

國立台灣體育大學（台中）競技運動  
學系碩士班碩士學位論文

優秀大學網球選手補充  $\text{NaHCO}_3$  對模擬

比賽後技術表現之影響

EFFECT OF SODIUM BICARBONATE  
SUPPLEMENTATION ON TENNIS SKILL  
PERFORMANCE AFTER A SIMULATED  
MATCH



研究生：楊佳政 撰  
指導教授：林華韋 教授  
協同教授：張振崗 教授

中華民國九十七年六月

# 優秀大學網球選手補充 NaHCO<sub>3</sub> 對模擬比賽後技術表現之影響

## 摘要

氫離子的囤積是造成疲勞的主要原因之一，疲勞可能會使網球球員無法到達適當的擊球位置，或造成擊球點與擊球時間的錯誤，而影響技術表現。而 NaHCO<sub>3</sub> 補充可能可以增加細胞外的緩衝能力，進而減少運動所累積的氫離子，達到提高技術能力。本研究目的為探討 NaHCO<sub>3</sub> 補充對於優秀大學網球選手在模擬比賽後技術表現之變化。以 9 名男性網球運動員(平均年齡 21.8 歲，身高 173.1 公分，體重 68 公斤)為研究對象，每位受試者均完成 NaHCO<sub>3</sub> 組與對照組試驗。每一次實驗均進行約 60 分鐘的模擬比賽，於模擬比賽前後各進行一次網球表現測試 (Loughborough Tennis Skill Test, ST)。ST 將評估受試者在發球、底線抽球之技術能力。模擬比賽包含 12 局，型態包括發球或接球、底線抽球與截擊，NaHCO<sub>3</sub> 組於運動前 70 分鐘攝取 0.3 g/kg，並在模擬比賽之第三局休息時補充 0.1g/kg NaHCO<sub>3</sub>，攝取前和模擬比賽後採集血液樣本與對照組進行統計分析。乳酸具有顯著時間及時間和處置之交互作用效應，碳酸氫根具有顯著處置與時間和二者交互作用效應，BEB 具有顯著處置與時間和二者交互作用效應。pH 具有顯著處置與時間和二者交互作用效應，於模擬比賽後各生化值 NaHCO<sub>3</sub> 組均顯著高於對照組。ST 發球總得分、第一發球區與正手拍底線抽球具有顯著交互作用效應。結果顯示，NaHCO<sub>3</sub> 補充能增加細胞外緩衝能力，並增加優秀網球選手在模擬比賽後 ST 的表現。

關鍵詞：碳酸氫鈉、緩衝能力、網球表現測試

# Effect of sodium bicarbonate supplementation on tennis skill performance after a simulated match

## Abstract

The accumulation of H<sup>+</sup> is one of the major causes of fatigue. It has been shown that NaHCO<sub>3</sub> supplementation may increase extracellular buffer capacity, reduce exercise-induced H<sup>+</sup> accumulation, and enhance exercise performance. The aim of this study was to investigate the effect of NaHCO<sub>3</sub> supplementation on skilled tennis performance after a simulated tennis match. Nine male college tennis players were recruited (mean age 21.8 years, height 1.73 m, weight 68 kg). Each subject completed a bicarbonate trial (BIC) and a placebo trial (PLA) in a randomized order, separated by one week. Subjects performed 2 tennis skill tests before and after the simulated game in each trial. The skill test evaluated the accuracy and consistency of service and ground stroke to both sides of the court as previously described (Davey et al, 2002). The simulated match consisted of 12 games. Each game contained 36 hit balls, including forehand and backhand ground strokes and volleys. The subjects consumed NaHCO<sub>3</sub> (0.3 g/kg) or placebo (NaCl, 0.209 g/kg, equal amount of Na) 70 min before the first skill test. Each subject also ingested 0.1g/kg NaHCO<sub>3</sub> or 0.7g/kg NaCl after the third game of the simulated match. Biochemical

parameters in arterialized venous blood were measured by autoanalyzers. There were significant time and trial x time effects in plasma lactate concentration. Lactate concentrations were significantly increased after both trials with BIC showing higher increase (pre-match:  $1.22 \pm 0.54$ , post-match:  $2.17 \pm 1.46$  in PLA; pre-match:  $1.23 \pm 0.41$ , post-match:  $3.21 \pm 1.89$  mM in BIC). The significant trial, time, and trial x time effects were present in bicarbonate concentration. Bicarbonate concentration remained unchanged after PLA but was significantly elevated after BIC (pre-match:  $27.99 \pm 2.02$ , post-match:  $26.37 \pm 3.50$  in PLA; pre-match:  $28.84 \pm 2.16$ , post-match:  $37.98 \pm 3.95$  mM in BIC). Trial, time, and trial x time effects were significant in OxyBE. OxyBE was significantly lower after PLA (pre-match:  $2.46 \pm 1.68$ , post-match:  $0.12 \pm 2.15$  mM) but was significantly elevated after BIC (pre-match:  $3.08 \pm 1.47$ , post-match:  $11.36 \pm 3.70$  mM). The trial, time, and trial x time effects were also significant in blood pH. Blood pH remained unchanged after PLA but was significantly elevated after BIC (pre-match:  $7.37 \pm 0.32$ , post-match:  $7.37 \pm 0.14$  in PLA; pre-match:  $7.37 \pm 0.26$ , post-match:  $7.45 \pm 0.63$  in BIC). In the skill test, significant trial x time effect was present in service consistency. The service consistency was significantly decreased after the simulated match in PLA (pre-match:  $8.56 \pm 2.83$ , post-match:  $5.56 \pm 3.00$ ), but remained unchanged in BIC (pre-match:  $7.00 \pm 2.78$ , post-match:  $6.89 \pm 3.14$ ). The results suggested that

NaHCO<sub>3</sub> supplementation could increase extracellular buffer capacity and increase skilled tennis performance after a simulated match.

Keyword: sodium bicarbonate, tennis performance, buffer capacity

## 目錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目錄 .....	V
<b>第壹章</b> .....	<b>1</b>
<b>緒論</b> .....	<b>1</b>
第一節 研究背景 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
第三節 研究假設 .....	2
第四節 名詞解釋 .....	3
<b>第貳章 文獻探討</b> .....	<b>4</b>
第一節 網球運動之能量來源 .....	4
第二節 補充 NaHCO <sub>3</sub> 對運動的影響 .....	5
第三節 酸鹼值與乳酸代謝 .....	10
<b>第參章 實驗步驟與研究方法</b> .....	<b>13</b>
第一節 實驗對象 .....	13
第二節 實驗設計 .....	13
第三節 運動測試 .....	14
第四節 生化分析 .....	16
第五節 資料處理 .....	16
<b>第肆章 結果</b> .....	<b>17</b>
第一節 受試者基本資料 .....	17
第二節 實驗監控 .....	17

第三節 血液生化 .....	17
第四節 運動能力 .....	19
<b>第五章 討論 .....</b>	<b>20</b>
第一節 血液酸鹼平衡 .....	20
第二節 運動表現 .....	22
<b>第六章 結論與建議 .....</b>	<b>25</b>
第一節 結論 .....	25
第二節 建議 .....	25
<b>參考文獻 .....</b>	<b>27</b>

