccharides)與木質素(lignin)無法藉由人體內消化酵素分解之物質(Englyst, Trowell, Southgate, & Cummings, 1987)。膳食纖維依照水溶性亦可分成水溶性纖維(water-soluble fiber)與非水溶性纖維(Insoluble Fiber)(Roberfroid, 1993)，水溶性膳食纖維包括果膠(Pectin)、樹膠(Gum)、黏質(Mucillilage)、海藻多醣體(Algal polysaccharides)與某些半纖維素(Hemicellulose)；非水溶性膳食纖維則包括纖維素(Cellulose)、半纖維素及木質素(Lignin)。

膳食纖維主要生理作用之一是延緩胃部排空與加速通過小腸時間，改善葡萄糖耐受度(Glucose tolerance)，和減緩醣類的消化作用，且纖維的保水性亦讓糞便體積增大鬆軟(Roberfroid, 1993)。可溶性膳食纖維藉由腸內細菌發酵，導致細菌量增多，改變大腸內酸鹼值，並產生短鏈脂肪酸(short chain fatty acid)，及各種代謝產物氣體(甲烷、二氧化碳、氫氣)。短鏈脂肪酸從靜脈抵達肝臟和周圍組織，影響碳水化合物和脂肪代謝，與餐後高血脂症與長期高血脂症相關。所以攝取高量的可溶性膳食纖維可降低葡萄糖吸收，也可減少胰

島素分泌。非水溶性纖維作用為短暫通過腸胃，增加排泄物體積(Roberfroid, 1993)。以 31 位肥胖且無糖尿病者為實驗對象，在 75g 碳水化合物餐中分別添加高或低劑量(8 g 和 4 g)可溶性纖維的研究顯示，高劑量可溶性纖維在腸胃消化道產生黏性膠體，可緩和餐後葡萄糖和胰島素反應 (Maki et al., 2007)。在食物中添加具黏性可溶性纖維瓜爾豆膠(guar gum)、洋車前子(psllium)、燕麥膠(oat gum)，也有緩和 high 血脂症的效果(Braaten et al., 1991; Jenkins et al., 1978; Pastors, Blaisdell, Balm, Asplin, & Pohl, 1991)。近來研究提出，褐藻酸鈉(alginate)遇胃酸而形成的膠體，具有減緩碳水化合物吸收的作用，可以減緩餐後血糖與 insulin 反應(B. W. Wolf et al., 2002)。

## 第二節 運動前攝取不同升糖指數碳水化合物的影響

體內肝醣儲存量耗盡是產生運動疲勞原因之一，若減少碳水化合物作為運動能量的來源，則能延緩運動中的疲勞產生。對運動前營養補充可利用升糖指數理論(Glycemic-Index theory)，提供延緩肝醣消耗的策略。升糖指數的定義為攝食含 50 公克醣類食物後，於餐後兩小時內血糖升高之曲線下面積 (area under the curve, AUC)，與攝食含 50 公克醣類之參考食物(如：純葡萄糖或白麵包，GI=100)的曲線下面積的比值。

諸多研究於運動前不同時間攝取升糖指數碳水化合物，

比較肝醣利用與運動表現。以 10 位男性自行車運動選手為實驗對象，分別在運動前 30 分鐘分別攝取 HGI 餐或 LGI 餐，配合固定式腳踏車運動 ( $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 2 小時，隨後進行力竭測試，比較不同升糖指數碳水化合物運動表現的影響。運動前攝取 LGI 餐可保持運動 2 小時間的血糖，且 LGI 組力竭時間顯著高於 HGI 組 59% (DeMarco, Sucher, Cisar, & Butterfield, 1999)

以 8 位規律運動男性為實驗對象，分別在運動前 3 小時攝取 LGI 餐 ( $\text{GI}=37$ ) 或 HGI 餐 ( $\text{GI}=77$ )，配合跑步機運動 ( $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 至力竭，結果發現 LGI 組運動時間顯著大於 HGI 組，LGI 組脂肪氧化率高於 HGI 組 (Wu & Williams, 2006)。又以 9 位健康男性為研究對象，分別於運動前 6 小時攝取 HGI 或 LGI 早餐，隨後運動前 3 小時攝取 HGI 或 LGI 午餐，配合跑步機運動 ( $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 持續 60 分鐘。結果發現餐後階段血糖與胰島素濃度 HGI 組大於 LGI 組，但運動中的受質利用無顯著差異，且 LGI 組午餐後三小時脂肪氧化率高於 HGI 組，而碳水化合物氧化率則反之 (E. Stevenson, Williams, & Nute, 2005)。

運動前攝取中等升糖指數碳水化合物配合中等強度運動介入，亦得到增進運動表現結果。以 6 位規律活動女性為實驗對象，分別在運動前 45 分鐘攝取穀類燕麥片 (sweetened whole-grain rolled oats: SRO, 含 7 克膳食纖維)，麵粉 (sweetened whole-oat flour: SOF, 含 3 克膳食纖維)，或控制組，配合固定式腳踏車運動 ( $60\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 至力竭，結果發現 SRO 組力竭時間高於控制組，而 SRO 組與 SOF 組未達顯著差異 (Kirwan, O'Gorman, & Evans, 1998)，顯示運動前 45 分

鐘攝取中高升糖指數碳水化合物可顯著延長力竭時間。又以 6 位健康男性為研究對象，分別在運動前 45 分鐘攝取碳水化合物(穀類早餐)，燕麥片(Moderate GI=61)，爆米花(HGI=82)，或水(控制組)，配合固定式腳踏車運動(60%  $VO_{2max}$ )至力竭。結果發現 Moderate GI 組運動持續時間大於其他兩組。運動中 60 與 90 分鐘以 Moderate GI 餐血糖高於 HGI 餐與控制組，在運動中游離脂肪酸以 Moderate GI 組與 HGI 組較低，但 3 組實驗達到力竭時血糖、胰島素、游離脂肪酸與腎上腺素均無顯著差異(Kirwan, Cyr-Campbell, Campbell, Scheiber, & Evans, 2001)。

另一方面，部分研究發現運動前攝取 LGI 餐對運動表現無顯著影響。以 8 位受過自行車訓練男性為實驗對象，分別在運動前 30 分鐘攝取 HGI 餐，LGI 餐，或控制組，配合固定式腳踏車運動(70%  $VO_{2max}$ )120 分鐘，再進行力竭測試。結果發現以 HGI 組運動前血糖高於其他兩組，而 HGI 組運動 15 與 30 分鐘血糖低於其他兩組；HGI 餐後 30 分鐘胰島素高於其他兩組，運動中游離脂肪酸以 HGI 組低於其他兩組，餐後 30 分鐘與運動中葡萄糖 6 磷酸以 HGI 組高於其他兩組。運動中肝醣使用以 HGI 組高於其他兩組，但 3 次試驗的輸出功率並無明顯差異(Febbraio, Keenan, Angus, Campbell, & Garnham, 2000)。

相似實驗設計的研究，以 6 位受過耐力訓練男性為實驗對象，分別在運動前 45 分鐘攝取 HGI 餐，LGI 餐，或控制組，配合固定式腳踏車(70%  $VO_{2max}$ )2 小時，隨後進行 15 分鐘動力輸出測試。結果發現餐後 15 分鐘血糖以 HGI 組最低，隨後升糖反應 3 組並無差異；HGI 組餐後階段胰島素顯著較

高，運動中游離脂肪酸以 HGI 組最高，又 LGI 組次之，控制組最低，但肝醣消耗程度與輸出功率三組並無顯著差異 (Febbraio & Stewart, 1996)，顯示運動前的碳水化合物攝取對於肝醣消耗與運動表現沒有差異，也與攝取餐後的升糖與胰島素反應無關。以 10 位受過訓練自行車選手為實驗對象，分別運動前 45 分鐘攝取葡萄糖 (HGI)，果糖 (LGI)，或控制組，配合漸增腳踏車運動。研究發現 3 組疲勞時間無顯著差異，LGI 組餐後 15 至 45 分鐘的血糖顯著低於 HGI 組，而 LGI 組運動中血糖高於 HGI 組 (Stannard, Constantini, & Miller, 2000)。

以 6 位自行車選手為實驗對象，分別在運動前 2 小時攝取 HGI 餐或 LGI 餐，配合固定式腳踏車運動 ( $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 2 小時，隨後進行 300 kJ 運動表現測試，結果發現完成 300 kJ 的時間與碳水化合物氧化率無顯著差異 (Burke, Claassen, Hawley, & Noakes, 1998)。以 8 位健康規律活動女性為實驗對象，分別在運動前 3 小時攝取 HGI 餐或 LGI 餐，配合跑步機運動 ( $65\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 60 分鐘介入，研究發現 HGI 組餐後血糖與胰島素高於 LGI 組，餐後受質利用無顯著差異；運動中脂肪氧化，游離脂肪酸與甘油濃度以 LGI 組高於 HGI 組，運動中血糖與胰島素則無顯著差異 (E. J. Stevenson, Williams, Mash, Phillips, & Nute, 2006)。運動前攝取 LGI 餐導致運動中脂肪氧化率提高。以 7 位訓練有素男性跑步選手，分別在運動前 3 小時攝取 HGI 餐或 LGI 餐配合跑步機運動 ( $71\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 30 分鐘介入。結果發現餐後 3 小時以 HGI 組肌肉肝醣濃度高於 LGI 組 15%，而 HGI 組運動後肌肉肝醣濃度 ( $129.1 \pm 16.1 \text{ mmol/kg}$ ) 高於 LGI 組 ( $87.9 \pm 15.1 \text{ mmol/kg}$ ) (Wee,

Williams, Tsintzas, & Boobis, 2005), 顯示攝取 LGI 餐後肌肉肝醣合成較 HGI 餐少, 可能是 LGI 餐維持較好脂肪氧化率所致。以 7 位健康男性為實驗對象, 分別在前晚接受不同升糖指數餐, 隔日運動前 3 小時攝取同或不同升糖指數早餐配合跑步機運動 ( $65\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 1 小時介入, 結果發現早餐後血糖與胰島素以 HGI 組顯著高於 LGI 組, 運動期間受質利用則無顯著差異 (E. Stevenson, Williams, Nute, Swaile, & Tsui, 2005), 顯示前晚低升糖指數餐可改善早餐的葡萄糖耐受度, 但對隨後的運動代謝無顯著效果。以 9 位健康男性為實驗對象, 分別在運動前 3 小時攝取 HGI 餐 ( $\text{GI} = 77.4$ ), LGI 餐 ( $\text{GI} = 36.9$ ), 或空腹 (控制組), 配合跑步機運動 ( $65\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 持續 60 分鐘。結果發現 HGI 組 ( $108.7 \text{mmol}/\text{min}$ ) 運動前血糖 AUC 約為 LGI 組 ( $48.9 \text{mmol}/\text{min}$ ) 2 倍, 而 HGI 組與 LGI 組游離脂肪酸均低於控制組, HGI 組運動階段血糖低於 baseline 下, LGI 組脂肪氧化率大於 HGI 組 (Wu, Nicholas, Williams, Took, & Hardy, 2003)。運動前攝取不同升糖指數碳水化合物相較於控制組, 易導致運動中脂肪氧化程度降低, 且 LGI 組在運動中脂肪氧化率又高過 HGI 組。以 8 位規律運動的人 (5 男 3 女) 為實驗對象, 分別在運動前 3 小時攝取 HGI 餐與 LGI 餐配合跑步機運動 ( $70\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 至力竭。結果發現餐後 3 小時 HGI 餐血糖與胰島素高於其他兩組, 運動表現無顯著差異。運動初期 20 分鐘 HGI 組血清胰島素低於其他兩組, 運動中 LGI 組碳水化合物氧化率較 HGI 組低 12%; 脂肪氧化率以 LGI 組較 HGI 組高 118%。運動中游離脂肪酸與甘油以 LGI 組高於 HGI 組 (Wee, Williams, Gray, & Horabin, 1999)。證實運動前攝取 LGI 餐有助於增加脂肪代謝, 減少碳

水化合物代謝。

運動前攝取中等升糖指數碳水化合物，配合中等強度運動介入，部分研究呈現無法增進運動表現。以 6 位規律運動女性為實驗對象，分別在運動前 45 分鐘攝取碳水化合物 (75 g)，穀粒燕麥片 (RO)，與水 (控制組) 配合固定式腳踏車 (60%  $VO_{2max}$ ) 至力竭，探討 Moderate GI 的受質利用與運動表現。研究發現運動階段至 120 分鐘脂質代謝以 RO 組受抑制大於控制組，且 RER 顯著較高於控制組，運動至力竭時血糖，insulin, FFA, glycerol 等未達顯著差異。運動時間未達顯著差異。碳水化合物利用率 (Glucose Ra, glucose rate of appearance) 以 RO 組 ( $2.36 \pm 0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 高於控制組 ( $1.92 \pm 0.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Kirwan, O'Gorman et al., 2001)?。顯示運動中補充 Moderate GI 食物可能抑制脂肪代謝與提高碳水化合物代謝。

以 9 位受過訓練的自行車選手為對象，運動前 45 分鐘攝取三種溶液，分別為半乳糖 (8%)，50% 半乳糖 + 50% 葡萄糖，80% 葡萄糖 + 20% 果糖，配合固定式腳踏車運動介入 (65%  $VO_{2max}$ ) 2 小時，發現肝臟對半乳糖轉換葡萄糖能力較低，半乳糖組運動表現顯著低於其他兩組的較低，顯示運動前攝取濃度半乳糖組不利於耐力運動 (Stannard, Hawke, & Schnell, 2007)。運動前攝取多種混合溶液的研究，以 10 位訓練有素跑步選手為研究對象，分別在運動前一小時接受 6 種不同溶液處方，分別為水，高果糖玉米糖漿，葡萄糖，蔗糖 + 葡萄糖，香蕉 + 水，與高果糖玉米糖漿，隨後完成跑步機運動 10 km (Mitchell, Braun, Pizza, & Forrest, 2000)。發現 6 組運動時間與碳水化合物代謝並無差異，運動表現與攝取碳水化合物的種類無關。

### 第三節 運動中攝取不同升糖指數碳水化合物的影響

長達 1 小時以上耐力運動中攝取含碳水化合物 ( $30-60 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 的運動飲料 (濃度 10% 以下)，可促進腸胃吸收，維持血糖穩定，當肌肉肝醣量降低時給予能量，且運動中消化系統受到抑制，運動中補充以液體較佳，因此大多數研究均主要以液體為補充路徑。運動中攝取不同升糖指數碳水化合物，主要以單雙醣結構為主，因分子較小易於吸收。

先前研究攝取單一碳水化合物作為運動中能量來源，探討運動表現差異。以 7 位健康男性為實驗對象，分別攝取葡萄糖溶液 (HGI)，果糖溶液 (LGI)，水 (控制組) 配合運動介入 ( $50 \pm 5\% \text{ VO}_{2\text{max}}$ ) 持續 180 分鐘，研究發現 HGI 組與 LGI 組的血糖顯著高於控制組，胰島素以控制組與 LGI 溶液顯著低於 HGI 組。3 組碳水化合物代謝並無差異；脂肪代謝為控制組大於 LGI 組與 HGI 組。發現從事中強度運動攝取果糖溶液可提供碳水化合物作為能量，但易造成腸胃不適 (Massicotte et al., 1986)。

後續研究以混合配方探討運動中能量來源。以 8 位訓練有素自行車車手為研究對象，3 次實驗分別於運動中攝取葡萄糖 ( $1.5 \text{ g}/\text{min}$ )，葡萄糖 ( $1.0 \text{ g}/\text{min}$ ) + 果糖 ( $0.5 \text{ g}/\text{min}$ )，或水 (控制組)，配合固定式腳踏車運動介入 ( $50\% \text{ VO}_{2\text{max}}$ ) 2 小時，結果發現運動中攝取葡萄糖 + 果糖的碳水化合物氧化率較葡萄糖組高，葡萄糖 + 果糖的液體利用較攝取葡萄糖好，外生性碳水化合物代謝優於控制組 (Jentjens et al., 2006)。

又以 8 位從事自行車運動男性為研究對象，分別攝取葡萄

糖溶液 (1.2 g/min)，葡萄糖 (1.2 g/min)+果糖 (1.2 g/min) 混合溶液，或水 (控制組)，配合固定式腳踏車運動 ( $60 \pm 0.1\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 150分鐘，發現在運動中攝取葡萄糖 + 果糖組外生性碳水化合物氧化比率達 1.75 g/min，運動 60 至 150 分鐘期間葡萄糖 + 果糖組的外生性碳水化合物氧化率 (1.49 g/min) 較葡萄糖組 (0.99 g/min) 高 (Jentjens & Jeukendrup, 2005)。以 8 位男性自行車運動選手為研究對象，運動中攝取 3 種溶液，分別為葡萄糖溶液 (1.2 g/min)，葡萄糖溶液 (1.8 g/min)，果糖 (0.6 g/min)+葡萄糖 (1.2 g/min) 溶液，配合腳踏車運動 ( $63\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 120 分鐘介入，探討運動中攝取果糖 + 葡萄糖溶液的碳水化合物代謝，發現自行車運動中攝取葡萄糖與果糖的混合溶液有助於提升外生性碳水化合物氧化的比例 (Jentjens, Moseley, Waring, Harding, & Jeukendrup, 2004)。以上研究均顯示葡萄糖 + 果糖混合溶液 (0.5~1.2 g/min+1.0~1.2 g/min) 顯著提升外生性碳水化合物氧化率。

以 6 位規律運動的男性為研究對象，5 次實驗分別攝取葡萄糖 (50g 或 100g)，果糖 (50g 或 100g)，或果糖 (50g)+葡萄糖 (50g)，配合固定式腳踏車運動 ( $60.7 \pm 2.9\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 2 小時介入，發現果糖 + 葡萄糖組的外生性碳水化合物代謝較葡萄糖組低，顯示攝取混合碳水化合物較單一碳水化合物能提高運動表現 (Adopo, Peronnet, Massicotte, Brisson, & Hillaire-Marcel, 1994)。

另外其他混合溶液的研究，以 9 位規律運動男性為研究對象，分別在運動中攝取葡萄糖 (GI = 100)，蜂蜜 (GI = 35)，與控制組 (安慰劑) 配合固定式腳踏車運動 64 公里介入，結果發現運動時間並無顯著差異，另外蜂蜜組與葡萄糖組最後 16

公里輸出功率皆高於前48公里，故改善最後16公里輸出功率與升糖指數無關(Earnest et al., 2004)。以8位男性受過自行車訓練者為研究對象，分別攝取葡萄糖(2.4 g/min)，混合溶液(葡萄糖1.2 g/min+果糖0.6 g/min+蔗糖0.6 g/min)配合固定式腳踏車運動( $62 \pm 1\% \text{VO}_{2\text{max}}$ )150分鐘介入，比較混合溶液與葡萄糖對外生性碳水化合物代謝的影響。結果發現混合溶液的外生性碳水化合物氧化顯著低於葡萄糖，但混合溶液的內生性碳水化合物氧化組顯著低於葡萄糖(Jentjens, Achten, & Jeukendrup, 2004)。

有一研究探討碳水化合物溶液添加咖啡因對於碳水化合物代謝的影響，以5位自行車男性選手為研究對象，分別攝取運動前果糖(FRU: 1 g · kg<sup>-1</sup>)，運動前咖啡因(CAF: 5 mg · kg<sup>-1</sup>)，運動中葡萄糖(GLU: 1 g · kg<sup>-1</sup>)，運動前果糖+咖啡因，運動中葡萄糖(CFG)，或控制組(無營養成分)，配合固定式腳踏車運動(70%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ )90分鐘。結果發現血糖以CFG與GLU最高，游離脂肪酸以控制組，CAF， and FRU高於CFG與GLU，雖然FRU能提高游離脂肪酸使用，但容易引發腸胃不適(Erickson, Schwarzkopf, & McKenzie, 1987)。

#### 第四節 運動後攝取不同升糖指數碳水化合物的影響

運動後立即補充碳水化合物(每2小時1 g/kg<sup>-1</sup>)可快速增加肌肉肝醣合成量，而24小時恢復期間應補充碳水化合物7-10 g/kg<sup>-1</sup>(Burke, 1997)，日復一日訓練或是比賽的運動員應特別注意此環節。諸多研究探討運動後攝取不同升糖指數碳水化合物對肝醣合成效率的影響，以6名訓練有素自行車

選手為實驗對象，在運動(70%  $VO_{2max}$ )兩小時後後攝取 5 次 HGI 餐，兩組間隔 2 小時，分別為 0-4 小時(IT) 與 2-6 小時(DT)，比較 IT 與 DT 對於肝醣合成的差異，研究發現 IT 相較 DT，餐後葡萄糖與胰島素濃度無顯著差異，肌肉肝醣或葡萄糖-6-磷酸每個時間點也無差異，運動後的第 8 和 24 小時的肌肉肝醣合成率(Parkin, Carey, Martin, Stojanovska, & Febbraio, 1997)。

另外以 8 位受過跑步訓練男性為實驗對象，完成跑步運動(70%  $VO_{2max}$ )90 分鐘後分別攝取 HGI 早餐與 LGI 早餐(運動後 30 分鐘與 2 小時)，隨後午餐比照早餐內容，結果發現早餐後胰島素濃度無顯著差異，午餐後胰島素濃度以 HGI 餐顯著高於 LGI 餐，HGI 餐整體血糖高於 LGI 餐。顯示攝取 HGI 餐後的恢復期間，胰島素濃度較高，有助於肌肉肝醣再合成效率(E. Stevenson, Williams, & Biscoe, 2005)?。以上 2 個研究結果證實運動後立即攝取升糖指數碳水化合物是重要的，運動後恢復期間攝取足夠的碳水化合物才是主要原因。