## 表目錄

表 1、	補充 $\text{NaHCO}_3$ 對運動表現相關研究 .....	32
表 2、	受試者基本資料 .....	36
表 3、	模擬比賽休息時受試者平均攝取之水量 .....	37
表 4、	實驗期間溫度與濕度 .....	38
表 5、	對照組與 $\text{NaHCO}_3$ 組前後時間於網球表現測試 (Loughborough Tennis Skill Test, ST)，發球、正手拍與反 手拍在 ST1 與 ST2 的變化 .....	39
表 6、	網球技巧能力表現與酸鹼平衡相關係數 .....	41
表 7、	氣體分析 $\text{NaHCO}_3$ 組與對照組之 $\text{PCO}_2$ 、 $\text{PO}_2$ .....	42

## 圖目錄

圖 1、	運動測試及血液採集程序圖 .....	43
圖 2、	Loughborough Tennis Skill Test 之場地配置圖 ....	44
圖 3、	Loughborough Tennis Skill Test 1 心跳率之變化 ...	45
圖 4、	Loughborough Tennis Skill Test 2 心跳率之變化 ...	46
圖 5、	模擬比賽中心跳率之變化 .....	47
圖 6、	Loughborough Tennis Skill Test 1 自覺量表之變化 .	48
圖 7、	Loughborough Tennis Skill Test 2 自覺量表之變化 .	49
圖 8、	模擬比賽中自覺量表之變化 .....	50
圖 9、	對照組與 NaHCO <sub>3</sub> 組 lactate 濃度變化 .....	51
圖 10、	對照組與 NaHCO <sub>3</sub> 組 bicarbonate 濃度變化 .....	52
圖 11、	對照組與 NaHCO <sub>3</sub> 組 BEB 濃度變化 .....	53
圖 12、	對照組與 NaHCO <sub>3</sub> 組 PH 濃度 .....	54

## 附錄

附錄 1、 對照組與 $\text{NaHCO}_3$ 組 lactate 與 Bicarbonate 濃度變化 .....	55
附錄 2、 對照組與 $\text{NaHCO}_3$ 組 lactate 與 Bicarbonate 濃度變化 .....	56
附錄 3、 學術研究受試者同意書 .....	57

# 第壹章 緒論

## 第一節 研究背景

網球運動屬於高強度運動項目之一，而疲勞可能會使球員無法到達適當的擊球位置，或造成擊球點與擊球時間的錯誤，而影響技術表現。

不同運動強度造成疲勞產生原因有所差異，高強度間歇型運動會造成血乳酸及氨堆積，導致運動疲勞，進而影響運動表現。

疲勞被定義為無法保持所要求或期待的力量，而導致能力下降，高強度活動後氫離子的累積常被認為是疲勞的主要原因之一。

研究顯示，碳酸氫根 ( $\text{HCO}_3^-$ ) 濃度的增加可能促進細胞內氫離子和乳酸排除，並可能延緩疲勞的出現。

## 第二節 研究目的

- (一)本研究目的為探討補充  $\text{NaHCO}_3$  對網球模擬比賽後技術表現的影響。
- (二)探討補充  $\text{NaHCO}_3$  影響運動疲勞與表現的可能機轉。

## 第三節 研究假設

- (一)優秀網球選手補充  $\text{NaHCO}_3$ ，對網球表現與疲勞產生無顯著影響。
- (二)優秀網球選手補充  $\text{NaHCO}_3$ ，網球模擬比賽後血液中乳酸、酸鹼平衡無顯著影響。
- (三)優秀網球選手補充  $\text{NaHCO}_3$ ，網球模擬比賽與技術表現無顯著影響。

#### 第四節名詞解釋

##### (一) 血液鹼溢 (Base Excess of Blood, BEB)

血液鹼溢是指在 37°C，PCO<sub>2</sub> 為 40mmHg 時，滴定 1 升的血液，使其酸鹼值 (pH) 達 7.40 所需的強酸或強鹼之毫莫耳數。其計算公式如下：

$$\text{BEB} = [1 - 0.014(\text{Hb})] \times \{ [\text{HCO}_3^-] - 24 + [1.43(\text{Hb}) + 7.7](\text{pH} - 7.4) \}$$

正值表示鹼過量或代謝性鹼中毒，而負值則代表鹼不足或代謝性酸中毒。

##### (二) 動脈化靜脈血液 (Arterialized Blood)

動脈化靜脈血液透過受試者的手肘處利用熱敷袋加熱獲得，熱敷袋溫度維持在 65°C，維持時間為 60 秒才可以使靜脈血液樣本動脈化。本研究於實驗前空腹狀態與模擬比賽後進行動脈化靜脈血液採集。

##### (三) 優秀大專選手

甲組選手，依據教育部規定，曾參加大專校院運動成績優良學生甄審、甄試、單獨招生、轉學（插班）考試加分等「中等以上學校運動成績優良學生升學輔導辦法」規定之入學管道並經榜示或遞補錄取者。

## 第貳章 文獻探討

### 第一節 網球運動之能量來源

競技網球選手需要的無氧技能，例如速度、爆發力、力量並結合有氧耐力(Kovacs, 2007)，人體在運動過程中，需要大量的能量以供肌肉收縮使用，而所需之能量因運動的強度和時間而異，可自休息狀態的 20 倍到 120 倍不等 (McArdle, Katch, & Katch, 2001)。

體內大致有三個能量供應系統來供應身體能量。

#### (一) 快速的能量：ATP-PC 系統

供給短時間高強度運動中能量之立即需求，以肌肉中儲存之腺嘌呤核苷三磷酸 (Adenosine Triphosphate, ATP) 和磷酸肌酸 (Creatine Phosphate, CP) 供應能量，其儲存量有限，通常在衰竭性運動中前 6 秒內用盡 (McArdle, Katch, & Katch, 2001)。

#### (二) 短期的能量：乳酸系統 (Lactic acid system)

運動初期，氧氣還來不及供應到快速收縮中的肌肉，於是經由無氧的醱解作用 (Anaerobic glycolysis) 產生 ATP 供給能量並造成乳酸堆積。高強度運動為期 10 秒至 180 秒間乳酸濃度會達到最高 (McArdle, Katch, & Katch, 2001)。

#### (三) 長期的能量：有氧系統 (Aerobic system)

當運動時間較長時，肌肉所需能源主要由有氧系統提供，此時，體內氧的代謝已達穩定狀態，不會造成乳酸堆積。一般耐力型運動所需能量大部份來自此系統。

雖然體內供應肌肉收縮的能量系統有三個，但在任何運動中，此三種系統幾乎都有參與。網球運動型態屬爆發力的動作，即無氧路徑是最重要的能量來源部分。當雙方來回球數增加時，肌耐力亦增加負荷，所以乳酸系統在網球運動之能量供應亦佔有重要角色。最後網球比賽通常超過 1 小時，甚至可長達 4 小時以上，有氧系統亦很重要

## 第二節 補充 $\text{NaHCO}_3$ 對運動的影響

### (一) $\text{NaHCO}_3$ 與運動表現

#### 1、 間歇運動的影響

血液及肌肉中氫離子濃度之增加，是造成反覆間歇運動肌肉疲勞的重要因子，而攝取  $\text{NaHCO}_3$ ，可以促進氫離子自肌肉中流出，降低肌肉中的酸鹼值，進而增進間歇運動的能力。

Costill 等 (1984) 以 10 名男性、1 名女性為研究對象，分為攝取  $\text{NaHCO}_3$  組 (0.2 g/kg) 及對照組 (攝取氯化鈉 0.1 g/kg)，在攝取後 1 小時，從事 5 組各 1 分鐘，每組間隔 1 分鐘的腳踏車間歇運動 ( $125\% \text{VO}_{2\text{max}}$ )，在運動之前期，中期及結束後 1 小時抽血檢驗，另外受試者在第 5 組時騎到衰竭為止，並紀錄完成時間。結果發現， $\text{NaHCO}_3$  組在攝取後，血中 pH 值及碳酸氫根離子濃度都明顯增加。運動中與運動後， $\text{NaHCO}_3$  組的血中乳酸及  $\text{HCO}_3^-$  濃度也顯著高於對照組。另外，在第 5 組腳踏車測驗直到衰竭所完成的時間， $\text{NaHCO}_3$  組 ( $160.8 \pm 19$  秒) 顯著高於對照組 ( $113.5 \pm 12.4$  秒)，而在第 4 組運動之後， $\text{NaHCO}_3$  組股外側肌的 pH 值 ( $6.86 \pm 0.06$ ) 顯著大

於對照組 ( $6.72 \pm 0.04$ )，但在第 5 組之後，二組並無顯著差異。

Johann, David, & Carmel (2006) 探討間歇訓練期間藉由攝取  $\text{NaHCO}_3$  或安慰劑改變氫離子濃度對肌肉緩衝能力，新陳代謝及短期耐力表現的影響。以 16 名常做休閒運動的女性進行訓練前及訓練後攝氧峰值 ( $\text{VO}_{2 \text{ peak}}$ )、乳酸閾值 (Lactate threshold, LT) 及疲勞時間測試，研究對象以乳酸閾值配對，並隨機分為  $\text{NaHCO}_3$  組及安慰劑組進行為期 8 週、每週 3 天，在乳酸閾值 140-170% 時進行 6 到 12 次，每次間隔 2 分鐘的腳踏車運動，每次訓練前攝取  $\text{NaHCO}_3$  或安慰劑，訓練期後二組在肌肉緩衝能力均顯著增加，但二組間未達顯著差異，攝氧峰值、乳酸閾值、疲勞時間在訓練後均顯著增加，運動前後的磷酸肌酸 (PCr)、肌酸 (Cr) 及細胞內乳酸濃度或訓練後的細胞內 pH 值則沒有改變，顯示對未受過訓練的受試者所做的 8 週間歇訓練，配合長期  $\text{NaHCO}_3$  補充，並不影響肌肉緩衝能力的變化，顯示訓練期間的訓練強度對肌肉緩衝能力改善比較重要。

## 2、無氧動力與無氧性運動的影響

過去研究顯示高強度運動 ( $80\% - 120\% \text{VO}_{2 \text{ max}}$ ) 會導致血液酸性增加，而  $\text{NaHCO}_3$  緩衝可增加血液緩衝能力，使衰竭時間增長 (Linderman & Fahey, 1991; Coombes & McNaughton, 1993)。

McNaughton 等 (1992) 以 9 名男性為研究對象，做一分鐘之最大動力及總作功量測試，主要探討不同劑量之  $\text{NaHCO}_3$  ( $0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.3$ 、 $0.4$ 、 $0.5 \text{ g/kg}$ )、控制組及對照組 ( $\text{CaCO}_3 0.5 \text{ g/kg}$ )，對無氧動力之影響。服用  $\text{NaHCO}_3$  的效果，隨劑量增加無氧能力也增加，但無氧動力直至  $0.3 \text{ g/kg}$  才有顯著，且作功

量和無氧動力皆以 0.3 g/kg 最大。血液酸鹼值、BEB 值、 $\text{HCO}_3^-$  於補充後全部增加，但 0.1 g/kg 除外，結果  $\text{NaHCO}_3$  組服用 0.3 g/kg 對一分鐘之無氧運動表現效果最好。

另有研究以 8 名受過訓練的自由車選手，分別攝取  $\text{NaHCO}_3$  0.4 g/kg 或  $\text{CaCO}_3$  0.4 g/kg，探討其對 60 秒無氧動力輸出之影響。結果發現於無氧動力方面， $\text{NaHCO}_3$  組攝取後最大無氧峰值顯著高於對照組。而二氧化碳分壓值  $\text{NaHCO}_3$  組顯著上升；運動後  $\text{NaHCO}_3$  組  $\text{HCO}_3^-$  和 BEB 顯著高於攝取前，運動後乳酸  $\text{NaHCO}_3$  組高於對照組，。由結果得知  $\text{NaHCO}_3$  可增進無氧動力成績（McNaughton 等, 1991）。

Gaitanos 等（1991）以 7 名健康男性為受試者，分別給予  $\text{NaHCO}_3$  0.3 g/kg 及安慰劑。以跑步機進行 10 次 6 秒的最大努力衝刺，每兩次之間休息 30 秒。結果血液酸鹼值於  $\text{NaHCO}_3$  組 ( $7.43 \pm 0.02$ ) 顯著高於對照組 ( $7.38 \pm 0.01$ )。運動表現上，平均、最大無氧動力輸出，及平均、最大跑速，皆隨次數增加而顯著遞減，但兩組間成績無顯著差異，運動後血液酸鹼值同樣無顯著差異；但乳酸濃度  $\text{NaHCO}_3$  組顯著高於安慰劑組 ( $15.3 \pm 3.7$  vs  $13.6 \pm 3.0$  mM)。運動後兩組間乳酸值和平均無氧動力間有顯著正相關，而每分換氣量、攝氧量、二氧化碳呼出量、兩組間皆無顯著差異。結果顯示口服補充鹼性溶液使血液酸鹼平衡改變，但於短時間重複性最大運動測試中，對其動力輸出無顯著效果。

Tiryaki & Atterbom（1995）以 11 名女性田徑選手及 4 名非田徑選手進行 600 公尺跑步表現測試，測試前 2.5 小時，服用  $\text{NaHCO}_3$ 、安慰劑或檸檬酸鈉，皆為 0.3 g/kg。結果運動期間各組之乳酸沒有顯著差異，運動後平均酸鹼值  $\text{NaHCO}_3$

組達鹼化顯著於其他組。乳酸與運動表現均無顯著差異，顯示鹼增補雖然對酸鹼平衡有效，但對 600 公尺成績無顯著影響。

以上研究結果可增進無氧動力成績的原因可能是細胞外重碳酸鹽緩衝能力的增進，使肌肉內氫離子向外排除的緣故。另外服用劑量在運動表現時攝取 0.3 g/kg 時效果最為顯著，若增加劑量對成績則無明顯的差異。