有些研究碳水化合物構造對於肝醣合成的差異，以 8 位受過訓練自行車男性選手為實驗對象，透過運動(固定式腳踏車 75%  $VO_{2max}$  持續一小時，隨後進行 6 次 125%  $VO_{2max}$  間歇衝刺 1 分鐘，配合 1 分鐘休息)使肝醣耗盡後，分別攝取葡萄糖(HGI)，麥芽糖(maltodextrin: HGI)，糯澱粉(waxy starch: HGI)，抗性澱粉(resistant starch: LGI)，結果發現運動後 24 小時恢復期間 HGI 組肝醣合成量(葡萄糖:  $197.7 \pm 31.6$  mmol · kg<sup>-1</sup>; 麥芽糖:  $136.7 \pm 24.5$  mmol · kg<sup>-1</sup>; 糯澱粉:  $171.8 \pm 37.1$  mmol · kg<sup>-1</sup>)高於 LGI( $+90.8 \pm 12.8$  mmol · kg<sup>-1</sup>)，但 4 組動力輸出無顯著差異。推測抗性澱粉人體小腸中無法

消化水解且僅可結腸中發酵，使肝醣合成缺乏受質而影響合成量 (Jozsi et al., 1996)。

另外有些研究著重連續數日訓練的恢復，以 9 位規律運動男性為實驗對象，第一天從事運動跑步機運動 70%  $VO_{2max}$  至力竭 (R1) 後分別攝取 HGI 餐與 LGI 餐 (CHO 8 g/kg)，隔日接受相同運動處方 (R2)，比較攝取不同升糖指數碳水化合物對於耐力運動後的恢復差異。結果發現 R2 運動持續時間以 LGI 組高於 HGI 組，脂肪氧化率以 LGI 組顯著高於 HGI 組。顯示 LGI 餐對脂肪氧化增加而提高運動能力，適合為下一次運動飲食策略 (Stevenson E., Williams, McComb, & Oram, 2005)。

另一研究則探討 GI 對於脂肪氧化的影響，以 8 位健康男性為研究對象，以固定式腳踏車運動消耗 400 卡，隨後進食不同 GI 之燕麥早餐 400 卡 (Ex-LG, Ex-HG) 或是先進食不同 GI 之燕麥早餐 400 卡 (LG-Ex, HG-Ex) 隨後固定式腳踏車運動消耗 400 卡，結果發現 Ex-LG 組與 Ex-HG 組的脂肪氧化顯著高於 LG-Ex 與 HG-Ex，總脂肪氧化量 (Ex-LG:  $23.4 \pm 4.7$  g; Ex-HG:  $23.4 \pm 6.5$  g; LG-Ex:  $18.4 \pm 4.7$  g; HG-Ex:  $19.6 \pm 4.9$  g)，4 次實驗能量消耗未達顯著差異，證實 GI 餐對於脂肪氧化效果沒有顯著效果，在運動中與運動後 2 小時總脂肪氧化的效果優於早上空腹運動，GI 食物對脂肪代謝無顯著影響 (Bennard & Doucet, 2006)。

以七位訓練有素的男性自行車選手為實驗對象，以固定式腳踏車運動 70%  $VO_{2max}$  持續 90 分鐘後攝取 HGI 餐或 LGI 餐，隨後空腹整晚 12 小時，次日完成相同運動處方，比較 HGI 餐或 LGI 餐對於運動中 NEFA 的利用，研究發現中強度

運動中 HGI 碳水化合物會減少 NEFA 的利用 (Trenell, Stevenson, Stockmann, & Brand-Miller, 2008)。歸納兩個研究得知 2 日訓練之間或是連續數日比賽的飲食，建議運動後攝取 LGI 餐能提高脂肪氧化效率而供給運動能量，利於隔日訓練或比賽表現。

## 第參章 研究方法

### 第一節 實驗對象

本研究以 9 名健康成年男性為研究對象，受試者無心血管疾病、糖尿病、高血脂症等疾病，實驗期間沒有服用任何藥物，也無抽煙，喝酒習慣並簽署同意書配合本實驗一切操作。

### 第二節 實驗設計

本研究採用交叉實驗設計，以隨機分配決定 4 次實驗順序，每位受試者均接受 4 種試驗，分別為 acid-induced-viscosity、glucose、nutritious、fast (4 次實驗處方食物來源如表一)，攝取後休息 3 小時，接下來進行固定式腳踏車運動介入 ( $50\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 1 小時。每次實驗間隔至少 1 星期，以排除上次實驗殘留的影響。實驗前需空腹 10 小時以上，實驗前晚盡量攝取相同食物內容，並於實驗前 24 小時避免從事劇烈運動。

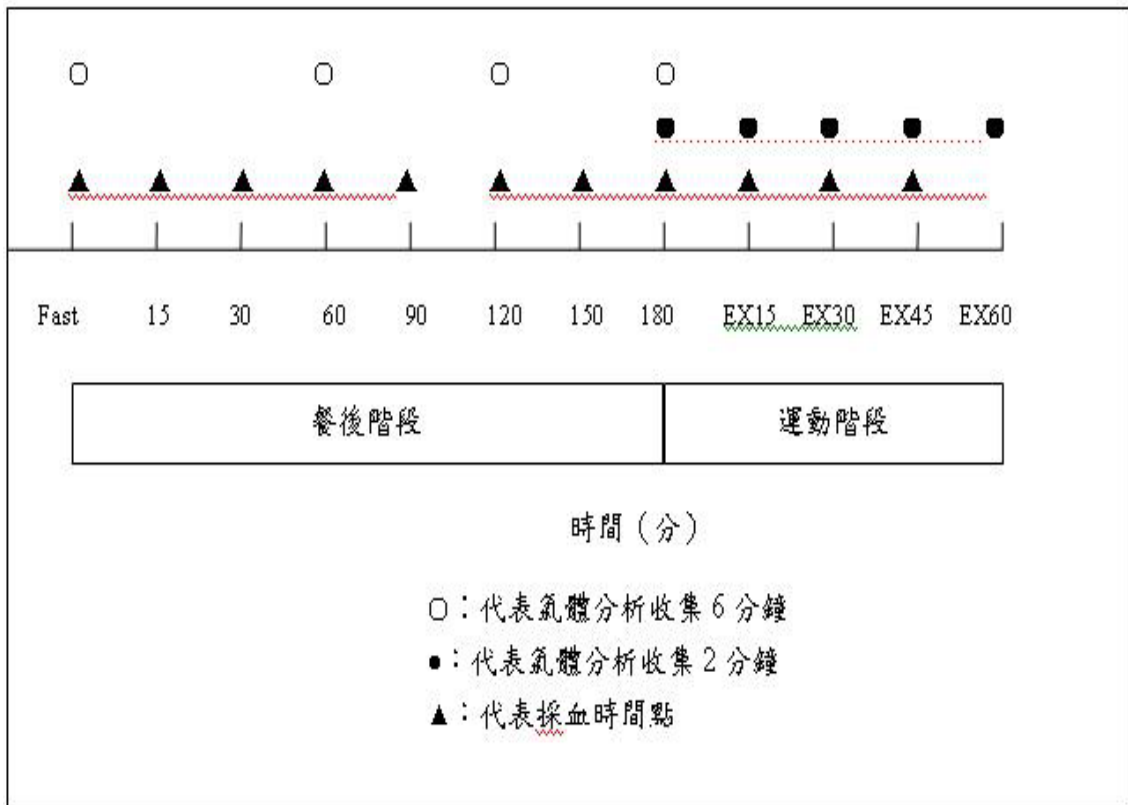
### 第三節 血液樣本

經過整晚空腹 10 小時，清晨 8 點受試者進入實驗室且測量體重後，接著採取空腹血液樣本，在手肘靜脈利用滯留針收集血液。服下飲料後 15 分鐘，30 分鐘，60 分鐘，90 分鐘，120 分鐘，150 分鐘，180 分鐘分別收集 10 ml 的血液樣本。

#### 第四節 運動測試

實驗前使用氣體分析儀進行校正氣體。座椅高度調整到在腳踏板至最低點處時，膝蓋尚可微彎的位置。受試者先於固定式腳踏車上暖身騎乘 5 分鐘。受試者戴上面罩和 polar 心跳錶後，手掌輕壓面罩連接孔，檢查面罩是否密合臉型無空氣對流；心跳錶是否顯示出受試者心跳數。坐在固定式腳踏車後，再將呼吸管與採氣面罩連接。依固定瓦數 50 watts，轉速為 60 rpm 開始，每間隔 3 分鐘時增加 25 watts，全程轉速維持約為 60-70 rpm，至受試者騎到力竭，即停止運動。再經由電腦計算出增加瓦數前 1 分鐘及力竭前之攝氧量。在力竭時取得最大值之攝氧量即為最大攝氧量。達到最大攝氧量之判定標準：(符合 2 種以下條件，便判定受試者力竭)受試者盡力仍無法繼續踩動腳踏車，自己要求停止。心跳率達  $(220 - \text{年齡}) \pm 10\%$ 。受試者自覺量表達 18 以上。攝氧量停止增加 ( $< 2.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )。R 值超過 1.15。

## 第五節 實驗流程



○：空腹，服下飲料後 60 分鐘，120 分鐘，180 分鐘使用氣體分析儀分別收集氣體 6 分鐘。

●：運動階段 0 分鐘，15 分鐘，30 分鐘，45 分鐘，60 分鐘使用氣體分析儀分別收集氣體 2 分鐘。

▲：以手肘靜脈利用滯留針收集空腹血液樣本 10 ml。服下飲料後 15 分鐘，30 分鐘，60 分鐘，90 分鐘，120 分鐘，150 分鐘，180 分鐘，運動階段 15 分鐘，30 分鐘，45 分鐘，60 分鐘分別收集 10 ml 的血液樣本。

## 第六節 資料收集

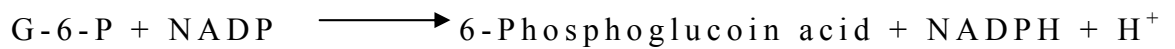
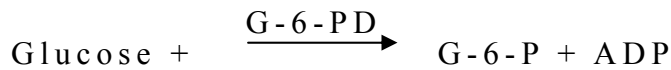
### 一、氣體分析

使用氣體分析儀 (Vmax Series 29C, Sensor Medics, California, USA) 配合原地腳踏車 (BOSCH - ERG 550) 在實驗流程中分段點測得。

### 二、採血分析

血液檢測項目包括 glucose、insulin、C-Peptide、TG、NEFA、glycerol、3-HB、UA、NH<sub>3</sub>、lactate，血液生化值檢驗如下：

(一) 血漿中血糖的濃度，以商業試劑 (Quick Auto Neo Glu-HK) 進行操作以及反應 (Shino, Tokyo, Japan)，並以全自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan) 檢測，exmission 波長為 340nm，emmission 波長為 450nm



(二) 血漿中 insulin 濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Roche Diagnostics, Basel, Switzerland) 並與 streptavidin 微粒子與 anti-insulin AB-biotin、anti-insulin AB-Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> 反應來產生化學冷光，並以化學冷光分析儀 (Elecsys 2010, Roche Diagnostics, Basel, Switzerland) 進行檢測。

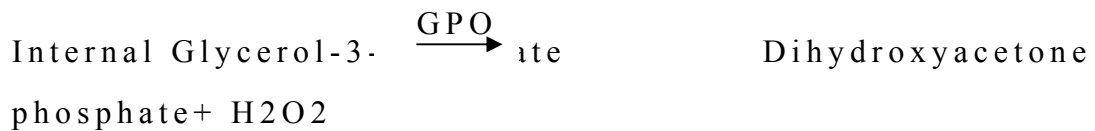
(三) 血漿中 C-Peptide 濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Roche Diagnostics, Basel, Switzerland) 並與 streptavidin 微粒子與

anti-C-Peptide AB-biotin、anti-C-Peptide  
 AB-Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>反應來產生化學冷光，並以化學冷光  
 分析儀（ Elecsys 2010, Roche Diagnostics, Basel,  
 Switzerland）進行檢測。

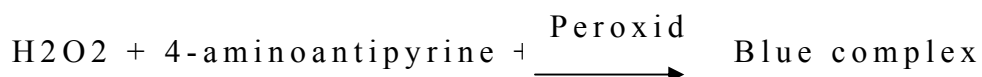
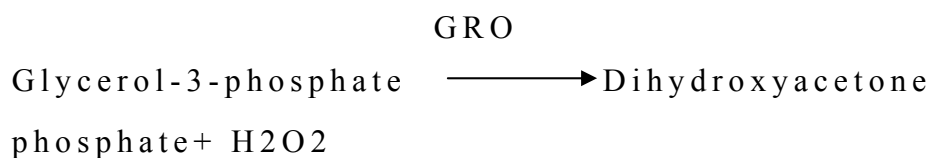
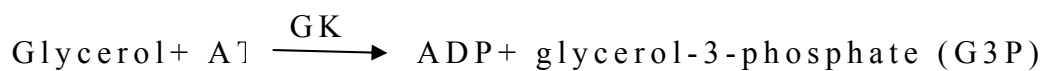
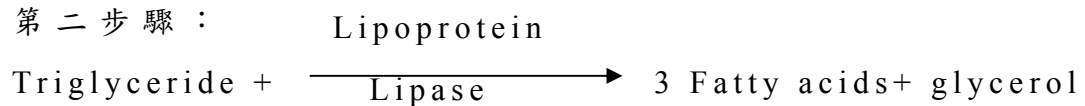
（四）血漿中 TG 濃度採用 Triglyceride reagent H ·  
 LTYPE Small

商業試劑組 (WAKO,Osaka,Japan)，以自動分析儀  
 (Hitachi 7020,Hitachi Science systems, Ltd,  
 Lbaranki, Japan)分析，吸光值波長 600 nm，副波  
 長 700 nm，化學反應原理如下：

第一步驟



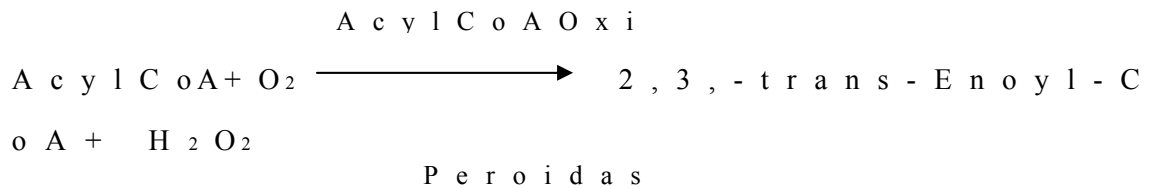
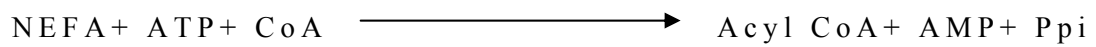
第二步驟：



(五) 血漿中 NEFA 的濃度以商業試劑進行操作以及反應

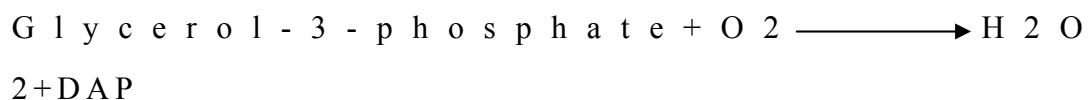
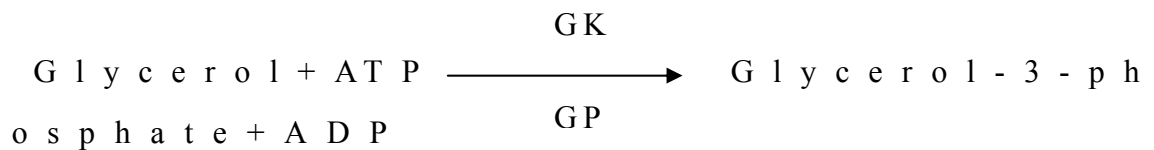
( WAKO NEFA, Germany ) , 並以全自動生化分析儀 ( Hitachi 7020 , Hitachi Sciences systems , Ltd , Lbaranki , Japan ) 檢測。

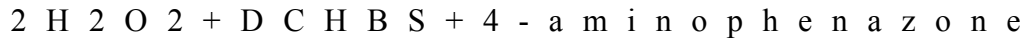
反應式原理公式：



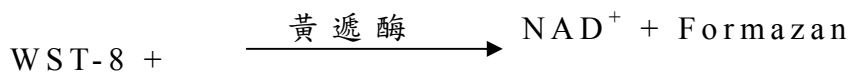
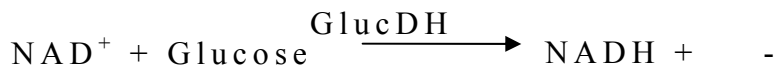
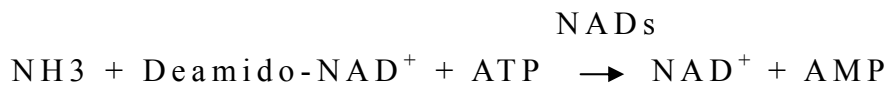
(六) 血漿 glycerol 濃度血液生化值血漿中甘油的濃度，以商業試劑進行操作以及反應 ( Randox, Co. Antrim, United Kingdom ) , 並以全自動生化分析儀 ( Hitachi 7020 , Hitachi Sciences systems , Ltd , Lbaranki ,

Japan ) 檢測。反應式原理公式：

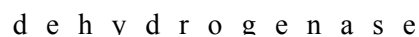
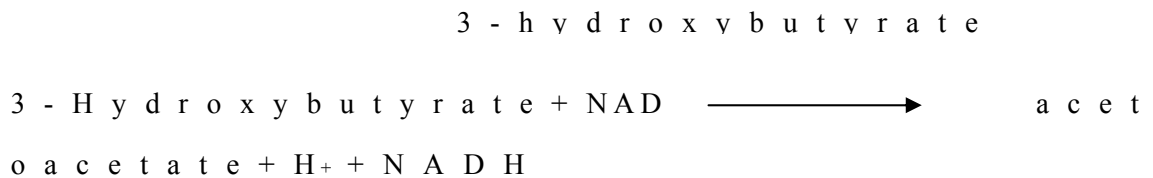




(七) 血漿 NH<sub>3</sub> 濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Kanto Chemical CO., Kanagawa, Japan)，再以全自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan) 來檢測，吸光值波長 450nm，化學反應原理如下：

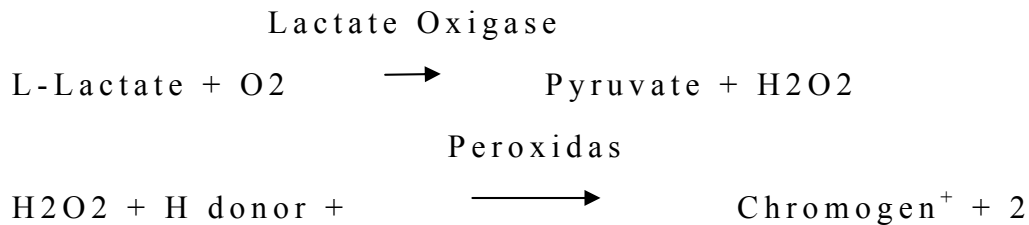


一 D-3-羥基丁酸 (D-3-Hydroxybutyrate) 濃度血液生化值血漿中 D-3-Hydroxybutyrate 濃度採用 3-Hydroxybutyrate reagent 商業試劑組 (Randox, RANBUT, UK)，以自動生化分析儀 (Hitachi 7020, Hitachi Sciences systems, Ltd, Ibaraki, Japan) 分析，吸光值波長 340nm，化學反應原理如下：



(八) 血漿中乳酸的濃度，以商業試劑進行操作以及反應 (Randox, Co. Antrim, United Kingdom)，再以

全自動生化分析儀（Hitachi 7020, Ibaraki, Japan）來檢測，吸光值波長550nm，化學反應原理如下：



## 第七節 統計方法

結果以平均數±標準誤表示。使用重複量數二因子（時間x處置）變異數分析，探討各生化值之差異，再以 Bonferroni 法進行事後比較，分析同一時間點各處置間之差異。以重複量數單因子變異數分析，探討各項生化值AUC不同處置間之差異，若達顯著差異，則使用 Bonferroni 法進行事後比較。顯著水準定為 .05，資料分析使用統計軟體 SPSS 10.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

## 第八節 曲線下面積計算

glucose-時間圖、insulin-時間圖、C-Peptide-時間圖、TG-時間圖、NEFA-時間圖、glycerol-時間圖、3-HB-時間圖、UA-時間圖、NH<sub>3</sub>-時間圖、lactate-時間圖，以收集血液樣本的11個時間點對應，依照圖形的不同採用三角形或梯形面積公式計算曲線以下與 Baseline 以上面積。Baseline 採用第一個時間點，若值低於小於 baseline，則該部分面積視為 0。

## 第肆章 結果

### 第一節

受試者基本資料如表三，本研究實驗對象為 9 人，年齡為歲，身高為  $171.3 \pm 7.8$  公分，體重為  $69.2 \pm 7.5$  公斤。

### 第二節

#### 一、血液生化

##### (一) glucose, insulin, 與 C-Peptide

不同處置與餐後不同時間血漿 glucose 濃度變化如圖一，處置效應 ( $p=0.003$ )，時間效應 ( $p=0.001$ )，與處置與時間交互效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著。相同時間點 glucose 濃度，餐後 15, 30, 60 分鐘 fast 組顯著低於其他三組；餐後 180 分鐘與運動 15 分鐘 fast 組顯著高於 acid I-V 組和 nutritious 組，且運動 15 分鐘 fast 組顯著高於 glucose 組。各處置 glucose 濃度-時間之曲線下面積如圖二，各處置間無顯著處置差異 ( $p=0.3721$ )。

不同處置與餐後不同時間血漿 insulin 濃度變化如圖三，處置效應 ( $p=0.001$ )，時間效應 ( $p=0.001$ )，與處置與時間交互效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著。相同時間點 glucose 濃度，餐後 15, 30, 60, 90, 120 分鐘 nutritious 組顯著高於 fast 組，且餐後 30, 60, 90 分鐘 fast 組 insulin 濃度顯著低於 glucose 組和 acid I-V 組。各處置 insulin 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖四，無顯著處置差異 ( $p=0.263$ )。

不同處置與餐後不同時間血漿 C-Peptide 濃度變化如圖五，且處置效應 ( $p=0.001$ )，時間效應 ( $p=0.001$ )，與處置與時間交互效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著。相同時間點 C-Peptide 濃度，餐後 15，30，60，90，120 分鐘 fast 組顯著低於其他三組。各處置 C-Peptide 濃度-時間之曲線下面積如圖六，無顯著處置差異 ( $p=0.269$ )。

## (二) TG, NEFA, glycerol, 3-HB

不同處置與不同時間血漿 TG 濃度變化如圖七，處置效應 ( $p=0.513$ ) 未達顯著，而時間效應 ( $p=0.035$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著。相同時間點未達顯著。各處置 TG 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖八，無顯著處置差異 ( $p=0.299$ )。

不同處置與不同時間血漿 NEFA 濃度變化如圖九，處置效應 ( $p=0.05$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.185$ ) 未達顯著。相同時間點 NEFA 濃度，餐後 30，60，90 分鐘 fast 組顯著高於 nutritious 組；餐後 60，90，120 分鐘 fast 組顯著高於 glucose 組；餐後 120，180 分鐘 fast 組顯著高於 nutritious 組。各處置 NEFA 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖十，無顯著處置差異 ( $p=0.994$ )。

不同處置與不同時間血漿 glycerol 濃度變化如圖十一，且處置效應 ( $p=0.42$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.636$ ) 未達顯著。相同時間點 glycerol 濃度，餐後 90，120，150 分鐘 fast 組顯著高於其他三組。各處置 glycerol 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖十二，無顯著處置差異 ( $p=0.421$ )。

不同處置與不同時間血漿 3-HB 濃度變化如圖二十一，

處置效應 ( $p=0.604$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.667$ ) 未達顯著。相同時間點 3-HB 濃度，餐後 60 分鐘 fast 組顯著高於 acid I-V 組與 nutritious 組；餐後 90 分鐘 fast 組顯著高於 glucose 組與 nutritious 組且 glucose 顯著高於 nutritious 組。各處置 3-HB 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖二十二，無顯著處置差異 ( $p=0.377$ )。

### (三) lactate, UA, NH<sub>3</sub>

不同處置與不同時間血漿 lactate 濃度變化如圖十三，處置效應 ( $p=0.276$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.682$ ) 未達顯著。相同時間 lactate 濃度，餐前 fast 組顯著高於 acid I-V 組，nutritious 組顯著高於 glucose 組；餐後 15 分鐘 fast 組顯著高於 acid I-V 組；餐後 60, 90 分鐘 acid I-V 組顯著高於 nutritious 組。各處置 lactate 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖十四，無顯著處置差異 ( $p=0.685$ )。

不同處置與不同時間血漿 UA 濃度變化如圖十五，處置效應 ( $p=0.042$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.123$ ) 未達顯著。相同時間點 UA 濃度，baseline，餐後 30, 60, 90, 120, 180 與運動 15, 運動 30, 60 分鐘 glucose 組顯著高於 fast 組；餐後 30, 60, 90, 120, 180 與運動中 15, 45, 60 分鐘 glucose 組顯著高於 nutritious 組。餐後 90, 120 與運動 15, 60 分鐘 glucose 組顯著高於 acid I-V 組。各處置 UA 血漿濃度-時間之曲線下面積如圖十六，無顯著處置差異 ( $p=0.238$ )。

不同處置與不同時間血漿 NH<sub>3</sub> 濃度變化如圖十九，處置

效應 ( $p=0.852$ ) 未達顯著，時間效應 ( $p=0.001$ ) 達顯著，處置與時間交互效應 ( $p=0.799$ ) 未達顯著。相同時間點  $\text{NH}_3$  濃度，餐後 30 分鐘 nutritious 組顯著高於 fast 組；餐後 180 分鐘 nutritious 組顯著高於 glucose 組。各處置  $\text{NH}_3$  血漿濃度-時間之曲線下面積如圖二十，無顯著處置差異 ( $p=0.120$ )。

#### (四) CHO oxidation, fat oxidation, $\text{VO}_2$ , $\text{VCO}_2$ , RQ

在運動中的 CHO oxidation 如圖二十一。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。在運動中的 fat oxidation 如圖二十二。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。 $\text{VO}_2$ ,  $\text{VCO}_2$ , RQ 如圖二十三，圖二十四，圖二十五。結果顯示在運動的過程中各組間並沒有顯著的差異。

## 第五章 討論

本實驗主要探討運動前補充不同膳食纖維，對血液葡萄糖與胰島素反應，以及後續運動代謝的影響。本實驗發現攝取含 75g 葡萄糖飲料後 180 分鐘內，acid I-V 與 nutritious 及 glucose 組血糖、insulin 濃度均無顯著差異，但於 15-60 分鐘期間，均顯著高於空腹，攝取含葡萄糖飲料的 3 組，血糖濃度於 90 分鐘恢復至與空腹相同之水準。攝取含葡萄糖飲料之 3 組，在餐後 3 小時血糖濃度曲線下面積並無顯著差異，但 acid I-V 組曲線下平均面積較 nutritious 組減少 19%，較 glucose 組減少 36%，顯示在含葡萄糖飲料中添加 acid I-V complex，較 nutritious 或完全未添加膳食纖維，可能可以降低餐後血糖上升幅度。

含葡萄糖之 3 組，在餐後各時間點之 insulin 濃度無顯著差異，在餐後 180 分鐘恢復至與空腹相同之水準。攝取含葡萄糖飲料之 3 組，在餐後 3 小時 insulin 濃度曲線下面積亦無顯著差異，但 acid I-V 組平均曲線下面積較 nutritious 組減少 25%，較 glucose 組減少 20%，顯示在含葡萄糖飲料中添加 acid I-V complex，較 nutritious 或完全未添加膳食纖維，可能可以降低餐後胰島素的反應。

過去研究顯示，對健康人與第二型糖尿病患者，攝取具黏度的膳食纖維，例如 beta-glucan、guar gum，可能可以降低餐後血糖與胰島素之上升幅度 (Anderson, Gustafson, Bryant, & Tietyen-Clark, 1987; Behall, Scholfield, Hallfrisch, & Liljeberg-Elmstahl, 2006; Wolever, Jenkins, Nineham, & Alberti, 1979; Wursch & Pi-Sunyer, 1997)，有助於降低罹患

糖尿病機率，或協助糖尿病患者控制血糖，但是添加這些具有高黏度的膳食纖維之後，常會使食品的口感變差，難以咀嚼及吞嚥，因此某些廠商開發了在食物中黏性較低，但在消化道中可轉變為高黏性的膳食纖維產品。本研究採用的產品含有 alginate，此物質可由 family Phaeophyceae (棕色海藻 brown seaweed) 中分離而得，主要成分為 mannuronic acid 及 guluronic acid，在缺乏二價以上陽離子的情況下，alginate 的黏度較低，且可溶於水，適合添加於食物中。當有鈣離子存在時，鈣離子會與 alginate 結合，改變其空間排列，而增加其黏度。本研究所使用之產品含有磷酸鈣，在胃的酸性環境中，會釋放出鈣離子，與 alginate 結合，使 alginate 黏性增加 (Torsdottir, Alpsten, Holm, Sandberg, & Tolli, 1991)，因此稱為 acid-induced viscosity。

過去研究顯示，添加 acid I-V 可降低攝取 75 g 葡萄糖後 180 分鐘內，血糖濃度曲線下面積，acid I-V 餐後血糖濃度之最高值與控制組並無顯著差異，但在餐後 60-150 分鐘其間，當血糖濃度從最高值（30 分鐘時）開始下降，acid I-V 組之下降幅度大於控制組。Acid I-V 組餐後胰島素的最高值顯著高於控制組，但 180 分鐘其間之曲線下面積並無顯著差異，顯示 acid I-V 降低了餐後血糖的反應，但並無影響胰島素反應 (B. W. Wolf et al., 2002)。另一個研究也顯示，acid I-V 可減少第二型糖尿病患者餐後血糖與胰島素之上升幅度，而此效應可能主要來自於 acid I-V 減緩了胃排空 (gastric emptying) (Torsdottir et al., 1991)。

Guar gum 是常添加於食物中的膳食纖維，具有協助健康人與糖尿病患者，控制血糖的效果 (Ebeling et al., 1988;

Groop, Aro, Stenman, & Groop, 1993), 但是具有高黏度, 因此在食品中不能添加太多, 以免影響口感與吞嚥。(Wolf et al., 2003)將數種膳食纖維與數種澱粉混和, 使黏度變低, 但在 alpha-amylase 的存在下, 會將澱粉水解, 進而使這些膳食纖維可以溶於水, 並形成高黏性的食糜, 稱為 amylase-induced viscosity, 以健康成年人為研究對象指出, amylase-iv 可顯著降低餐後血糖最高值與曲線下面積, 但對胰島素並無顯著影響。另一研究將 guar gum 加入食物棒(bar)中, 顯著降低第二型糖尿病患者餐後血糖、胰島素、C-peptide 的上升幅度 (Flammang, Kendall, Baumgartner, Slagle, & Choe, 2006)。將 alginate 與 guar gum 共同添加於食物中, 在飲食中加入日本傳統食品 50 g 納豆(含高黏性膳食纖維)與 60 g 蕃薯、40 g okras, 亦可顯著降低餐後血糖與胰島素上升的幅度。將 guar gum 與 alginate 一起添加於食物棒中, 可降低餐後血糖最高值與曲線下面積(Williams et al., 2004)。

運動初期 15 分鐘除了 fast 組以外, 其餘三組 glucose 濃度均呈現下降趨勢且低於 baseline 水準, 推測運動初期能量來源主要為 blood glucose。由於本實驗設計並無檢測肌肉肝醣濃度, 只能推論運動初期 glucose 濃度下降, 也許是運動促使 GLUT4 轉移至細胞膜上, 並將 glucose 轉運至肌肉細胞內, 進而提供運動能量。雖運動 1 小時期間, 3 組曲線下面積無顯著差異, 但 acid I-V 組較 nutritious 組面積略低 2%, 較 glucose 組面積低 23%。由此可知 acid I-V complex 添加於葡萄糖飲料, 可能可減緩攝取飲料後 3 小時與後續運動 1 小時的 glucose 濃度反應。

本研究發現 insulin 與 C-Peptide 濃度具有相似對應關

係，攝取飲料後 15 至 120 分鐘 insulin 與 C-Peptide 濃度，fast 組並無明顯濃度改變，其餘三組則顯著上升，從曲線下面積得知，不同飲料組間雖無顯著差異，但 acid I-V 組面積卻呈現略低。

C-Peptide 為胰臟製造 insulin 過程中的副產物，insulin 的前趨物質稱為 Proinsulin，由  $\alpha$ -鏈、 $\beta$ -鏈及一段 C-peptide 所構成。當 Proinsulin 演變成 insulin 時 (insulin 僅由  $\alpha$ -鏈、 $\beta$ -鏈所組成)，這段 C-peptide 受到蛋白酶分解，且和 insulin 一起分泌到血液中，由於半衰期及代謝速率之不同，所以在血液濃度並不全然一致，不過兩者仍然呈現良好的對應關係。

腸泌素 (Incretin hormone) 是進食後腸道分泌的賀爾蒙，可刺激葡萄糖對胰島  $\beta$  細胞之刺激 (glucose-dependent insulin secretion)，包括 GLP-1 (glucagons-like peptide-1) 與 GIP (Gastric inhibitory polypeptide)。促進胰島素分泌作用主要是受到血糖濃度的影響，藉由刺激 GLP-1 可增加  $\beta$  細胞製造及分泌胰島素，還可抑制胰臟  $\alpha$  細胞分泌升糖素，以降低肝糖生成，延緩胃排空速率，減緩葡萄糖吸收。GLP-1 對血糖作用可以分成短期與長期作用，短期即上述葡萄糖依賴性胰島素分泌作用，有立即降血糖效果；長期作用則是促進  $\beta$  細胞增殖 (Murphy & Bloom, 2006)。先前研究 (B. W. Wolf et al., 2002) 已證實含醣類飲料中添加 acid I-V complex 可減緩升糖反應，卻無減少胰島素反應，可能因為膳食纖維刺激小腸中 GLP-1，進而刺激胰島素釋放，且抑制高血糖因子，即使血糖濃度減低，insulin 分泌仍然可以維持。但大多數研究顯示，具黏性膳食纖維可同時減少餐後血糖與胰島素的上升

幅度，與本研究結果類似。

由於血糖及胰島素在運動前都已經恢復至與空腹時相當，因此後續的1小時運動期間，補充葡萄糖之3組，各項代謝指標均無顯著差異。

本研究發現飲料後三小時 TG 濃度與曲線下面積各處置間無顯著差異，運動期間亦無顯著，主因為攝取含醣類飲料後的影響，主要在於對血糖與 insulin 濃度改變。

本研究發現飲料後 60 至 120 分鐘 NEFA 濃度除了 fast 組以外，其他飲料組 NEFA 濃度均明顯低於基準點，又攝取飲料後 30 至 90 分鐘以 acid I-V 組顯著低於 nutritious，直至飲料後 180 分鐘三組濃度回復 baseline 水準。四組飲料後 NEFA 濃度曲線下面積無顯著差異，但面積以 acid I-V 組最小。飲料後兩小時 insulin 與 NEFA 濃度發現對應趨勢。insulin 濃度上升而脂肪氧化下降，長鏈脂肪酸不易進入粒腺體的  $\beta$  細胞進行氧化作用，因此飲料後階段 NEFA 濃度顯著下降，直至 insulin 回復 baseline 水準，NEFA 濃度才逐漸上升，此飲料後階段與 glycerol 濃度呈現一致，先前研究 (Wu et al., 2003) 也得到相同結果。

運動初期 15 分鐘 NEFA 濃度下降，此部分與其他研究不相同，也許是肌肉在運動中對於 blood glucose 利用提高，身體並無缺乏能量使用，lipolysis 速度尚未增加，而身體缺乏能量時才會再經 hormone sensitive lipase 分解出 NEFA 至血液中，導致運動初期 NEFA 濃度呈現下降現象；卻運動中各組間 glycerol 濃度仍維持上升。運動初期結果與先前研究不一致，原因為運動刺激腎上腺素分泌，lipolysis 所產生的 glycerol 無法被脂肪細胞回收利用，且易擴散至血液中，故

運動初期 glycerol 濃度立即提高，所以 glycerol 常視為評估 lipolysis 的指標。運動中 lipolysis 持續進行，不同飲料間 glycerol 濃度無顯著差異。

飲料後 3-HB 濃度受到 insulin 濃度上升的影響，抑制 lipolysis 進行，造成 NEFA 濃度下降，減少 NEFA 進入肝臟，進而減少 3-HB 合成，而運動階段 3-HB 濃度與 NEFA 也呈現相似對應關係。

以上脂肪代謝生化指標均指出，運動能量來源仍以碳水化合物為主，又從氣體分析數據 RER 平均值得知碳水化合物氧化量以飲料組（介於 0.83~0.89）較空腹組（小於 0.82）高，推測此時身體能量來源以碳水化合物比例較高。運動期間 4 組 RER 平均值差異不大（約 1.0），推斷碳水化合物為運動主要能量來源。

本實驗主要限制為受試者樣本數僅為 9 人，易受個體差異影響。本實驗結論為耐力運動前 3 小時攝取葡萄糖飲料添加 acid I-V complex 相較於添加 nutritious 或是單純葡萄糖飲料，有減緩血糖與 insulin 上升幅度趨勢。運動 1 小時能量使用比例以碳水化合物高於脂肪，此結果或許適合糖尿病患者作為控制血糖參考。

## 參考文獻

- Adopo, E., Peronnet, F., Massicotte, D., Brisson, G. R., & Hillaire-Marcel, C. (1994). Respective oxidation of exogenous glucose and fructose given in the same drink during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(3), 1014-1019.
- Anderson, J. W., Gustafson, N. J., Bryant, C. A., & Tietzen-Clark, J. (1987). Dietary fiber and diabetes: a comprehensive review and practical application. *Journal of the American Dietetic Association*, 87(9), 1189-1197.
- Behall, K. M., Scholfield, D. J., Hallfrisch, J. G., & Liljeberg-Elmstahl, H. G. (2006). Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. *Diabetes care*, 29(5), 976-981.
- Bennard, P., & Doucet, E. (2006). Acute effects of exercise timing and breakfast meal glycemic index on exercise-induced fat oxidation. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(5), 502-511.
- Braaten, J. T., Wood, P. J., Scott, F. W., Riedel, K. D., Poste, L. M., & Collins, M. W. (1991). Oat gum lowers glucose and insulin after an oral glucose load. *The American Journal Of Clinical Nutrition*, 53(6), 1425-1430.
- Burke, L. M. (1997). Nutrition for post-exercise recovery. *Australian journal of science and medicine in sport*,

29(1), 3-10.

- Burke, L. M., Claassen, A., Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1998). Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. *Journal of Applied Physiology*, 85(6), 2220-2226.
- DeMarco, H. M., Sucher, K. P., Cisar, C. J., & Butterfield, G. E. (1999). Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(1), 164-170.
- Earnest, C. P., Lancaster, S. L., Rasmussen, C. J., Kerksick, C. M., Lucia, A., Greenwood, M. C., et al. (2004). Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during simulated 64-km cycling time trial performance. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 466-472.
- Ebeling, P., Yki-Jarvinen, H., Aro, A., Helve, E., Sinisalo, M., & Koivisto, V. A. (1988). Glucose and lipid metabolism and insulin sensitivity in type 1 diabetes: the effect of guar gum. *The American journal of clinical nutrition*, 48(1), 98-103.
- Englyst, H. N., Trowell, H., Southgate, D. A., & Cummings, J. H. (1987). Dietary fiber and resistant starch. *American Journal of Clinical Nutrition*, 46(6), 873-874.
- Erickson, M. A., Schwarzkopf, R. J., & McKenzie, R. D. (1987). Effects of caffeine, fructose, and glucose ingestion on muscle glycogen utilization during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(6),

579-583.

- Febbraio, M. A., Keenan, J., Angus, D. J., Campbell, S. E., & Garnham, A. P. (2000). Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *Journal of Applied Physiology*, *89*(5), 1845-1851.
- Febbraio, M. A., & Stewart, K. L. (1996). CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, *81*(3), 1115-1120.
- Flammang, A. M., Kendall, D. M., Baumgartner, C. J., Slagle, T. D., & Choe, Y. S. (2006). Effect of a viscous fiber bar on postprandial glycemia in subjects with type 2 diabetes. *Journal of the American College of Nutrition*, *25*(5), 409-414.
- Groop, P. H., Aro, A., Stenman, S., & Groop, L. (1993). Long-term effects of guar gum in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *The American journal of clinical nutrition*, *58*(4), 513-518.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Haisman, P., Dilawari, J., et al. (1978). Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. *British Medical Journal*, *1*(6124), 1392-1394.
- Jentjens, R. L., Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2004). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Medicine and science in sports and*

- exercise*, 36(9), 1551-1558.
- Jentjens, R. L., & Jeukendrup, A. E. (2005). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *The British journal of nutrition*, 93(4), 485-492.
- Jentjens, R. L., Moseley, L., Waring, R. H., Harding, L. K., & Jeukendrup, A. E. (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1277-1284.
- Jentjens, R. L., Underwood, K., Achten, J., Currell, K., Mann, C. H., & Jeukendrup, A. E. (2006). Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 807-816.
- Jozsi, A. C., Trappe, T. A., Starling, R. D., Goodpaster, B., Trappe, S. W., Fink, W. J., et al. (1996). The influence of starch structure on glycogen resynthesis and subsequent cycling performance. *The International Journal of Sports Medicine*, 17(5), 373-378.
- Kirwan, J. P., Cyr-Campbell, D., Campbell, W. W., Scheiber, J., & Evans, W. J. (2001). Effects of moderate and high glycemic index meals on metabolism and exercise performance. *Metabolism: clinical and experimental*, 50(7), 849-855.
- Kirwan, J. P., O'Gorman, D., & Evans, W. J. (1998). A

moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *Journal of Applied Physiology*, 84(1), 53-59.

Kirwan, J. P., O'Gorman, D. J., Cyr-Campbell, D., Campbell, W. W., Yarasheski, K. E., & Evans, W. J. (2001). Effects of a moderate glycemic meal on exercise duration and substrate utilization. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(9), 1517-1523.

Maki, K. C., Carson, M. L., Miller, M. P., Turowski, M., Bell, M., Wilder, D. M., et al. (2007). High-viscosity hydroxypropylmethylcellulose blunts postprandial glucose and insulin responses. *Diabetes care*, 30(5), 1039-1043.

Massicotte, D., Peronnet, F., Allah, C., Hillaire-Marcel, C., Ledoux, M., & Brisson, G. (1986). Metabolic response to [13C]glucose and [13C]fructose ingestion during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61(3), 1180-1184.

Mitchell, J. B., Braun, W. A., Pizza, F. X., & Forrest, M. (2000). Pre-exercise carbohydrate and fluid ingestion: influence of glycemic response on 10-km treadmill running performance in the heat. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(1), 41-50.