### 3、 阻力運動之影響

15 名男性服用  $\text{NaHCO}_3$  0.3 g/kg 或安慰劑進行阻力運動包括 5 組在大腿推舉機上的訓練，酸鹼值與 BEB 均達顯著增加。結果此項實驗服用  $\text{NaHCO}_3$  並不提升大腿推舉機上之運動表現 (Portington 等, 1998)。

Webster 等 (1993) 讓受試者在大腿推舉機做運動前 105 分鐘服用  $\text{NaHCO}_3$  0.3 g/kg 或安慰劑。做了 4 組 12 個重複的動作，接著是第 5 組，70% 之 1 RM 重複同一動作直到感覺疲勞。雖然  $\text{NaHCO}_3$  組 6 名受試者中有 4 人的能力平均提高 3 次 (約為 16%)，但整體上看，對其能力的影響並不顯著。細胞外酸鹼值和  $\text{NaHCO}_3$  的增加會促進乳酸和氫離子在肌肉收縮和恢復時從肌肉溢出 (Hirche, 1975)。但是，運動或收縮前肌肉內的酸鹼值可能並不受補充  $\text{NaHCO}_3$  的影響，也不受肌肉內  $\text{NaHCO}_3$  的影響 (Costill 等, 1984)。

### 4、 耐力性運動

George & Maclaren (1988) 探討 10 名男性服用  $\text{NaHCO}_3$ 、氯化銨 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、氯化鈉 ( $\text{NaCl}$ ) 各為 0.2 g/kg；以乳酸濃度 4 mm/l 為強度，作跑步機測試。服用  $\text{NaHCO}_3$  後血液酸鹼值及碳酸氫根值顯著增加，氯化銨組血液酸鹼值及碳酸

氫根值皆顯著下降。NaHCO<sub>3</sub> 組衰竭時間較氯化鈉增加 17 %，而氯化銨則顯著低於氯化鈉組，運動後血乳酸沒有顯著不同。結果顯示鹼化對長時間運動表現有效，氯化銨對表現不利且會引起代謝性酸化。

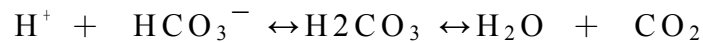
Stephens, Mckenna, Canny, Snow, & McConnell (2002) 以 7 位男性耐力運動測驗 60 分鐘。在自行車訓練前 2 小時讓受試者攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO<sub>3</sub> 或安慰劑，以 77±1% VO<sub>2max</sub> 盡快完成。NaHCO<sub>3</sub> 組動脈化靜脈血液的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度達顯著增加；而 NaHCO<sub>3</sub> 組肌肉和血漿中的氫離子濃度顯著降低，NaHCO<sub>3</sub> 組在運動期間血液中的乳酸濃度也較高且達顯著，但肌肉乳酸含量並無差別，結果顯示攝取 NaHCO<sub>3</sub> 會導致肌肉鹼化但是對肌肉代謝或受過訓練選手的運動表現沒有影響。

## (二) NaHCO<sub>3</sub> 與運動代謝

攝取 NaHCO<sub>3</sub> 增進運動表現，其作用機轉主要是攝取 NaHCO<sub>3</sub> 可增加肌細胞內外酸鹼梯度，攝取 NaHCO<sub>3</sub> 可增加細胞外液的緩衝液濃度，攝取的劑量、攝取的時機，受試者的個別差異、訓練的狀況、對 NaHCO<sub>3</sub> 的耐受性等都會影響攝取 NaHCO<sub>3</sub> 對細胞外酸鹼梯度的影響。細胞的酸化程度，主要取決於運動的型態，即運動的持續時間與運動強度，也就是說，運動的型態也會影響攝取 NaHCO<sub>3</sub> 的效果 (Maston & Tran, 1993)。

為了維持體內酸鹼平衡，所有體液內均含有酸鹼緩衝系統，它可迅速地與酸或鹼結合來防止氫離子濃度過量的改變。而 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 緩衝系統是體內最重要的緩衝系統，包含碳酸

( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 及  $\text{NaHCO}_3$  的水溶液。在劇烈運動中，隨強度增加，由醱酵解系統獲取能量的需求亦升高，乳酸產生增加，使細胞內、外的氫離子濃度加大。當氫離子過高時便需  $\text{HCO}_3^-$  緩衝。由化學式得知：



當乳酸和  $\text{NaHCO}_3$  作用，形成乳酸鈉和碳酸，碳酸再分解成  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ ，兩者可迅速被排出。細胞內主要緩衝物質為磷酸，細胞外則是  $\text{HCO}_3^-$  和血紅素 (Gyton 等, 1987)。

Roth 與 Brooks (1990) 指出，增加細胞外液  $\text{HCO}_3^-$  濃度時，會在細胞膜的二側因梯度差造成酸鹼值的變化，因而導致細胞內乳酸和氫離子的流出增加，以平衡酸鹼值，可能延遲肌細胞內酸鹼值臨界性低點的來臨，可能可以增加運動的能力。

### 第三節 酸鹼值與乳酸代謝

#### (一) 運動對酸鹼值及乳酸代謝的影響

安靜時血液酸鹼值約為 7.4，而肌肉則在 6.8-7.1 之間，而運動後血液、肌肉酸鹼值會因運動型式或運動時間等因素而有所差異。

Inbar 等 (1983) 以 13 名體育系男學生進行 30 秒溫蓋特無氧動力測試 (Wingate anaerobic power test)，結果顯示  $\text{NaHCO}_3$  組平均動力顯著增加，動力高峰值未達顯著，運動後乳酸值改變則明顯上升達顯著。這證明鹼化有利於酸鹼平衡之轉移，溫蓋特測試時酸鹼平衡的改變會影響無氧運動能力，但不影響其無氧能力的峰值。

比較 Costill 等 (1984) 和 Wijnen 等 (1984) 高強度腳踏車

運動研究和 Portington 等 (1998) 研究出的乳酸和酸鹼值的反應進行比較。儘管提取樣本的時間稍有差別以及提取樣本的方法相異 Portington 等 (1998) 是採動脈化靜脈血液樣本不同於 Costill 等 (1984) 的靜脈樣本，但它確實反應了阻力運動與腳踏車運動間的差異。再者，血液中的酸鹼值在腳踏車運動中一直都保持低水準，差異在於實驗進行的次數增加後酸鹼值也跟著逐漸增加，到第五組時幾乎低於 0.2 mM。代謝損耗和酸鹼反應與高強度腳踏車運動和高強度阻力運動間的對比可能解釋了  $\text{NaHCO}_3$  對兩種類型的運動所產生的運動增能效果差異。

## (二) 酸鹼值與運動代謝

氫離子濃度增加影響磷酸果糖激酶 (Phosphofrutokinase, PFK) 的活性 (Dobson, Yamamoto, & Hochachka, 1986)，酸鹼值降低也會抑制不活性的磷酸化酶 b (Phosphorylase b) 轉換成活化形式的磷酸化酶 a (Phosphorylase a)，但若酸鹼值增高，則會促進此酵素之活化作用。磷酸果糖激酶是醣解作用中重要的關鍵性酵素，可將 6-磷酸果糖 (Fructose-6-phosphate) 轉化成 1, 6-雙磷酸果糖 (Fructose-1,6-diphosphate)。而磷酸化酶則催化肝糖分解，主要功能為  $\alpha$ -1, 4-鍵打斷，並釋出 1-磷酸葡萄糖 (Glucose-1-phosphate)，當磷酸果糖激酶及磷酸化酶的活性被抑制時，醣解作用的速率亦會被抑制，所以就無法產生足夠的 ATP 做為肌肉能量來源，於是推測這可能是造成疲勞的原因之一 (Chasiotis, Hultman, & Sahlin, 1983)。