Murphy, K. G., & Bloom, S. R. (2006). Gut hormones and the regulation of energy homeostasis. *Nature*, 444(7121), 854-859.

- Parkin, J. A., Carey, M. F., Martin, I. K., Stojanovska, L., & Febbraio, M. A. (1997). Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(2), 220-224.
- Pastors, J. G., Blaisdell, P. W., Balm, T. K., Asplin, C. M., & Pohl, S. L. (1991). Psyllium fiber reduces rise in postprandial glucose and insulin concentrations in patients with non-insulin-dependent diabetes. *The American Journal Of Clinical Nutrition*, 53(6), 1431-1435.
- Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(2), 103-148.
- Stannard, S. R., Constantini, N. W., & Miller, J. C. (2000). The effect of glycemic index on plasma glucose and lactate levels during incremental exercise. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 10(1), 51-61.
- Stannard, S. R., Hawke, E. J., & Schnell, N. (2007). The effect of galactose supplementation on endurance cycling performance. *European journal of clinical nutrition*.
- Stevenson, E., Williams, C., & Biscoe, H. (2005). The metabolic responses to high carbohydrate meals with

different glycemic indices consumed during recovery from prolonged strenuous exercise. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 15(3), 291-307.

Stevenson, E., Williams, C., McComb, G., & Oram, C. (2005). Improved recovery from prolonged exercise following the consumption of low glycemic index carbohydrate meals. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 15(4), 333-349.

Stevenson, E., Williams, C., & Nute, M. (2005). The influence of the glycaemic index of breakfast and lunch on substrate utilisation during the postprandial periods and subsequent exercise. *The British journal of nutrition*, 93(6), 885-893.

Stevenson, E., Williams, C., Nute, M., Swaile, P., & Tsui, M. (2005). The effect of the glycemic index of an evening meal on the metabolic responses to a standard high glycemic index breakfast and subsequent exercise in men. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 15(3), 308-322.

Stevenson, E. J., Williams, C., Mash, L. E., Phillips, B., & Nute, M. L. (2006). Influence of high-carbohydrate mixed meals with different glycemic indexes on substrate utilization during subsequent exercise in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84(2), 354-360.

- Torsdottir, I., Alpsten, M., Holm, G., Sandberg, A. S., & Tolli, J. (1991). A small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *The Journal Of Nutrition*, *121*(6), 795-799.
- Trenell, M. I., Stevenson, E., Stockmann, K., & Brand-Miller, J. (2008). Effect of high and low glycaemic index recovery diets on intramuscular lipid oxidation during aerobic exercise. *The British journal of nutrition*, *99*(2), 326-332.
- Wee, S. L., Williams, C., Gray, S., & Horabin, J. (1999). Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, *31*(3), 393-399.
- Wee, S. L., Williams, C., Tsintzas, K., & Boobis, L. (2005). Ingestion of a high-glycemic index meal increases muscle glycogen storage at rest but augments its utilization during subsequent exercise. *Journal of Applied Physiology*, *99*(2), 707-714.
- Williams, J. A., Lai, C. S., Corwin, H., Ma, Y., Maki, K. C., Garleb, K. A., et al. (2004). Inclusion of guar gum and alginate into a crispy bar improves postprandial glycemia in humans. *The Journal of nutrition*, *134*(4), 886-889.
- Wolever, T. M., Jenkins, D. J., Nineham, R., & Alberti, K. G. (1979). Guar gum and reduction of post-prandial

glycaemia: effect of incorporation into solid food, liquid food, and both. *The British journal of nutrition*, 41(3), 505-510.

Wolf, B. W., Lai, C.-S., Kipnes, M. S., Ataya, D. G., Wheeler, K. B., Zinker, B. A., et al. (2002). Glycemic and insulinemic responses of nondiabetic healthy adult subjects to an experimental acid-induced viscosity complex incorporated into a glucose beverage. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 18(7-8), 621-626.

Wolf, B. W., Lai, C. S., Kipnes, M. S., Ataya, D. G., Wheeler, K. B., Zinker, B. A., et al. (2002). Glycemic and insulinemic responses of nondiabetic healthy adult subjects to an experimental acid-induced viscosity complex incorporated into a glucose beverage. *Nutrition*, 18(7-8), 621-626.

Wolf, B. W., Wolever, T. M., Lai, C. S., Bolognesi, C., Radmard, R., Maharry, K. S., et al. (2003). Effects of a beverage containing an enzymatically induced-viscosity dietary fiber, with or without fructose, on the postprandial glycemic response to a high glycemic index food in humans. *European journal of clinical nutrition*, 57(9), 1120-1127.

Wu, C. L., Nicholas, C., Williams, C., Took, A., & Hardy, L. (2003). The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during

subsequent exercise. *The British journal of nutrition*, 90(6), 1049-1056.

Wu, C. L., & Williams, C. (2006). A low glycemic index meal before exercise improves endurance running capacity in men. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 16(5), 510-527.

Wursch, P., & Pi-Sunyer, F. X. (1997). The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. A review with special emphasis on cereals rich in beta-glucan. *Diabetes care*, 20(11), 1774-1780.

## 附錄一、健康問卷調查表

### ● 基本資料

姓名：\_\_\_\_\_ 系所及班級：\_\_\_\_\_  
性別：男 女 填寫日期：民國\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日  
出生年月日：民國\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日  
身高(cm)/體重(kg)：\_\_\_\_/\_\_\_\_

### ● 過去及家族病史，(若有請於框框內打勾)並於空白處填上親屬關係

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 心臟病    | <input type="checkbox"/> 高血壓    |
| <input type="checkbox"/> 糖尿病    | <input type="checkbox"/> 血友病    |
| <input type="checkbox"/> 氣喘     | <input type="checkbox"/> 蠶豆症    |
| <input type="checkbox"/> 呼吸系統疾病 | <input type="checkbox"/> 神經系統疾病 |
| <input type="checkbox"/> 消化系統疾病 | <input type="checkbox"/> 內分泌疾病  |
| <input type="checkbox"/> 泌尿疾病   | <input type="checkbox"/> 骨折     |
| <input type="checkbox"/> 過敏     | <input type="checkbox"/> 貧血     |
| <input type="checkbox"/> 癌症     | <input type="checkbox"/> 其它     |

### ● 生活習慣

抽煙 常常 偶爾 少許 未曾  
喝酒 常常 偶爾 少許 未曾  
熬夜(超過半夜一點)，每週約\_\_\_\_天或每月約\_\_\_\_天  
運動習慣，有 無 (若有請填寫下列空格)  
運動項目\_\_\_\_，每週約\_\_\_\_次或每月約\_\_\_\_次，每次約\_\_\_\_分鐘  
其它\_\_\_\_

### ● 是否有長期服用藥物之習慣 是否，藥物名稱：

### ● 自覺症狀(若有請於框框內打勾)

- |      |                              |                             |                               |
|------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 頭痛   | <input type="checkbox"/> 失眠  | <input type="checkbox"/> 心悸 | <input type="checkbox"/> 手指顫抖 |
| 腸胃炎  | <input type="checkbox"/> 黏膜炎 | <input type="checkbox"/> 胸悶 | <input type="checkbox"/> 胸痛   |
| 肌肉酸痛 | <input type="checkbox"/> 便秘  | <input type="checkbox"/> 腹痛 | <input type="checkbox"/> 皮膚問題 |
| 其它   |                              |                             |                               |

以上您填寫的資料皆屬實，並經檢測人員解說後瞭解檢測內容及步驟，並同意參加本次實驗。  
受測者簽名：\_\_\_\_\_

## 附錄二、受試者同意書

研究題目：ACID INDUCED VISCOSITY COMPLEX 對耐力運動之脂肪與醣類代謝的影響

研究單位：國立台灣體育大學運動科學中心

研究人員：競碩二 A 謝秉勳

在葡萄糖測試中 acid I-V 可能可以減緩健康受試者餐後升糖反應。本研究目的是要探討葡萄糖飲料中添加 acid I-V 是否影響運動代謝。本研究預計招募健康自願的青年男性為受測者 9 人，參與本實驗。本研究含 3 個實驗組、1 個控制組，每組實驗飲用不同的葡萄糖飲料或安慰劑 250 ml，隨後進行 1 小時的腳踏車運動介入。參與的受試者接受前三天的飲食控制，每次實驗前三天的飲食內容需相近，並於實驗前 10 小時禁止食用任何食品。參與者在三天的自我飲食控制後，第四天為實驗日，實施不同補充劑葡萄糖溶液測試。參與者在食用完不同葡萄糖溶液測試後，進行一個半小時運動介入，結束後隨後進行 50%VO<sub>2max</sub> 的運動直到衰竭。每次實驗期需間隔至少一周以上，受測者在兩個實驗期內，維持相同的生活型態。經由您的參與本研究，您可以了解個人的各項生理生化資料，並且提供重要的運動科學資訊。您參與本研究所得的任何資料，都將接受資料保密的政策所保護，除了供給本研究者做為學術上的研究之外，不會對外洩露。

在此感謝您的參與本研究，在實驗期間，若您想退出本研究，您可以隨時告知，即可退出本研究，本研究者將不會有任何的異議。在此我同次參與本研究，並配合研究者的要求。

同意人：\_\_\_\_\_ (簽名) 日期：\_\_\_\_\_

法定代理人：\_\_\_\_\_

住址：\_\_\_\_\_

聯絡電話：\_\_\_\_\_

見證人：\_\_\_\_\_

表一、食品成分

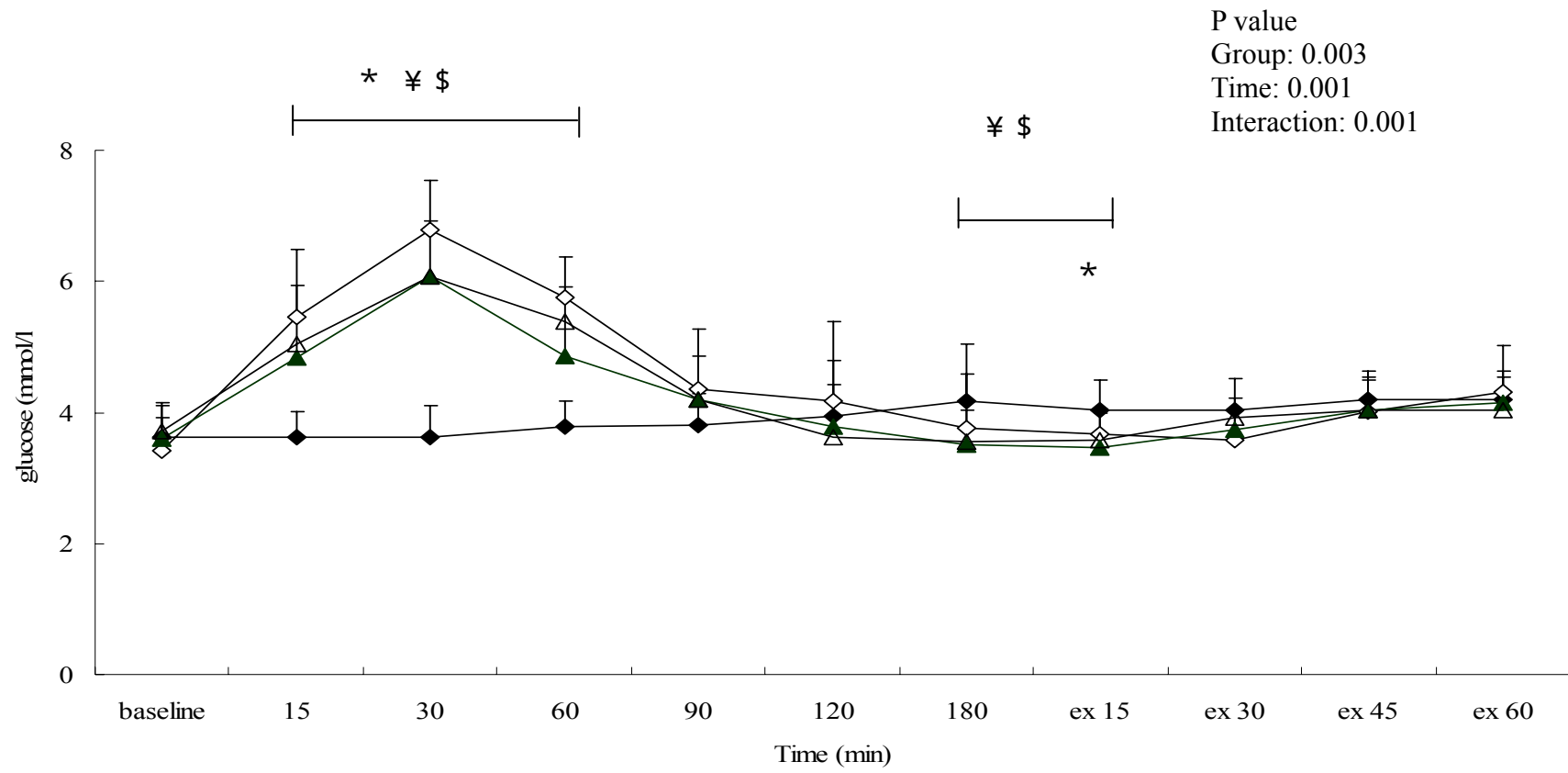
*實驗處方成分表(units/100 g product)				
	Acid I-V	Glucose	Nutrious	FAST
Solid(固體食物) (mg)	30.8	0	31.5	0
Potassium (mg)	462	0	466	0
Calcium (mg)	60.8	0	67.4	0
Phosphorus (mg)	27.7	0	27.6	0
Total dietary fiber(g)	1.77	0	1.88	0
Glucose (g)	24.7	24.7	24.5	0
Fructose (g)	4.7	0	4.8	0
Galactose (g)	0.2	0	0.2	0
Viscosity (mPa · s)	249	0	289	0
<p>*實驗處方含水250 ml</p> <p>Ingredients were obtained from the following sources:  glucose (dextrose,Corn Products International, Inc., Bedford Park, IL, USA), Sodium alginate (Kelco, San Diego, CA, USA),  Gum Arabic and guar gum (TIC Gums, Inc., Belcamp, MD, USA),  Potassium citrate (Prillaman Chemical Corp., Germany), Microcrystalline cellulose (FMC Corp., Newark, DE, USA),  Tricalcium phosphate (Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, USA), and lemon flavor (Tastemaker, Cincinnati, OH, USA).Acid I-V, acid-induced viscosity.</p>				

表二、運動前攝取不同升糖指數碳水化合物的影響

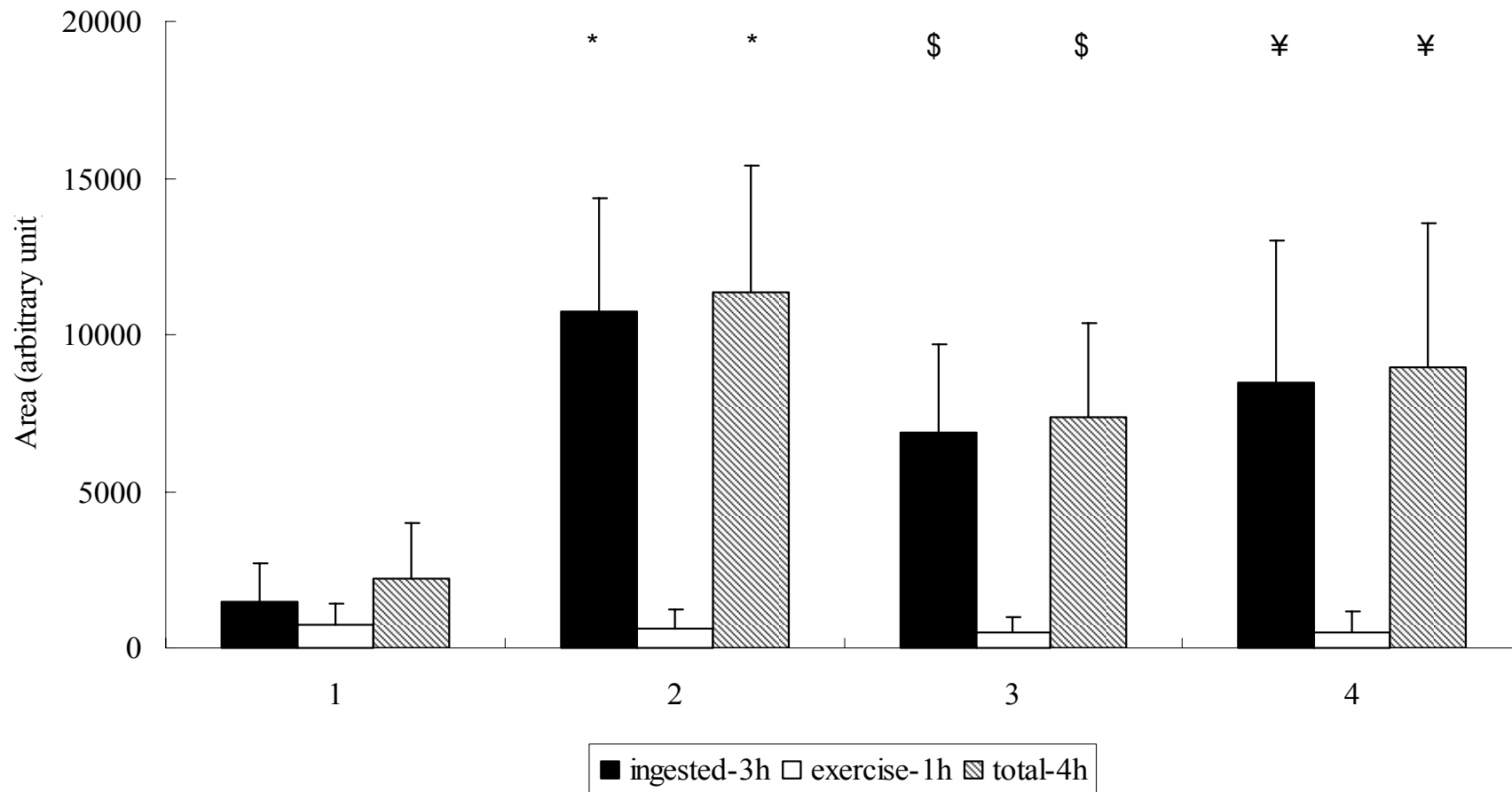
文獻	受試者	運動處方	食物	結果
Wu et al., 2006	8位男性 業餘跑者	跑步 70%VO <sub>2max</sub> 直 至力竭	運動前3小時攝取 LGI餐 (37) 或HGI 餐 (77)	運動時間以 LGI 組高於 HGI 組, LGI 組脂肪氧化 較高。
Wee et al., 2005	7位訓練 有素男 性	跑步 71%VO <sub>2max</sub> 持 續 30 分鐘	運動前 3 小時攝取 HGI 或 LGI 碳水 化合物早餐	運動期間脂 肪氧化以 LGI 較高, 可能有節省 肝醣效果。
Stevenson et al., 2005	7位健康 男性	跑步 60%或 65 %VO <sub>2max</sub>	LGI 餐或 HGI 餐	無增進運動 表現。
Stevenson et al., 2005	9位健康 男性	跑步 70%VO <sub>2max</sub> 持 續 60 分鐘	攝取 HGI 或 LGI 早餐, 隨後後 3 小 時休, 再攝取 HGI 或 LGI 午餐	運動時受質 使用無顯著 差異。
Wu et al., 2003	9位男性 業餘跑 者	原地跑步機 65%VO <sub>2max</sub> 持 續 60 分鐘	運動前小時 HGI (77.4), LGI (36.9) 與 FAST	運動中脂肪 氧化程度 LGI > HGI。
Kirwan et al., 2001	6位有運 動習慣 女性	原地固定式腳踏 車 60%VO <sub>2max</sub> 至 力竭	運動前 45 分鐘攝 取有機燕麥片 (RO 組) 或水(控 制組)	運動持續時 間沒有增加。
Kirwan et al., 2001	6位男性 志願者	原地固定式腳 踏車 60%VO <sub>2max</sub> 至 力竭	運動前45分鐘MGI (61); HGI(82); 水 (control).	運動前 45 分 鐘攝取 moderate GI 餐提供顯著 的運動表現 與代謝反應
Stannard et al., 2000	10位訓 練有素 的自行 車車選 手	漸進式腳踏車 運動測試致力 竭 65 分鐘		

表三、受試者資料

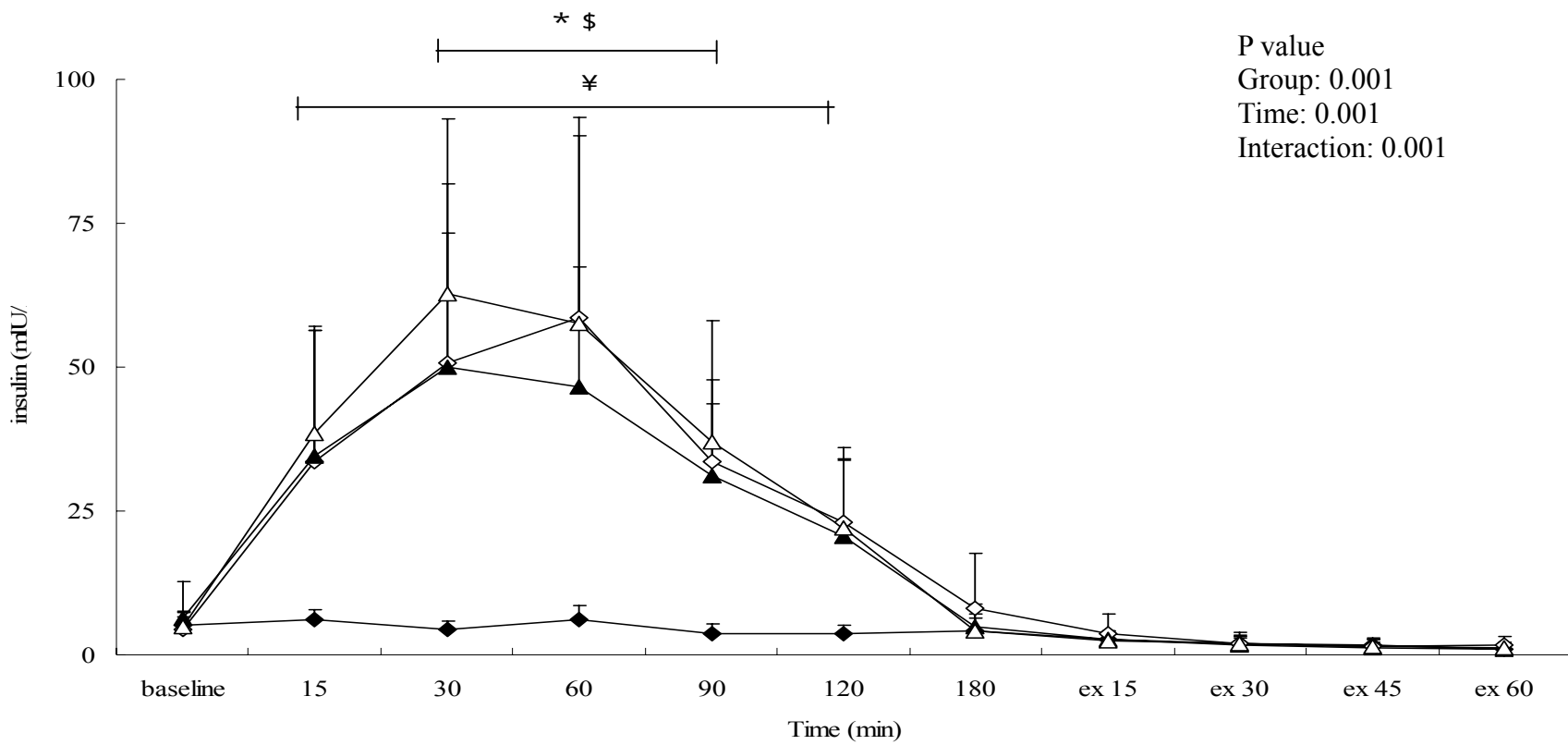
基本資料	平均數±標準誤
N	9
年齡(year)	26.4±6.7
身高 (cm)	171.3±7.8
體重 (kg)	69.2±7.5
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.6±2.2



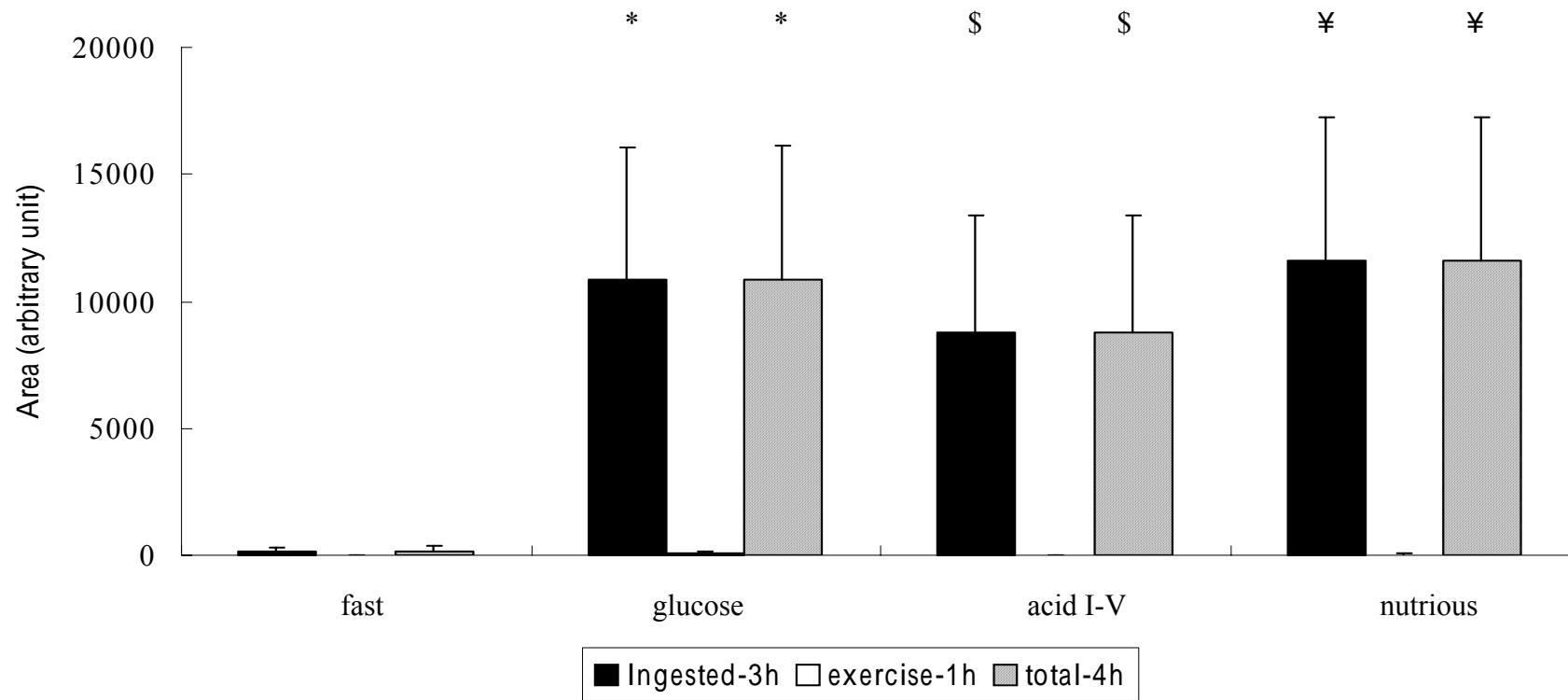
圖一、不同處置血漿 glucose 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast v.s. nutritious



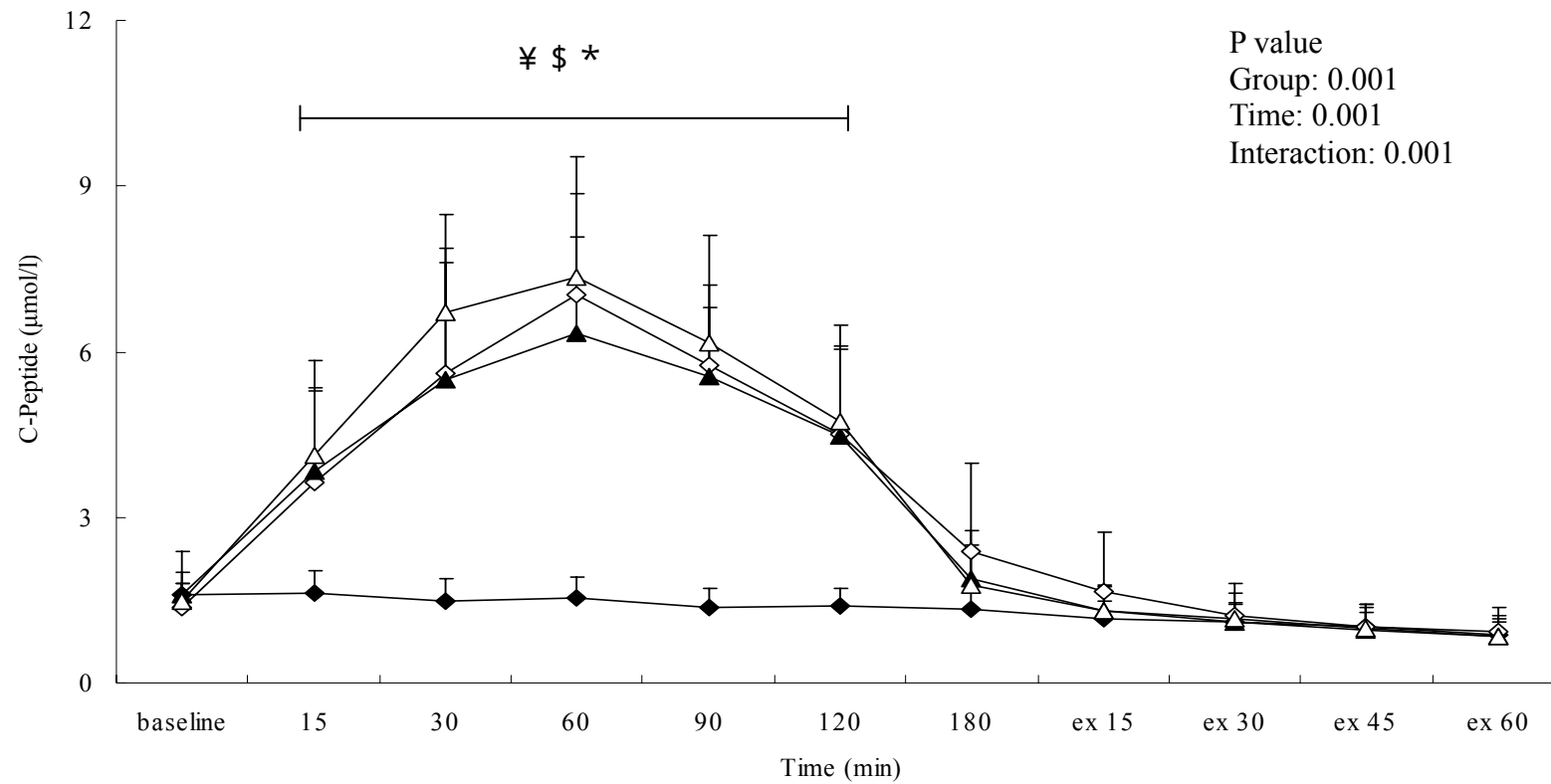
圖二、不同處置下 glucose 濃度-時間曲線下面積。\* fast v. s. glucose; \$ fast v. s. acid I-V; ¥ fast v. s. nutritious



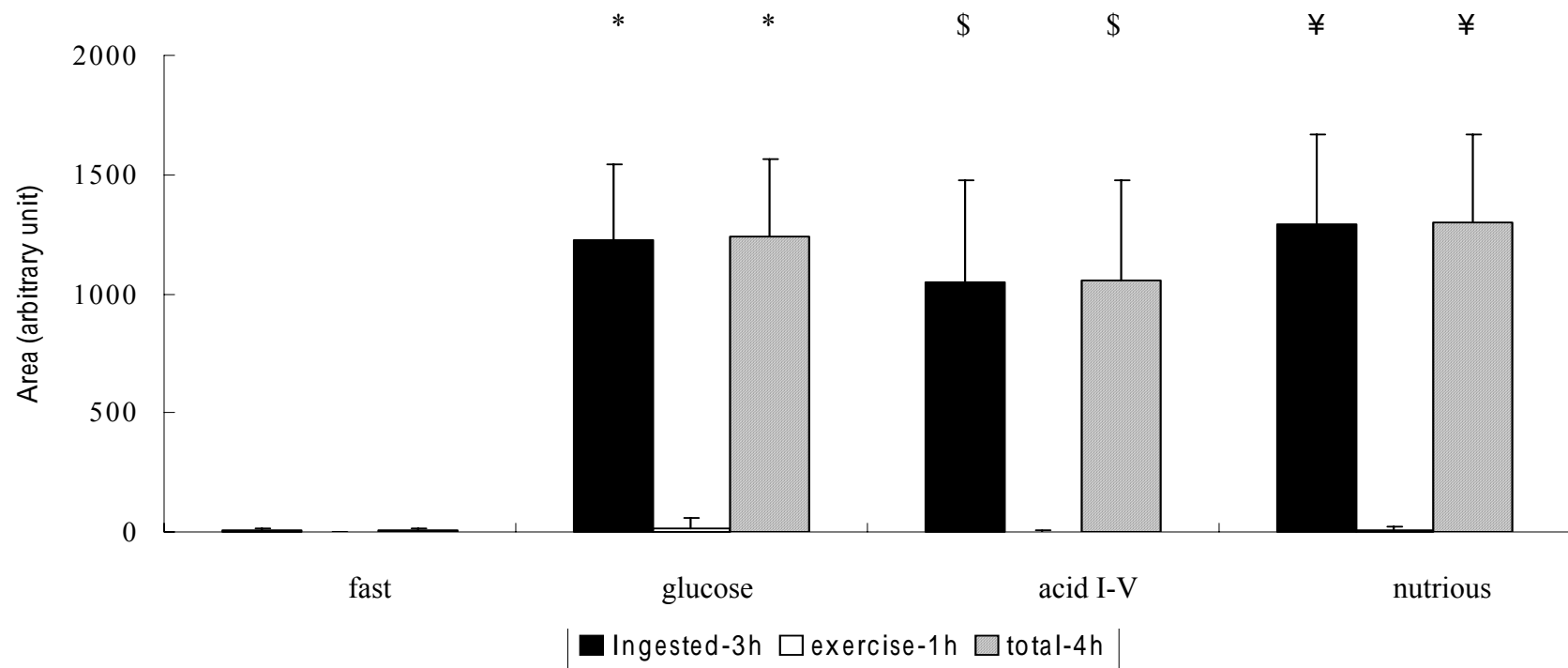
圖三、不同處置血漿 insulin 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast v.s. nutritious



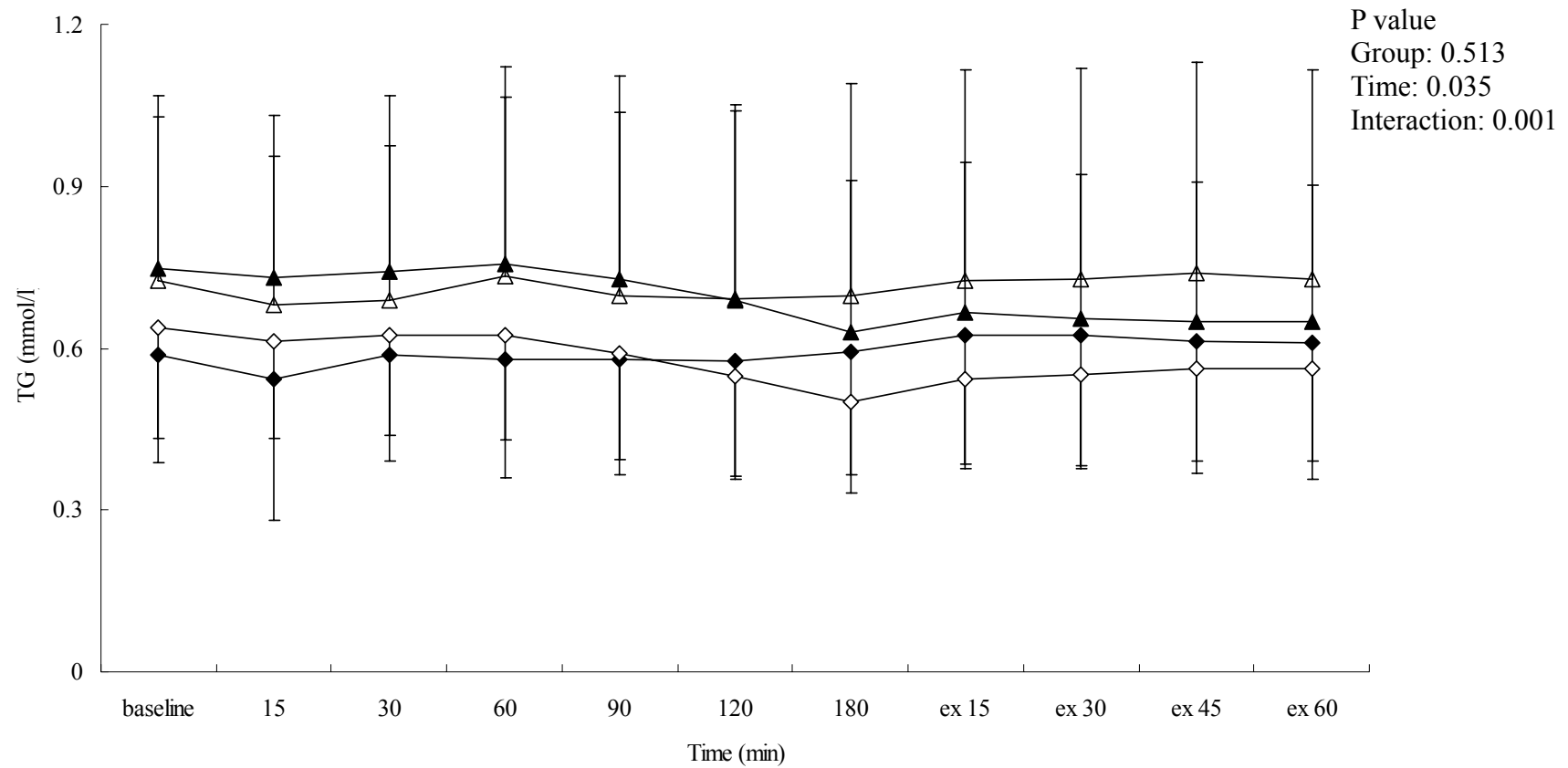
圖四、不同處置下 insulin 濃度-時間曲線下面積。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast v.s. nutritious



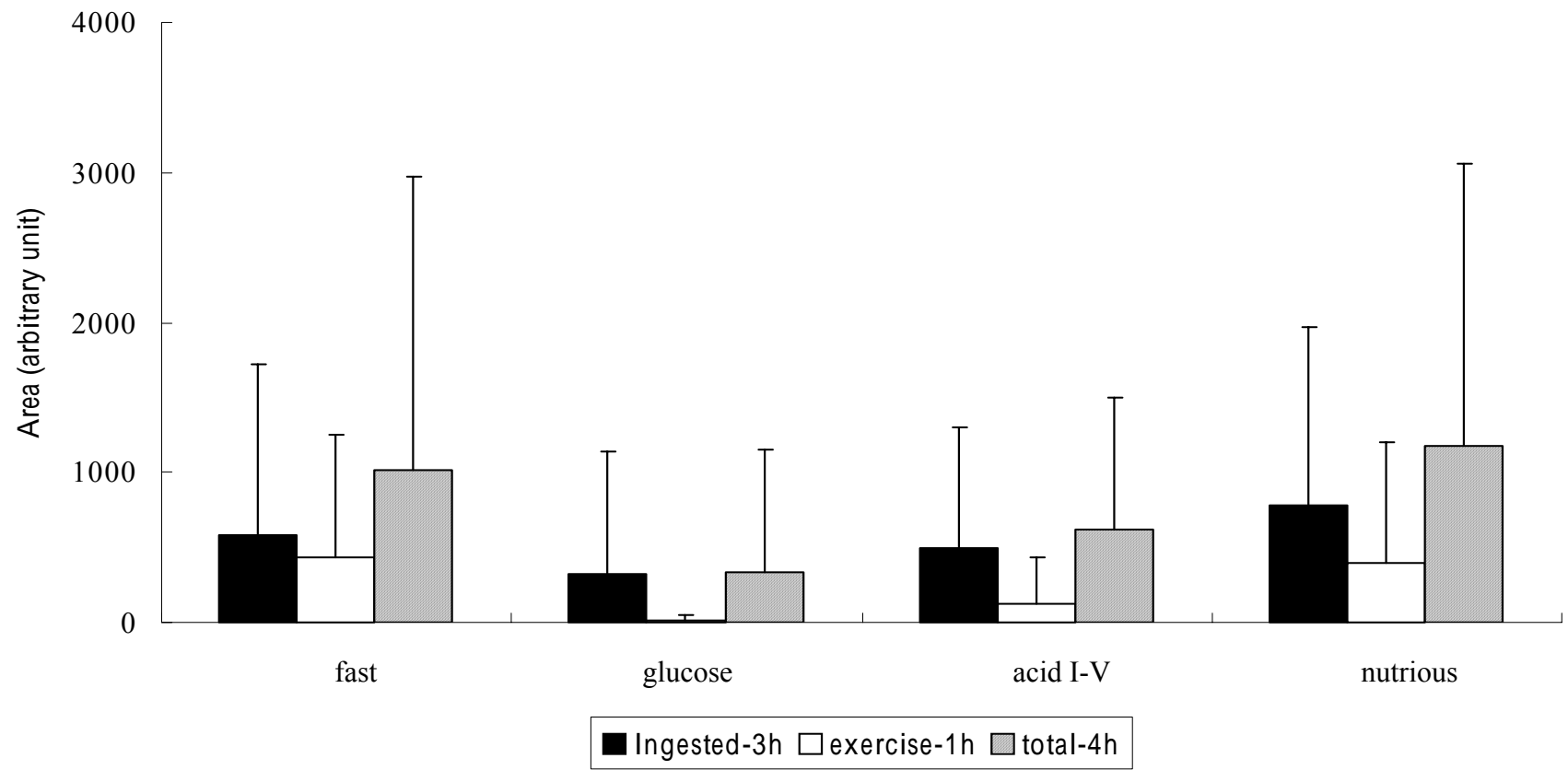
圖五、不同處置血漿 c-peptide 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v. s. glucose; \$ fast v. s. acid I-V; ¥ fast v. s. nutritious