## (三) 乳酸代謝對酸鹼值的影響

乳酸之運送可以經由乳酸根離子和氫離子共同運輸或是未解離乳酸單獨運輸 (Roth & Brooks, 1990)。氫離子的運送

可延遲細胞內酸中毒的發生，減少肌肉收縮能力的消退，因此，增加體內的緩衝能力，可能可以延遲臨界性低酸鹼值的發生，促進乳酸運輸，進而可以增加運動能力。

## 第參章 實驗步驟與研究方法

### 第一節 實驗對象

本研究以甲組男子大學網球代表隊員共 9 名為實驗對象，實驗期間沒有服用任何藥物，經過健康問卷調查，並瞭解本實驗內容，簽署同意書配合本實驗一切操作。

### 第二節 實驗設計

實驗採隨機交叉設計，每一次實驗受試者均進行約 60 分鐘的模擬比賽，並於模擬比賽前後各進行一次網球表現測試（Loughborough Tennis Skill Test, ST），受試者接受 2 次不同飲料的介入，分別為  $\text{NaHCO}_3$  與  $\text{NaCl}$ ，兩次介入間隔至少 7 日，以清除上次實驗所殘留的影響並且恢復體能。每次實驗前一天均儘量攝取相同食物內容，並避免實驗前 24 小時從事劇烈運動，實驗流程如圖一。

#### （一）受試者基本資料

空腹狀態以身體組成分析儀（In Body 3.0 Composition Analyzer, Biospace, Seoul, Korea）在實驗當天測量受試者體重與身體組成。

#### （二）血液採集與處理

以熱敷袋加熱非慣用手的手肘處 1 分鐘後，用經過 heparin 洗潤過之針筒於靜脈採取動脈化靜脈血，第一次採血點為補充  $\text{NaHCO}_3$  之前，第二次採血點為模擬比賽後。血液樣本採取後，將 1 ml 分裝於含有 NaF 之真空採血管，其餘留置於針筒中，並將針頭插入橡膠塞中，以避免與空氣接觸。

全血樣本置於冰浴，並立即運送至實驗室分析。

### (三) 營養攝取

要求受試者在二次實驗前一天之午餐和晚餐均儘量攝取相同之食物與份量。實驗當天  $\text{NaHCO}_3$  組空腹攝取 0.3 g/kg  $\text{NaHCO}_3$ ，溶於 250 ml 水中，對照組補充氯化鈉，0.209 g/kg，等於  $\text{NaHCO}_3$  組等量鈉。

攝取飲料後 20 分鐘，給予 1.5 g/kg 碳水化合物之早餐包含土司、果醬和葡萄糖水，能量比例為土司每 100g：蛋白質 19.4g、脂肪 10.4g、醣類 92.5g；果醬每 100g：蛋白質 0.5g、脂肪 0.5g、醣類 65.8g；水 100 ml 包含葡萄糖 10%，各營養素份量蛋白質 23.3g/kg、脂肪 28.1 g/kg、醣類 124.4g/kg，總攝取能量 175.8 kcal/kg， $\text{NaHCO}_3$  組另於模擬比賽中（第三局結束）補充 0.1 g/kg  $\text{NaHCO}_3$  或等量鈉之安慰劑。第一次測試中，受測者可自由攝取水，並記錄攝取之量與時間點，第二次測試時，受試者必須於相同時間點攝取等量的水。

## 第三節 運動測試

運動測試包含 ST 與模擬比賽測試。

### (一) ST

於模擬比賽前後各進行一次測試分為發球和底線抽球，發球測試受試者輪流各在每邊發球二次，共 20 球。底線正反拍抽球測試，以每分鐘 15 球的速度由發球機 (Tennis Tower Competitor, Sports Tutor, Inc., Burbank, CA, USA) 發送，擊球順序為先打直線的位置 (down the line)、接著打向對角位置 (cross-court)，正拍、反拍抽球分別擊球各 20 球，進行 10 球後休息，並換邊進行測試。進行順序分別為發球 20 球、正拍拍

球十球、反拍抽球十球、正拍抽球十球、反拍抽球十球。場地分為四區，A,B二區各為1.5 m x 1.5 m，為底線正反拍抽球測試準確得分範圍，C,D二區各為4.0 m x 0.6 m，為發球測試準確得分範圍，E則為抽球測試可控制範圍，分別計算發球與抽球之得分，以及抽球落於E區之次數，場地配置如圖二(Davey, Thorpe, & Williams, 2002)。

計算得分方式為準確得分範圍(accuracy)得分一球1分，可控制範圍(consistency)得分一球0.5分，分析項目為發球總得分、第一發球區得分、第二發球區得分，底線抽球總得分、正手拍底線抽球得分、反手拍底線抽球得分。

### (二) 模擬比賽

進行12局模擬比賽，1局進行6個單位，每單位6球，發球機以10秒6球的頻率發球，受試者每次擊球6球，接球局(第1、3、5、7、9、11局)依序為一球底線反手擊球，二球底線正手擊球，一球底線反手擊球，二球上網截擊球(截擊球受試者雙腳需至少越過發球線)，若遇發球局(第2、4、6、8、10、12局)則需增加一球受試者自身發球並減少一球底線抽球，依序為一球發球，二球底線反手擊球，一球底線正手擊球，二球上網截擊球。每6單位之間間隔20秒，於網球競賽規定休息局數(除第一局之外的第3、5、7、9、11局)結束之後休息時間為90秒。

### (三) 實驗監控

實驗全程以數位攝影機(N0V-GS40, Panasonic, Kadoma, Osaka, Japan)拍攝，協助統計ST之得分，並以溫度計和濕度計每20分鐘監測一次了解天氣狀況，受試者於ST和模擬

比賽時配帶心率錶 (EXEL SPORT, Cardiosport, West Sussex, UK) 並且定時於 ST 各型態動作測試 (發球、正手與反手拍底線抽球) 結束後與模擬比賽各局結束後詢問 RPE 量表。

#### 第四節 生化分析

利用自動分析儀 (Beckman LX20 PRO, Beckman Coulter, Inc, California, USA.) 分析乳酸, (Synthesis 25, Instrumentation Laboratory, Lexington, MA, USA) 分析酸鹼值 (pH)、氧分壓 (pO<sub>2</sub>)、二氧化碳分壓 (pCO<sub>2</sub>)、血紅素 (Hb)、血氧飽合度 (%Hb Saturation) 以及 BEB。