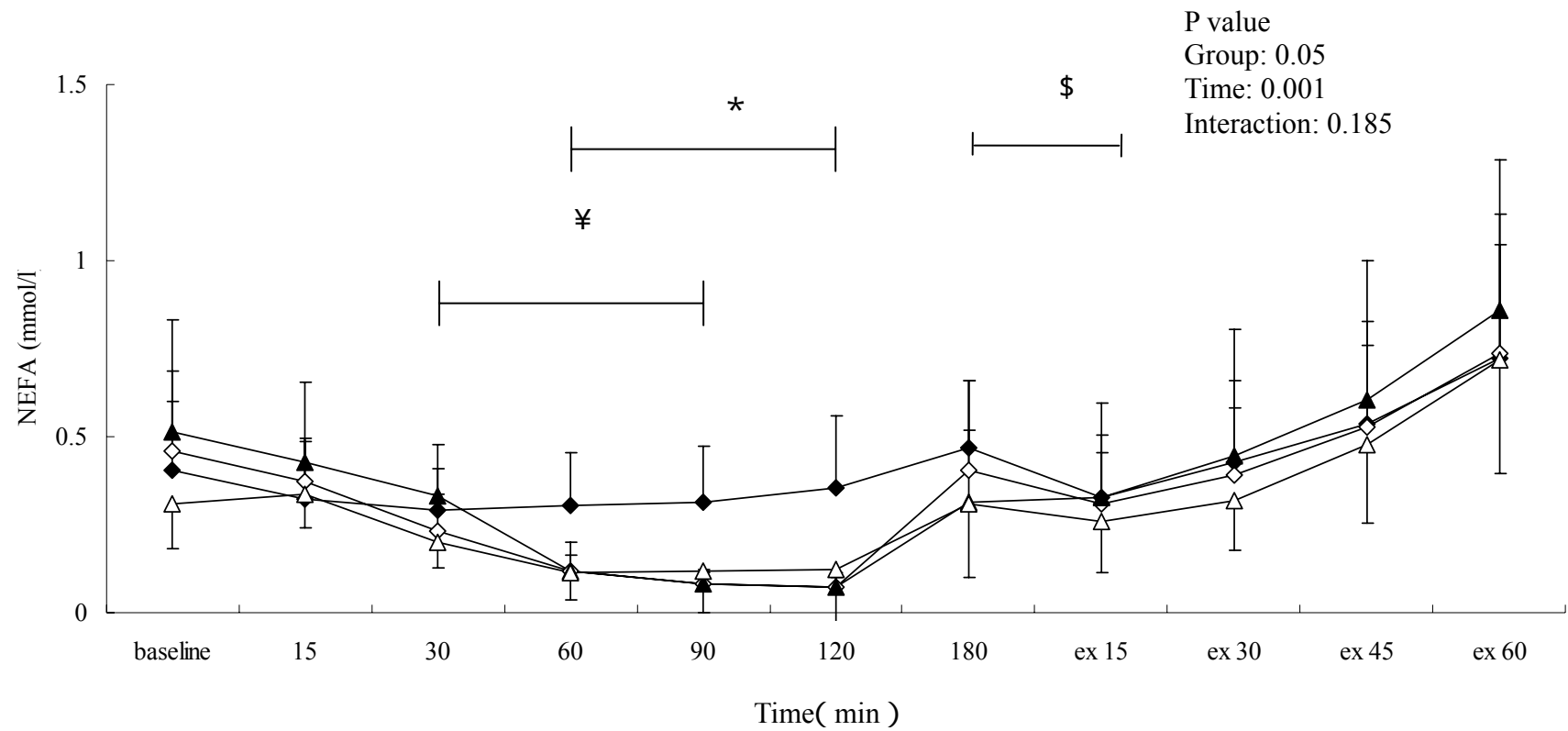
圖六、不同處置下 C-Peptide 濃度-時間曲線下面積。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast v.s. nutritious



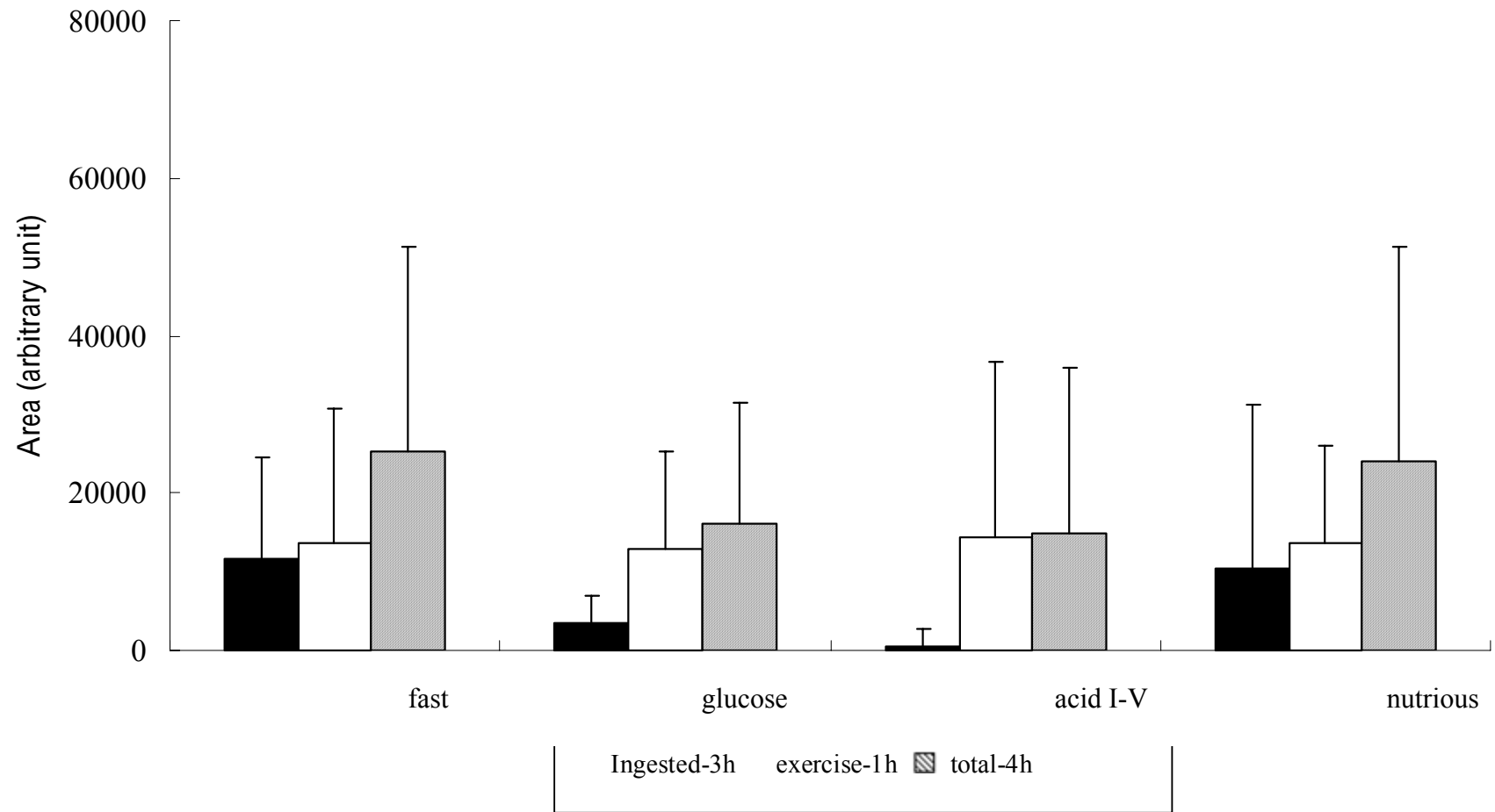
圖七、不同處置血漿 TG 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。



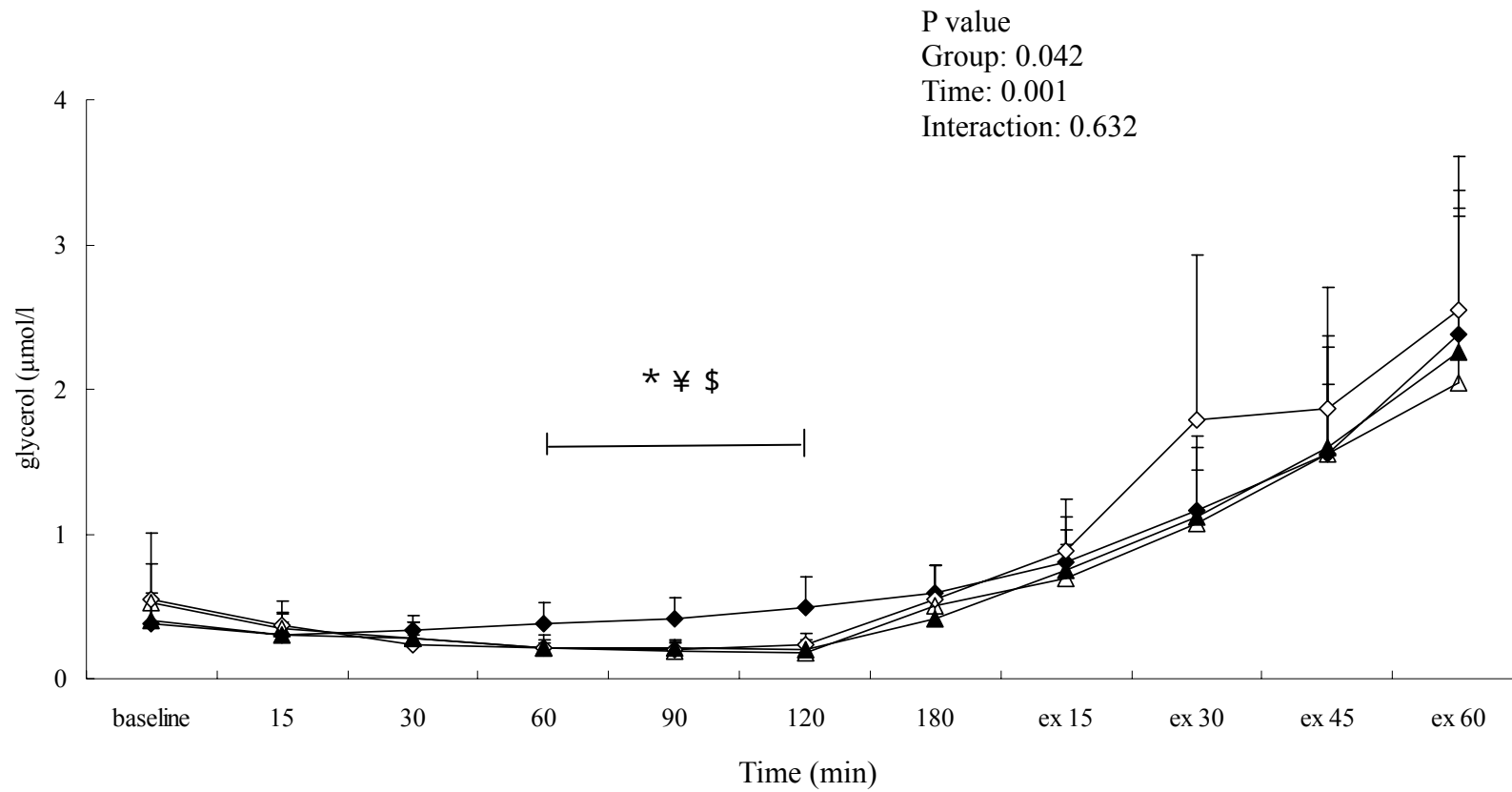
圖八、不同處置下 TG 濃度-時間曲線下面積。



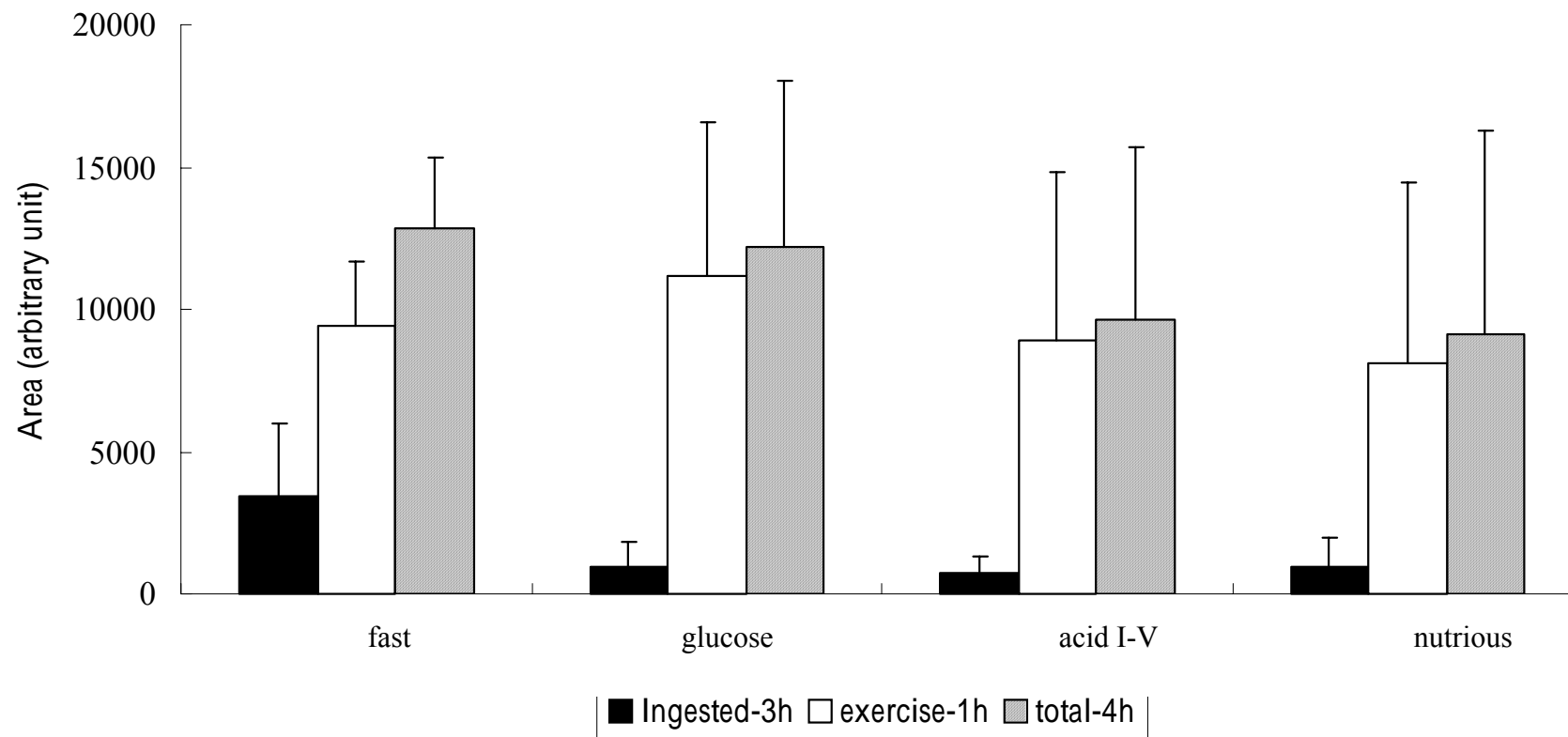
圖九、不同處置血漿 NEFA 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast .vs. nutritious; ☆ acid I-V v.s. nutritious



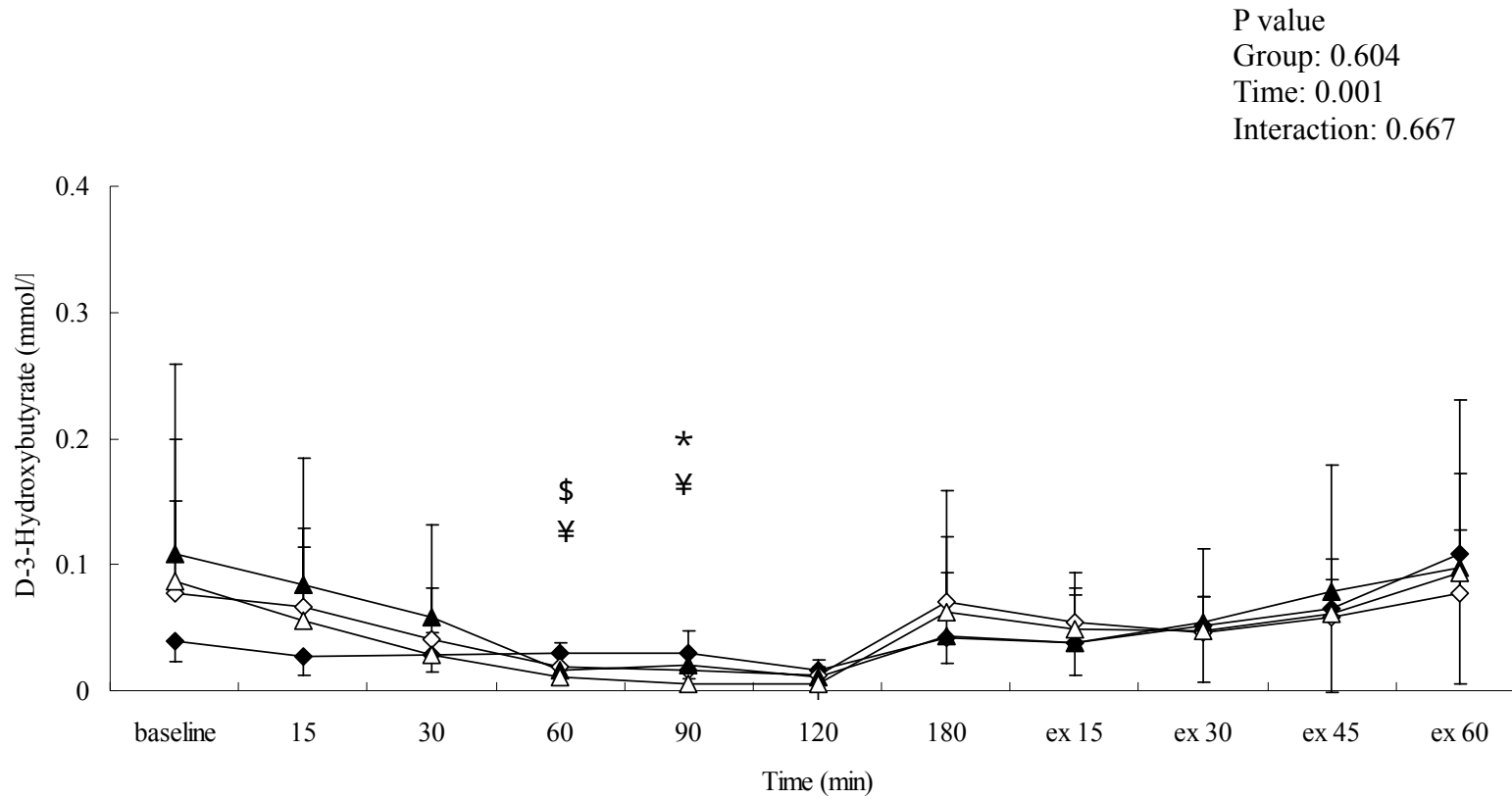
圖十、不同處置下 NEFA 濃度-時間曲線



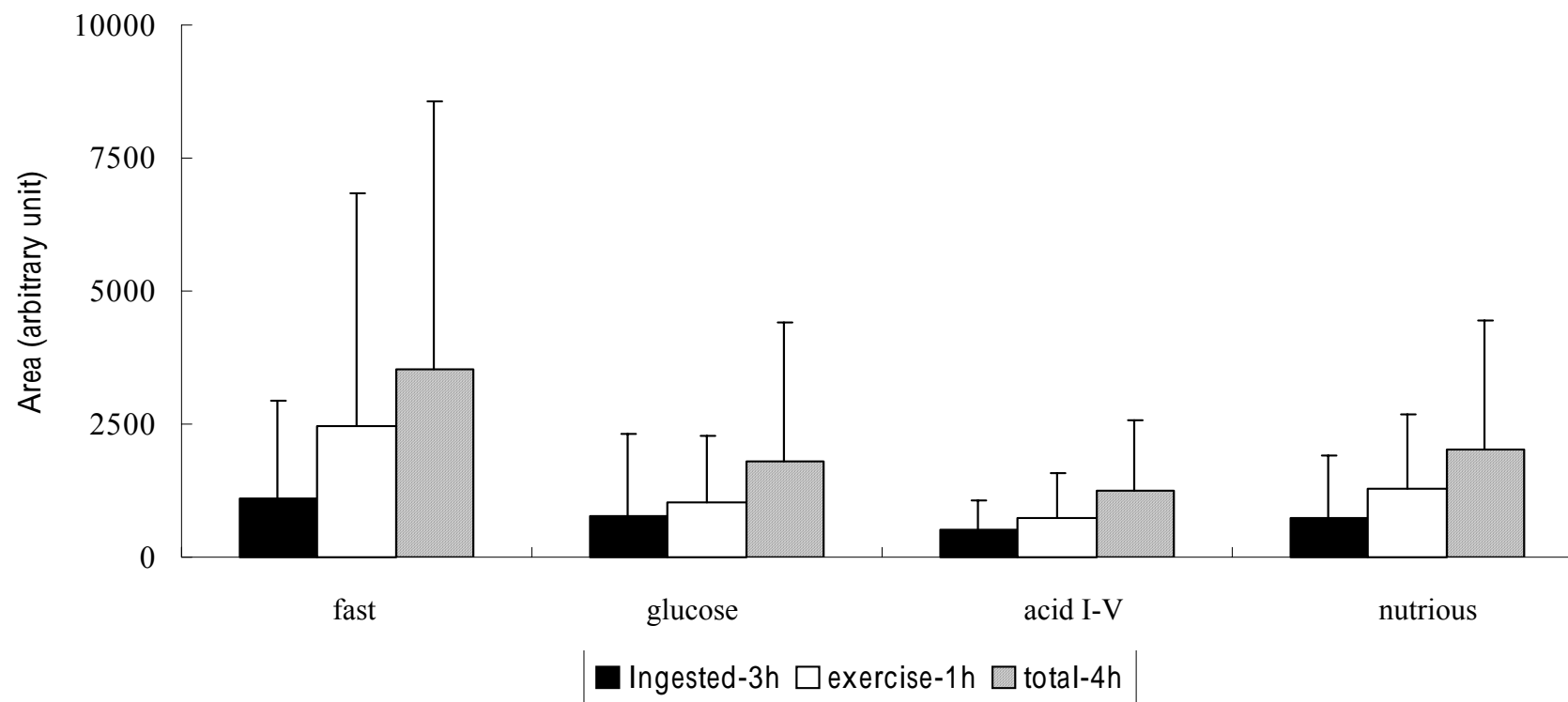
圖十一、不同處置血漿 glycerol 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v. s. glucose; \$ fast v. s. acid I-V; ¥ fast v. s. nutritious