#### 第五節 資料處理

使用 SPSS for Windows 14.0 版分析, 所測得生化、生理及運動表現的參數, 以平均數±標準差 (Mean±SD) 表示, 以重複量數二因子變異數分析 (ANOVA) 血液乳酸、酸鹼值、碳酸氫根、BEB 和 pH 值及 ST 之得分, 成對樣本 T 檢定進行相同試驗之模擬比賽前後血液參數的差異, 皮爾遜積差相關分析網球技術表現與血液之間的相關性, p 值小於 0.05 視為統計顯著。

## 第肆章 結果

### 第一節 受試者基本資料

受試者基本資料如表 2。本研究對象共 9 名，平均年齡  $21.8 \pm 2.4$  歲，身高為  $173.1 \pm 7.1$  m，體重對照組  $67.9 \pm 11.4$  kg， $\text{NaHCO}_3$  組  $68 \pm 11.3$  kg；體脂肪對照組  $16.1 \pm 5\%$ ， $\text{NaHCO}_3$  組  $15.5 \pm 4.8\%$ 。

### 第二節 實驗監控

受試者於模擬比賽中平均水量攝取如表 3，最低 156 ml 最高 322 ml 平均 248.3 ml。天氣溫度如表 4，最低  $24^\circ\text{C}$  最高  $41^\circ\text{C}$  平均  $34^\circ\text{C}$ 。天氣濕度如表 4，最低 30% 最高 60% 平均 57%。心跳率如圖 3、4、5，於模擬比賽最後階段（第十二局）最低 170bpm 最高 202bpm 平均 183.6bpm。自覺量表如圖 6、7、8，於模擬比賽最後階段（第十二局）最低 15 最高 19 平均 16.9。

### 第三節 血液生化

#### （一） lactate 濃度變化

對照組與  $\text{NaHCO}_3$  組前後時間，血漿 lactate 濃度如圖 9，具有顯著時間 ( $p=0.006$ ) 及處置  $\times$  時間交互作用 ( $p=0.033$ ) 效應，對照組 lactate 濃度 Pre-match ( $1.22 \pm 0.54$  mM) 顯著低於 Post-match ( $2.17 \pm 1.46$  mM) ( $p=0.023$ )。  $\text{NaHCO}_3$  組之間有顯著差異 ( $p=0.006$ )，Pre-match ( $1.23 \pm 0.41$  mM) 顯著低於 Post-match ( $3.21 \pm 1.89$  mM)。

## (二) bicarbonate 濃度變化

對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組前後時間，血漿 bicarbonate 濃度如圖 10，具有顯著處置 ( $p < 0.001$ ) 與時間 ( $p = 0.003$ ) 及處置 × 時間交互作用 ( $p < 0.001$ ) 效應。對照組 bicarbonate 濃度 Pre-match ( $27.99 \pm 2.02$  mM) 顯著高於 Post-match 組 ( $26.37 \pm 3.50$  mM) ( $p = 0.036$ )。NaHCO<sub>3</sub> 組之間有顯著差異 ( $p < 0.001$ )，Pre-match ( $28.84 \pm 2.16$  mM) 顯著低於 Post-match ( $37.98 \pm 3.95$  mM)。

## (三) BEB 值變化

對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組前後時間，BEB 值如圖 11，具有顯著處置 ( $p < 0.001$ )、時間 ( $p = 0.001$ ) 及處置 × 時間交互作用 ( $p < 0.001$ ) 效應 ( $p < 0.001$ )。對照組 BEB 濃度 Pre-match ( $2.46 \pm 1.68$  mM) 顯著高於 Post-match ( $0.12 \pm 2.15$  mM) ( $p < 0.001$ )。NaHCO<sub>3</sub> 組之間達顯著差異 ( $p < 0.001$ )，Pre-match ( $3.08 \pm 1.47$  mM) 顯著低於 Post-match ( $11.36 \pm 3.70$  mM)。

## (四) pH 值變化

對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組前後時間，pH 值如圖 12，具有顯著處置 ( $p = 0.003$ ) 與時間 ( $p = 0.010$ ) 及處置 × 時間交互作用 ( $p = 0.011$ ) 效應。對照組 pH 濃度 Pre-match ( $7.37 \pm 0.32$ ) 與 Post-match ( $7.37 \pm 0.14$ ) 無顯著差異。NaHCO<sub>3</sub> 組之間有顯著差異 ( $p = 0.007$ )，Pre-match ( $7.37 \pm 0.26$ ) 顯著低於 Post-match ( $7.45 \pm 0.63$ )。

#### 第四節 運動能力

##### (一) Loughborough Tennis Skill Test

對照組前後與攝取  $\text{NaHCO}_3$  前後時間於網球表現測試，發球、正手拍與反手拍底線抽球在 ST1 與 ST2 變化如表 5，發球總得分、第一發球區與正手拍底線抽球在可控制範圍得分具有顯著處置  $\times$  時間交互作用效應 (p 值分別為  $p=0.004$ ， $p=0.033$ ， $p=0.046$ )，反手拍底線抽球可控制範圍得分具有顯著時間效應 ( $p=0.046$ )。另外對照組發球總得分與第一發球區於可控制範圍得分 ST1 低於 ST2 達顯著差異。

## 第五章 討論

### 第一節 血液酸鹼平衡

本研究顯示在攝取  $\text{NaHCO}_3$ ， $\text{NaHCO}_3$  改變了在運動後血中 pH 值、乳酸、碳酸氫根離子濃度與 BEB， $\text{NaHCO}_3$  組均顯著高於對照組，且  $\text{NaHCO}_3$  組在運動後血中 pH 值、乳酸、碳酸氫根離子濃度與 BE-B 顯著高於攝取碳酸氫鈉之前。推測在運動前攝取碳酸氫鈉，可以增加體液緩衝能力。

大多數研究指出，碳酸氫鈉可以增加體液緩衝能力。Gaitanos 等 (1991) 提出以跑步機做 10 次 6 秒的最大努力衝刺，每兩次之間休息 30 秒。結果血液酸鹼值於  $\text{NaHCO}_3$  組為  $7.43 \pm 0.02$  高於對照組  $7.38 \pm 0.01$ 。乳酸濃度  $\text{NaHCO}_3$  組  $15.3 \pm 3.7 \text{ mM}$  高於對照組  $13.6 \pm 3.0 \text{ mM}$ 。Costill 等 (1984) 也指出從事 5 組各 1 分鐘，每組間隔 1 分鐘的腳踏車間歇運動 ( $125\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) 受試者在第 5 組時騎到衰竭為止， $\text{NaHCO}_3$  組在攝取後，血中酸鹼值 (pH)、 $\text{HCO}_3^-$  濃度明顯增加。運動中與運動後， $\text{NaHCO}_3$  組的血中乳酸及  $\text{HCO}_3^-$  濃度也顯著高於對照組。本研究顯示，於乳酸、 $\text{HCO}_3^-$  濃度和 BEB、血液酸鹼值運動後  $\text{NaHCO}_3$  組皆顯著高於對照組，因此，在高強度持續運動之前攝取或服用  $\text{NaHCO}_3$  的情況下，明顯增加體液緩衝能力，並改變體內酸鹼平衡的情況。