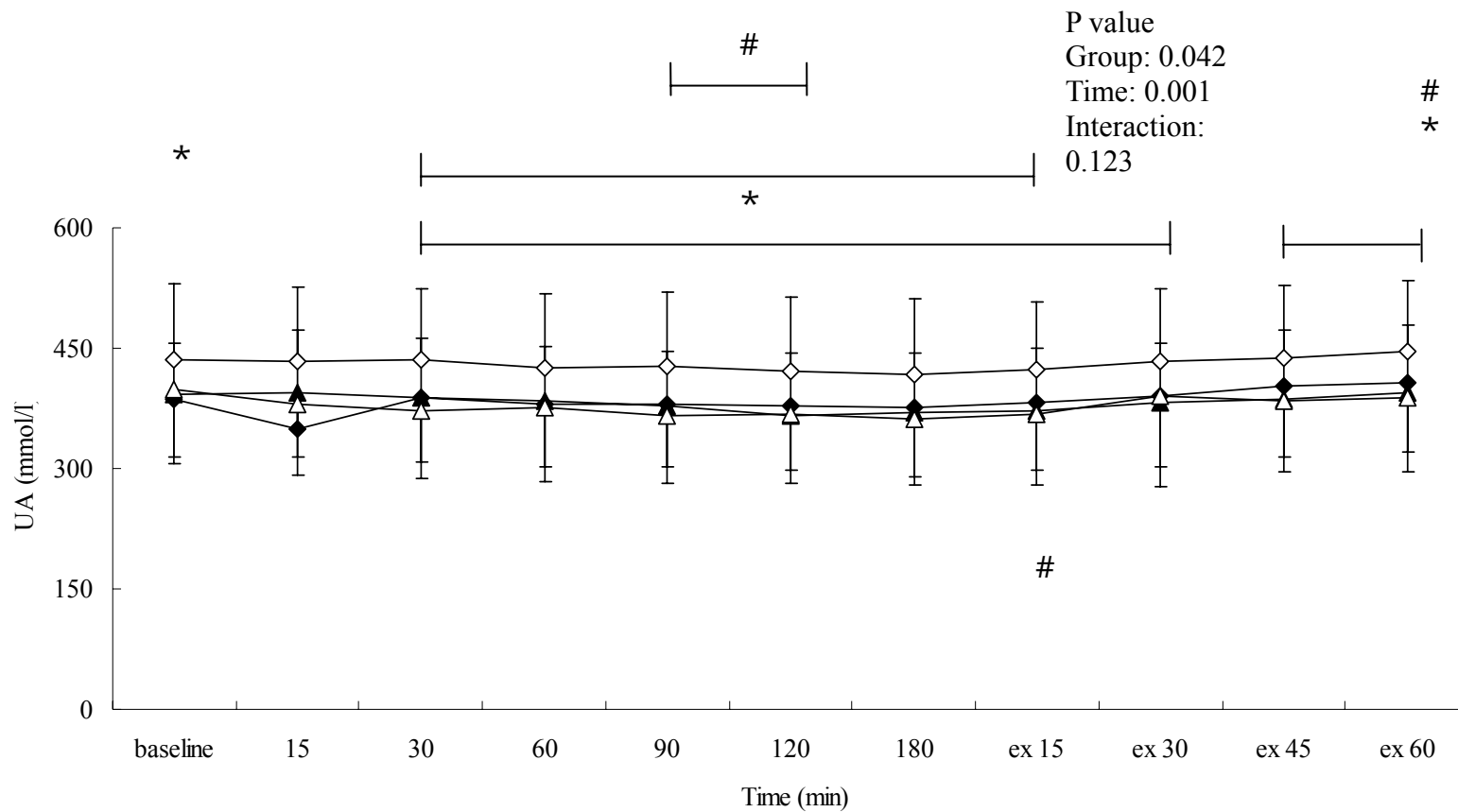
圖十二、不同處置下 glycerol 濃度-時間曲線下面積。



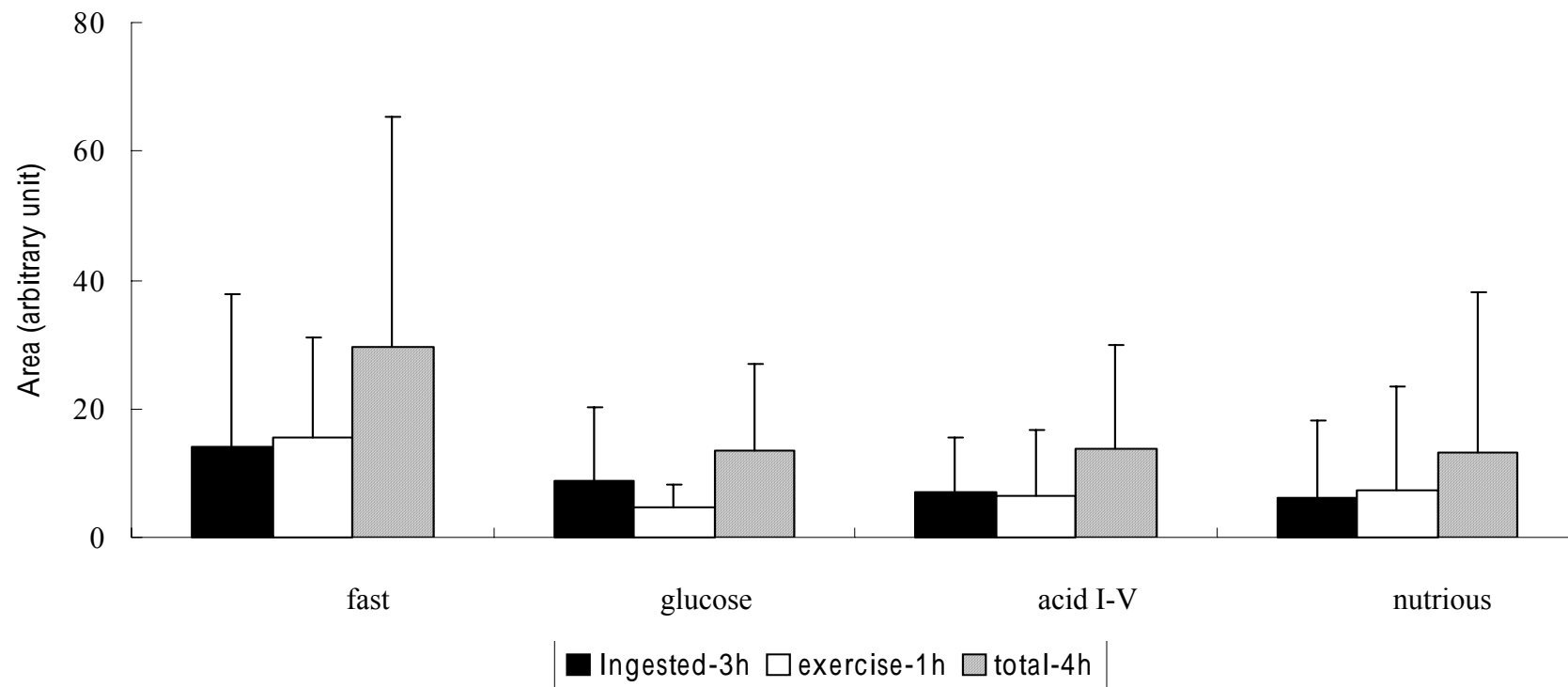
圖十三、不同處置血漿 D-3-Hydroxybutyrate 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。\* fast v.s. glucose; \$ fast v.s. acid I-V; ¥ fast v.s. nutritious; ◎ glucose v.s. nutritious



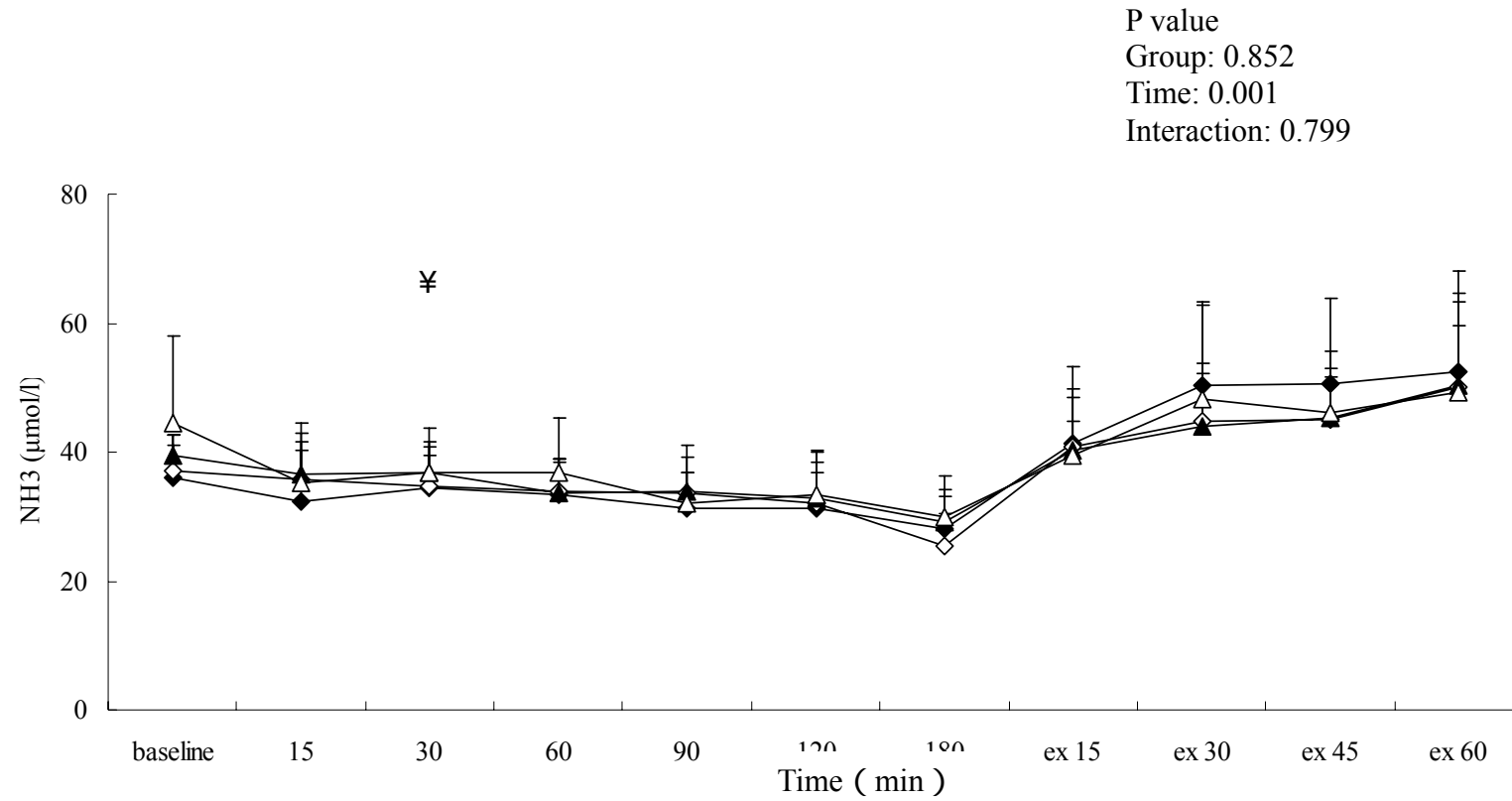
圖十四、不同處置下 D-3-Hydroxybutyrate 濃度-時間曲線下面積。



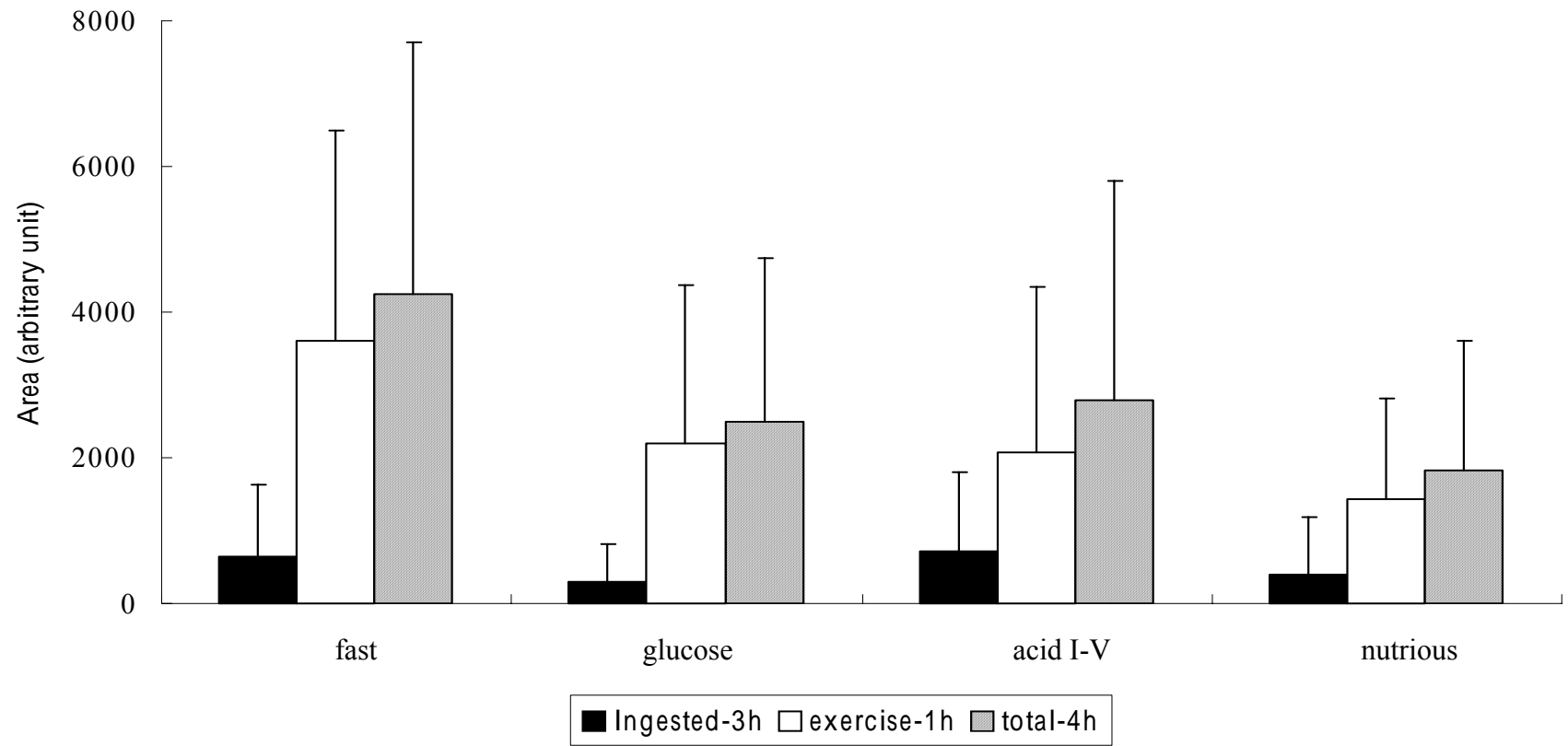
圖十五、不同處置血漿 ua 濃度，fast(◆)，glucose(◇)，acid I-V(▲)，nutritious(△)。\* fast v. s. glucose；# glucose v. s. acid I-V；◎ glucose v. s. nutritious



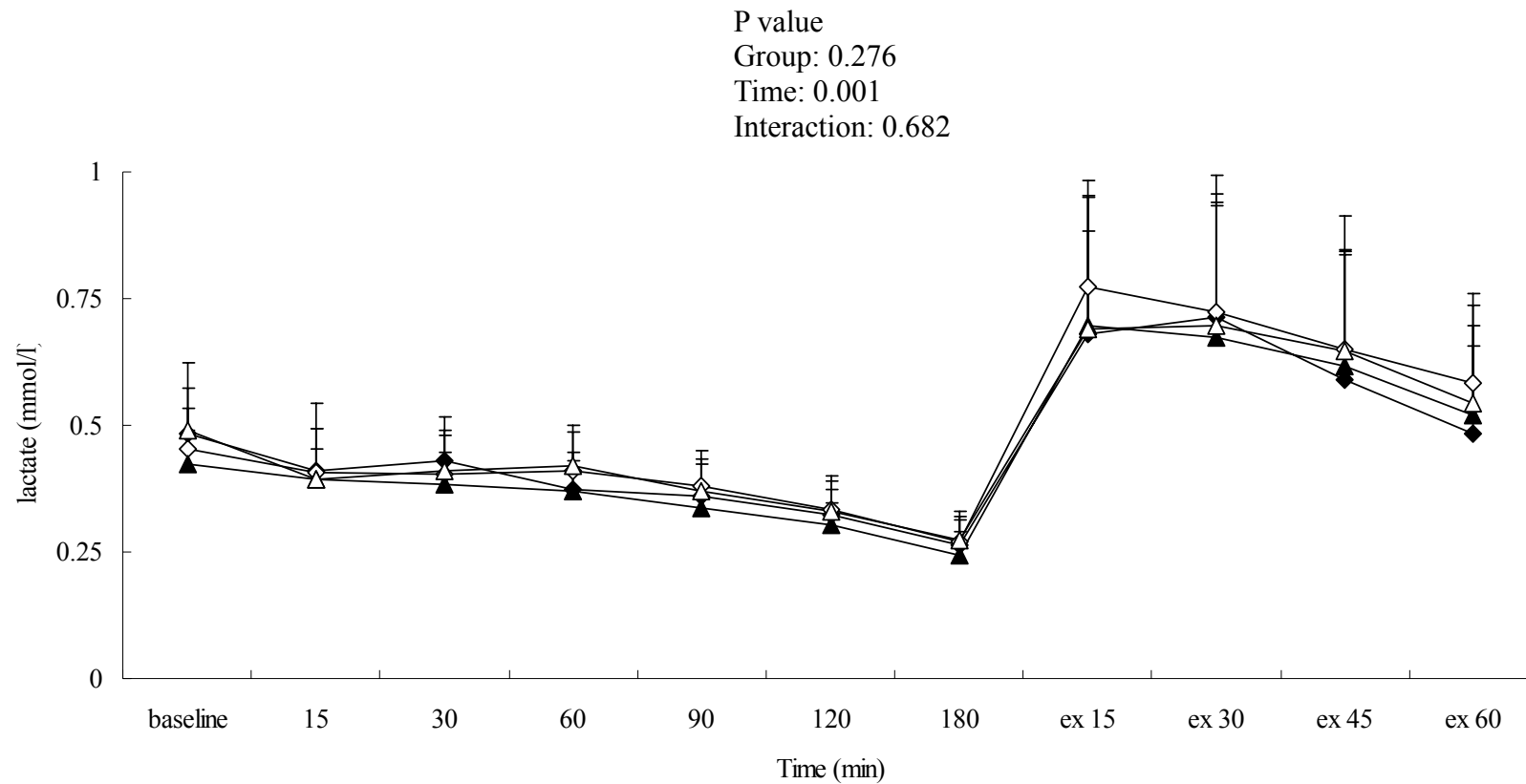
圖十六、不同處置下 UA 濃度-時間曲線下面積。



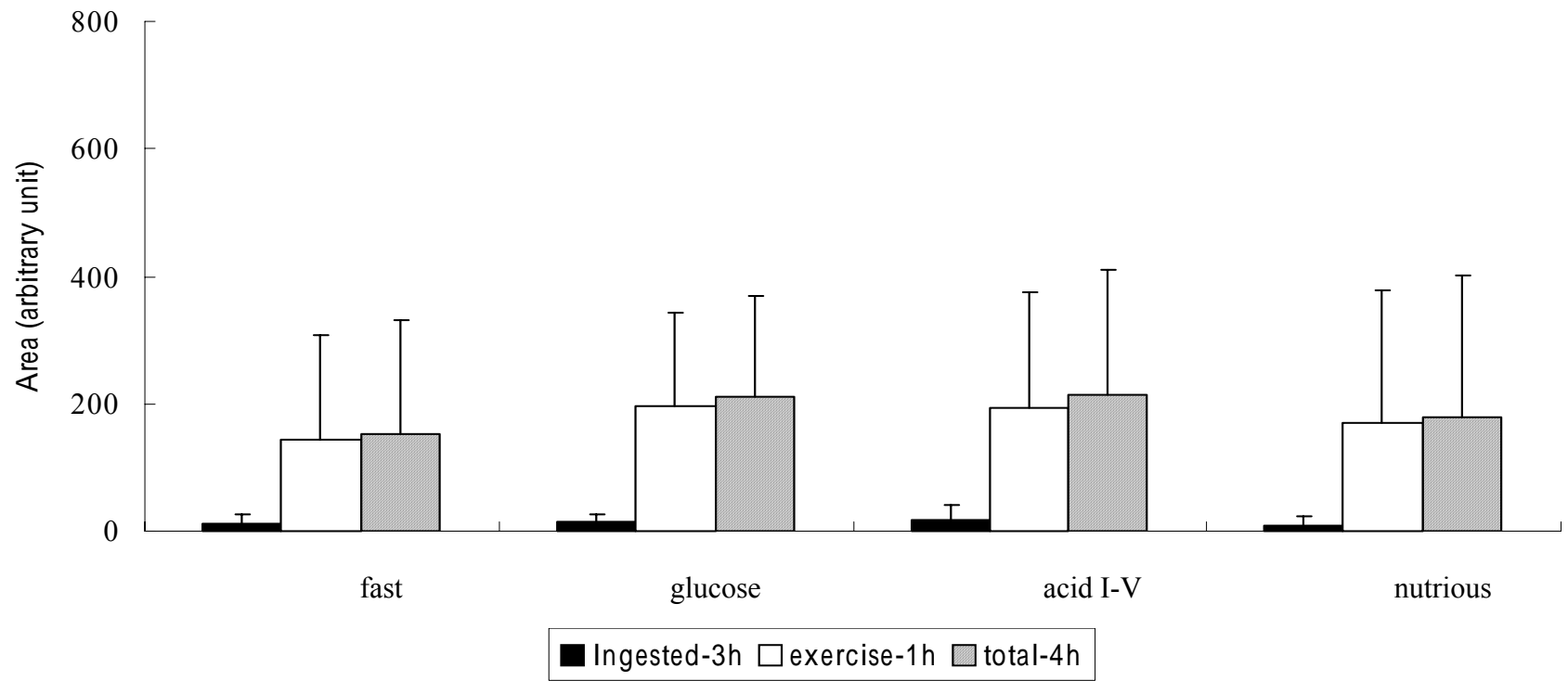
圖十七、不同處置血漿 NH<sub>3</sub> 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。⚡ fast v. s. nutritious；  
◎ glucose v. s. nutritious