研究指出，肌細胞膜兩側之 pH 梯度差有利於肌細胞內乳酸和氫離子之流出，Roth 與 Brooks (1990) 推測，雖然細胞膜對碳酸氫根離子不具通透性，但增加細胞外液之碳酸氫根離子濃度，會在細胞膜二邊造成 pH 梯度差，因而促進細胞內乳酸和氫離子之流出，或許因為這種作用而延遲細胞內 pH 值的降低，並造成運動後血漿乳酸濃度的提高，而可能增

加運動的能力。另外在運動前攝取  $\text{NaHCO}_3$ ，運動後血液 pH 值、 $\text{HCO}_3^-$  以及乳酸濃度均較高，但細胞內之  $\text{HCO}_3^-$  不受服用或注射碳酸氫鈉溶液的影響。這顯示  $\text{NaHCO}_3$  是間接影響細胞內的酸鹼平衡。推測此作用可延緩運動時肌細胞內 pH 值快速降低，避免過低之 pH 值抑制細胞內的醱解作用，因而可以延遲肌肉疲勞的產生，並增進無氧的運動能力。

劇烈的肌肉收縮造成氫離子囤積。氫離子的累積會影響某些運動期間中(如重複,劇烈的肌肉收縮)氧化磷酸化作用,酵素活動,及離子的調節。細胞內外的緩衝系統都合力降低氫離子的集結，因此幫助細胞內 pH 值的調節，肌肉緩衝能力可藉由避免劇烈肌肉收縮期間細胞內 pH 值的大幅降低來改善運動表現(Street, Nielsen, Bangsbo & Juel, 2005)。

Davey, Thorpe, & Williams (2002) 研究中顯示，運動後血液乳酸濃度，低於其它使用較多激烈運動的文獻。研究中採用較高擊球頻率、血液乳酸於進入間歇性測試之 25% 時達到最高的濃度 (9.6 mM) 然後逐漸降低至意志性疲勞 (volitional fatigue) (7.3 mM)。顯示血液酸鹼值於間歇性激烈循環運動之開始 15 分鐘呈現降低，然後維持穩定直至運動期間之最後 30 分鐘。由於本研究在模擬比賽後才採集血液樣本，所以在模擬比賽期間並沒有測量最高乳酸濃度。本研究模擬網球比賽是屬於間歇性，可能會將活動肌肉之代謝物充分排除，並有可能足以將乳酸轉換為丙酮酸之有氧代謝 (Price, Moss, & Rance, 2003)。與模擬比賽中短暫活動至休息期間相較之下，可能會有較佳的肌肉氧化作用和較多的乳酸轉換為丙酮酸 (Christmass, Dawson, & Arthur, 1999)。另外，賽後 RPE 平均值約 15 可看出，模擬比賽並不會造成受測者

精疲力竭。研究結果顯示， $\text{NaHCO}_3$  補充可能於運動後提升技巧能力，且不會引發非常高的血液乳酸濃度和精疲力竭。

## 第二節 運動表現

大多數有關  $\text{NaHCO}_3$  補充之研究，強調體能的能力，而非技巧的表現。不過，技巧的表現對於球類運動(例如：網球)的成功來說，是很重要的。本研究旨在研究  $\text{NaHCO}_3$  補充於模擬比賽後，對於技巧性網球能力的影響。

本研究顯示攝取  $\text{NaHCO}_3$ ，ST在發球總得分、第一發球區與正手拍底線抽球的可控制範圍得分具有顯著交互作用效應，反手拍底線抽球可控制範圍得分達顯著時間效應。

研究顯示在攝取  $\text{NaHCO}_3$  於各種運動類型表現上結果不一致，Costill 等 (1984) 以 10 名男性、1 名女性，從事 5 組各 1 分鐘，每組間隔 1 分鐘的腳踏車間歇運動 ( $125\% \text{VO}_{2\text{max}}$ )， $\text{NaHCO}_3$  組在攝取後，在第 5 組腳踏車測驗直到衰竭所完成的時間， $\text{NaHCO}_3$  組為 ( $160.8 \pm 19$  秒) 與對照組達顯著差異 ( $113.5 \pm 12.4$  秒)。George & Maclaren (1988) 探討鹼化對長時間耐力運動的影響，給 10 名男性服用  $\text{NaHCO}_3$ 、氯化銨 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、氯化鈉 ( $\text{NaCl}$ ) 各 0.2 g/kg；以乳酸濃度 4mm/l 為強度作原地跑步機測試。 $\text{NaHCO}_3$  組衰竭時間較氯化鈉增加 17%，結果鹼化對長時間運動表現有效。Gaitanos 等 (1991) 以 7 名健康男性為受試者，分別給予  $\text{NaHCO}_3$  0.3 g/kg 及安慰劑。以跑步機做 10 次 6 秒的最大努力衝刺，每兩次之間休息 30 秒。運動表現上，平均、最大無氧動力輸出，及平均、最大跑速，皆隨次數增加而顯著遞減，但兩組間成績無顯著差異，結果顯示口服補充鹼性溶液使血液酸鹼平衡改變，但

於短時間最大運動重複測試中，對其動力輸出無顯著效果。Stephens, Mckenna, Canny, Snow, & McConnell (2002)以 7 位男性耐力訓練 60 分鐘。在自行車訓練前 2 小時讓受試者攝取 0.3 g/kg 的  $\text{NaHCO}_3$  或安慰劑，以  $77 \pm 1\% \text{VO}_{2\text{max}}$  速度盡快完成。顯示整個運動過程中  $\text{NaHCO}_3$  組和對照組相較之下，攝取  $\text{NaHCO}_3$  會導致肌肉鹼化，但是對肌肉代謝或受過訓練之運動員耐力運動表現沒有影響。

Davey, Thorpe, & Williams, (2002)指出於間歇性網球測試後，第二發球區之發球準確性減低。發球可能對於因疲倦之技巧衰退較敏感，有可能是拋球所選擇的時間改變所致；不過，第一發球區的能力並未改變。本研究結果亦顯示，於第一發球區有明顯的交互作用影響效應，第二發球區則未有顯著。另外， $\text{NaHCO}_3$  補充對於正手拍底線抽球之一致性，似乎較反手拍底線抽球明顯。技術能力變化詳細之機轉，需要更進一步的研究。

網球運動比賽中充滿動態性，其特徵為長時間、高強度，持續的間歇運動，休息時間較其它項目長且次數多。每場比賽過程中，通常超過 1 小時，甚至可長達 4 小時以上，在實驗設計上，為實際反應出網球選手的專項運動能力，設計模擬比賽與 ST 結果在發球、正手拍底線抽球項目有增加表現的效果，整體對網球專項能力在攝取碳酸氫鈉後表現有增強的可能。

本研究中 4 位受測者描述，於攝取  $\text{NaHCO}_3$  後有腹部不適的情形。雖然研究並未顯示攝取碳酸氫鈉有任何副作用，但依過去研究，攝取碳酸氫鈉後腸胃不適的比例很高(Price 等 (2003))。可能避免副作用的方法之一，是於運動開始前幾

天攝取  $\text{NaHCO}_3$ 。研究顯示補充 5 天 0.3-0.5 g/kg 之  $\text{NaHCO}_3$ ，接著進行運動測試，能增加緩衝能力並提昇表現(Douroudos 等, 2006)。未來的研究可調查有關攝取  $\text{NaHCO}_3$  對身體和各種不同類型運動之技巧能力的長期效果。