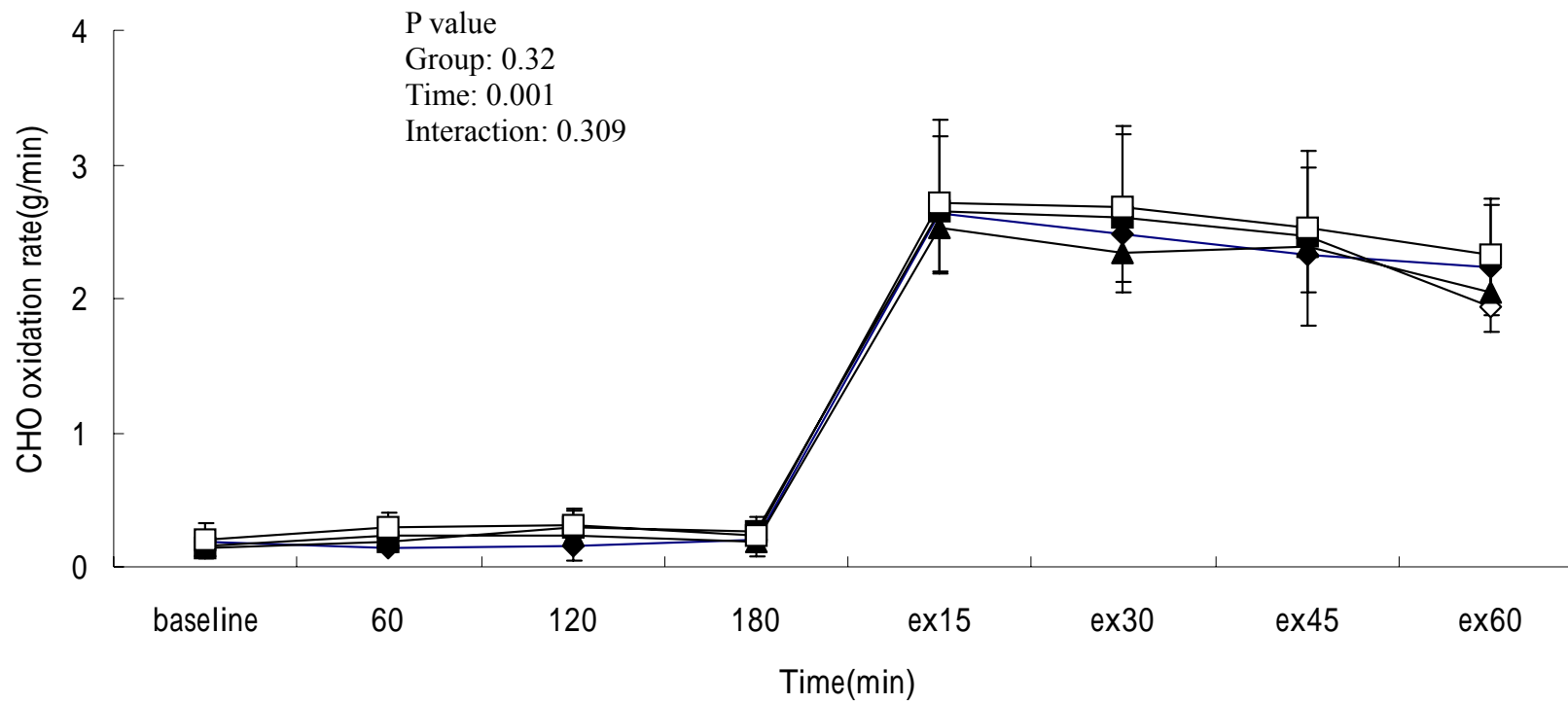
圖十八、不同處置下 NH<sub>3</sub> 濃度-時間曲線下面積。



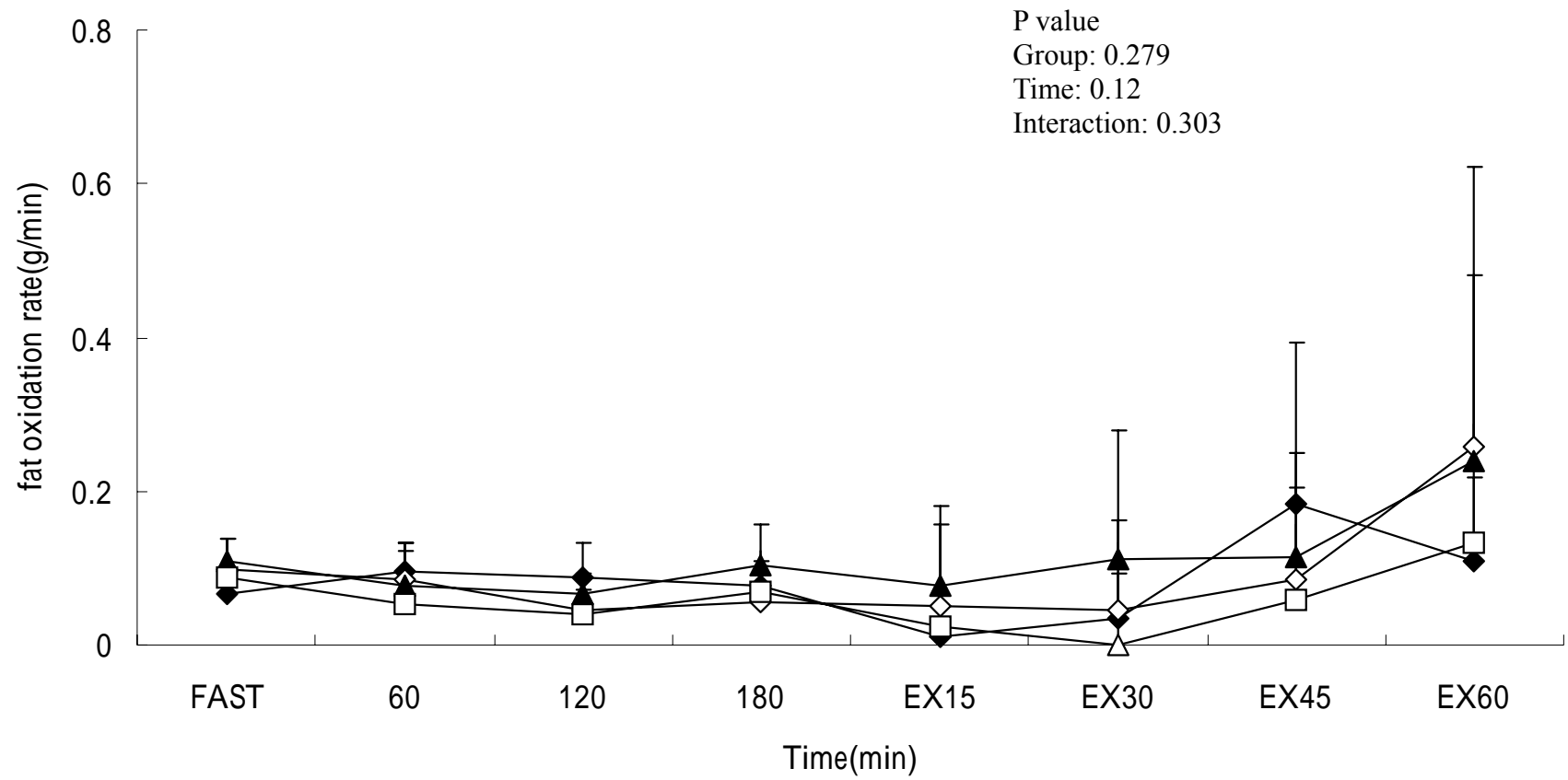
圖十九、不同處置血漿 lactate 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nutritious (△)。☆ acid I-V v. s. nutritious; \$ fast v. s. acid I-V; © glucose v. s. nutritious



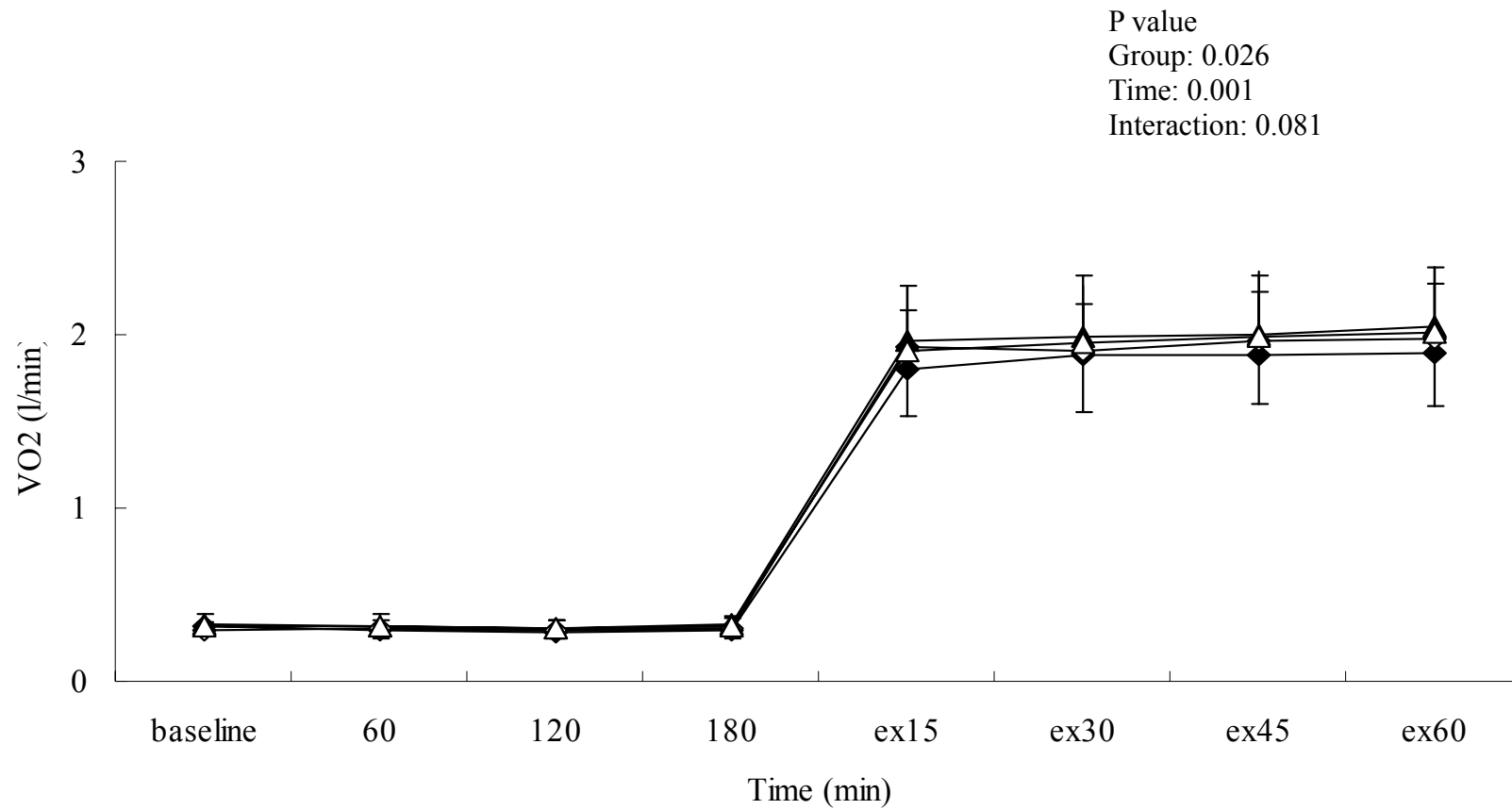
圖二十、不同處置下 lactate 濃度-時間曲線下面積。



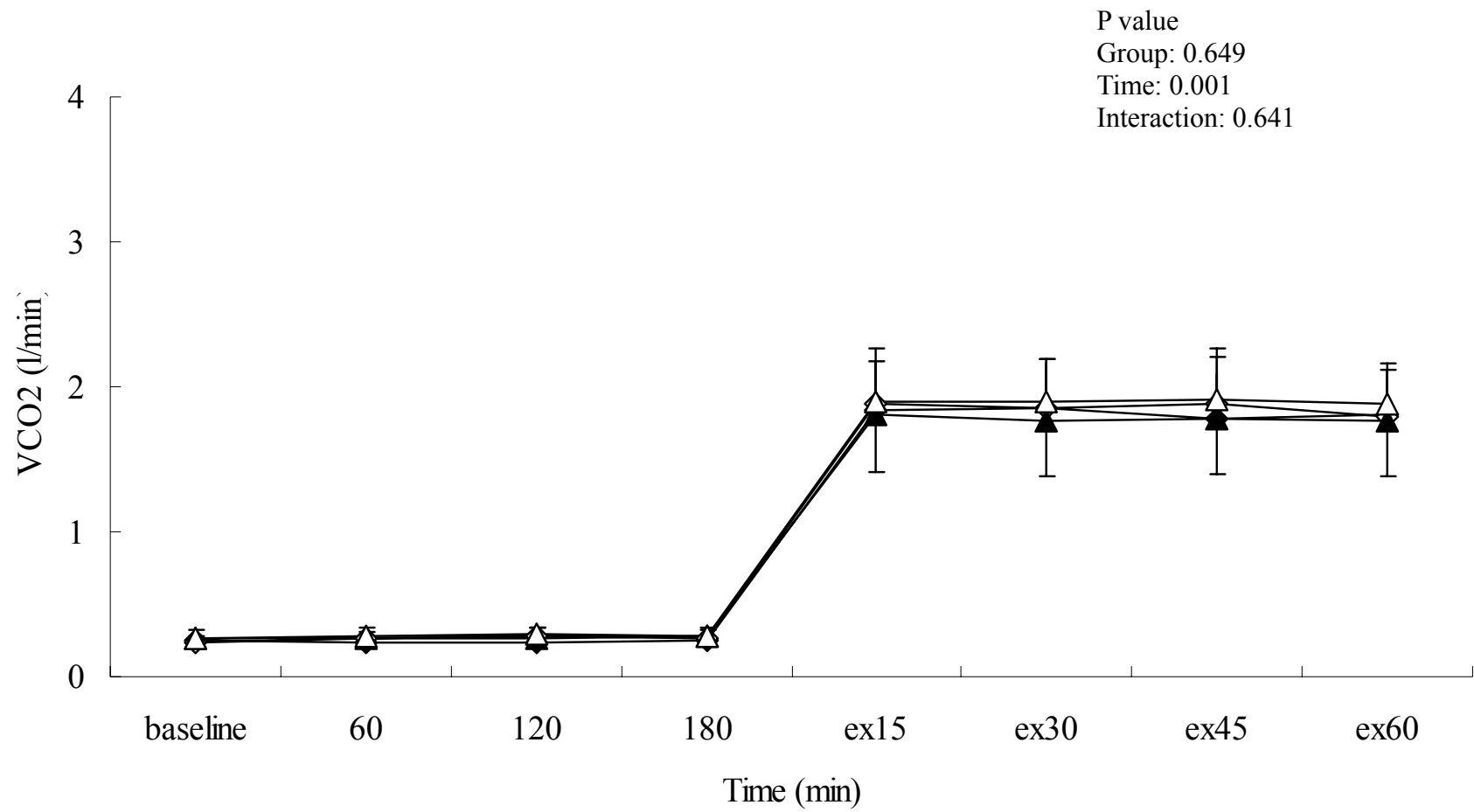
圖二十一、不同處置下 CHO oxidation rate，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nuztrious (△)。



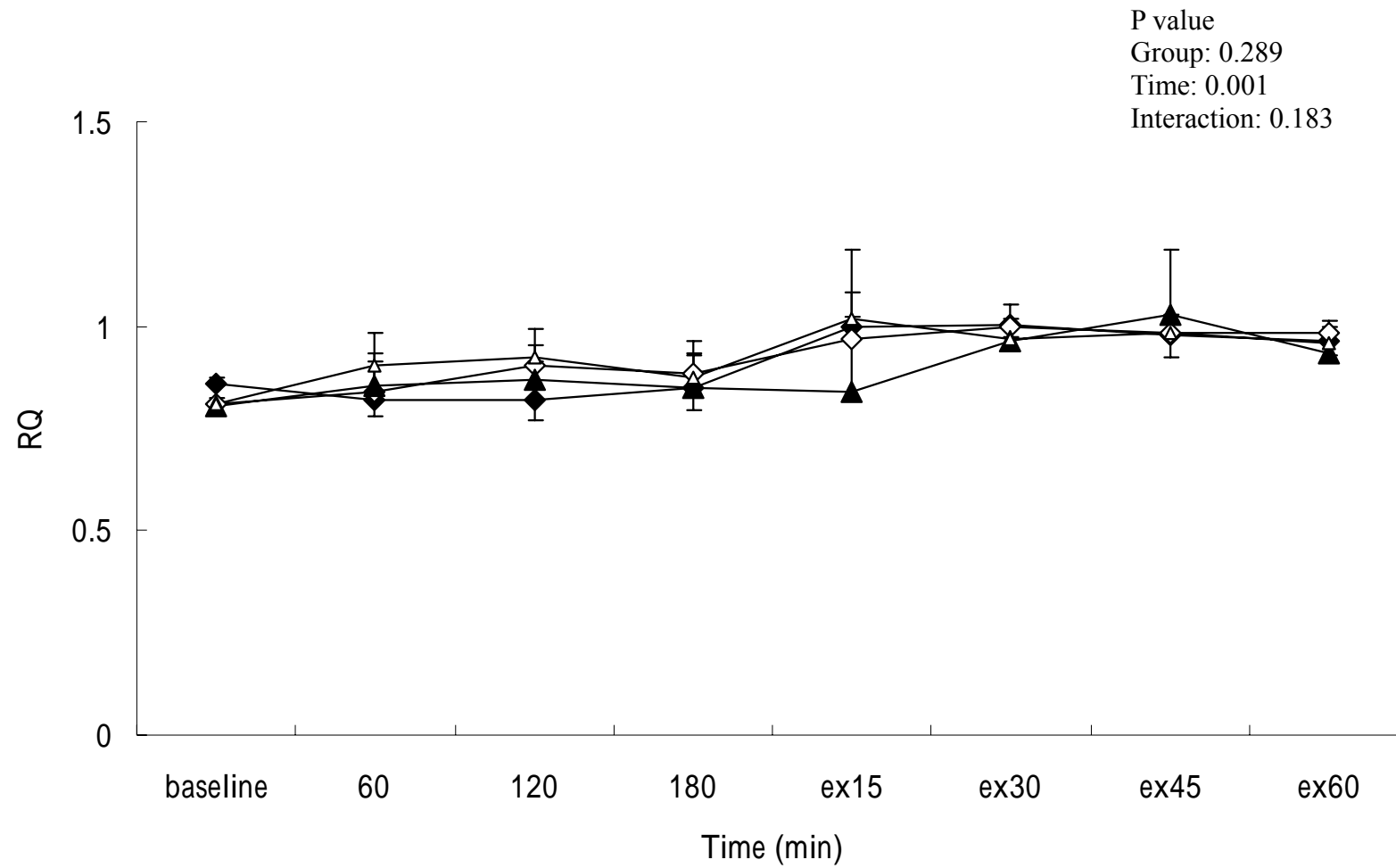
圖二十二、不同處置下 fat oxidation rate, fast (◆), glucose (◇), acid I-V (▲), nuztrious (△)。



圖二十三、不同處置下 VO2 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nuztrious (△)。



圖二十四、不同處置下 VCO<sub>2</sub>，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nuztrious (△)。



圖二十五、不同處置下 RQ 濃度，fast (◆)，glucose (◇)，acid I-V (▲)，nuztrious。