## 第陸章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究以優秀男性網球選手為對象，於測試期間補充  $\text{NaHCO}_3$  0.3 g/kg，經過 Loughborough Tennis Skill Test 與模擬比賽，結果發現：

(一)  $\text{NaHCO}_3$  補充可於模擬網球比賽後維持技巧性網球能力。

(二)  $\text{NaHCO}_3$  造成增能效應，可能有部份是因細胞內的緩衝能力增加所致。

### 第二節 建議

(一) 本研究顯示受試者在採集血液樣本時，使用動脈化靜脈血液之抽取方式但本研究分析結果  $\text{PO}_2$  僅少數達  $\geq 70$  mm Hg，表示未成功抽取動脈化靜脈血液，Portington 等 (1998) 提出當受試者抽取動脈化靜脈血液時是肌肉在緊張的情形，較難抽取動脈化靜脈血液，另外，在抽取前使用熱敷袋之加熱手肘處時，溫度 ( $65^\circ\text{C}$ ) 與時間 (60 秒) 控制是否得宜可能是考慮原因之一。

(二) 未來的研究應運用多面向化探討網球運動的方法；多面向化的測量方法包括了知覺認知和生物力學等，透過測量方法契合度和實驗情境的改善使能夠精準的模擬出真實競賽時的體能耗費，而生化部份未來研究可針對比賽時的表現對

產生的疲勞、後續的恢復、荷爾蒙及傷害程度所造成的影響進行調查。

(三) 本研究顯示網球表現測試上是否會因酸鹼平衡的改變而有正面的影響，為了克服在球場上擊球之變數，建議未來可發展網球相關專項體能測試。

## 參考文獻

- Chasiotis, D., Hultman, E., Sahlin, K. (1983). Acidotic depression of AMP accumulation and phosphorylase b to a transformation in skeletal muscle of man. *The Journal of Physiology*, 335, 197-204.
- Christmass, M. A., Dawson, B., & Arthur, P. G. (1999). Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 80, 436-447.
- Coombes, J., & Mcnaughton, L. R. (1993). Effects of bicarbonate ingestion on leg strength and power during isokinetic knee flexion and extension. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7, 241-249.
- Costill, D.L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E., Fink, W. (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO<sub>3</sub>. *International journal of sports medicine*, 5(5), 228-231.
- Coyle, E.F. (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *The Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3), 181-189.
- Daniel, J. H., Damian F., Inigo M., & Warren, Y. (2007). Fatigue in tennis mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Medicine*, 37(3), 199-212.

- Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. (2002). Fatigue decreases skilled tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, *20*, 311-318.
- Dobson, G. P., Yamamoto, E., Hochachka, P. W. (1986). Phosphofructokinase control in muscle: nature and reversal of pH-dependent ATP inhibition. *The Journal of Physiology*, *250*, 71-76.
- Granier, P.L., Dubouchaud, H., Mercier, B.M., Mercier, J.G., Ahmaidi, S., & Prefaut, C.G. (1996). Effect of NaHCO<sub>3</sub> on lactate kinetics in forearm muscles during leg exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *28*(6), 692-697.
- Gyton, A. C. (1987). *Human physiology and mechanisms of disease*. (4 th ed.). W.B. Saunder Co. Philadelphia.
- Inbar, O., Rotstein, A., Jacobs, I., Kaiser, P., & Dlin, R. (1983). The effects of alkalosis treatment on short-term maximal exercise. *Journal of Sports Sciences*, *1*, 95-104.
- Johann, E., David, B., & Carmel, G. (2006). Effects of chronic NaHCO<sub>3</sub> ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, *101*, 918-925.
- Jubrias, S.A., Crowther, G.J., Shankland, E.G., Gronka, R.K., & Conley, K.E. (2003). Acidosis inhibits oxidative

- phosphorylation in contracting human skeletal muscle in vivo. *The Journal of Physiology*, 533, 589-599.
- Lavender, G., Bird, S.R. (1989). Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints. *British Journal of Sports Medicine*, 23(1), 41-45.
- Linderman, J., Kirk, L., Musselman, J., Dolinar, B., & Fahey, T.D. (1992). The effects of sodium bicarbonate and pyridoxine-alpha-ketoglutarate on short-term maximal exercise capacity. *Journal of Sport Sciences*, 10(3), 243-253.
- Mark, S. K. (2007). Tennis physiology training the competitive athlete. *Sports Medicine*, 37(3), 189-198.
- Marsit, J. L., Conley, M. S., & Stone, M. H. (1993). The effect of different doses of sodium bicarbonate on performance of the leg press exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 7, 179-184.
- Maston, L. G., & Tran, Z.V. (1993). Effect of sodium ingestion on anaerobic performance: A meta analytic review. *The Journal of Sport Nutrition*, 3, 2-28.
- Maughan, R. J., Leiper, J. B., & Litchfield, P. E. (1986). The effects of induced acidosis and alkalosis on isometric endurance capacity in man. *New York: AMS Press, Inc.*, pp, 73-82.
- McArdle, W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L. (2001). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human*

*Performance* (5th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.

McNaughton, L.R. (1992). Sodium bicarbonate ingestion and its effects on anaerobic exercise of various durations.

*Journal of Sport Science*, 10(5), 425-435.

Pedersen, T.H., Nielsen, O.B., Lamb, G.D., & Stephenson, D.G. (2004). Intracellular acidosis enhances the excitability of working muscle. *Science*, 305, 1144-1147.

Price, M., Moss, P., & Rance, S. (2003). Effects of sodium bicarbonate ingestion on prolonged intermittent exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 1303-1308.

Portington, K.J., Pascoe, D.D., Webster, M.J., Anderson, L.H., Rutland, R.R., & Gladden, L.B. (1998). Effect of induced alkalosis on exhaustive leg press performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4), 523-528.

Roth, D.A., & Brooks, G.A. (1990). Lactate and pyruvate transport is dominated by a pH gradient-sensitive carrier in rat skeletal muscle sarcolemmal vesicles. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 279(2), 386-394.

Schaefer, A., Piquard, F., Geny, B., Doutreleau, S., Lampert, E., & Mettauer, B., et al. (2002). L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 403-407.

- Smith, E.W., Skelton, M.S., Kremer, D.E., Pascoe, D.D., & Gladden, L.B. (1998). Lactate distribution in the blood during steady-state exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(9), 1424-1429.
- Stephens, T.J., McKenna, M.J., Canny, B.J., Snow, R.J., & McConell, G.K. (2002). Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 614-21.
- Street, D., Nielsen, J.J., Bangsbo, J., & Juel, C. (2005). Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium. *The Journal of Physiology*, 566, 481-489.
- Tiryaki, G.R., & Atterbom, H.A. (1995). The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on 600m running time of trained females. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 35(3), 194-198.
- Webster, M.J., Webster, M.N., Crawford, R.E., & Gladden, L.B. (1993). Effect of sodium bicarbonate ingestion on exhaustive resistance exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(8), 960-965.
- Wijnen, S., Verstappen F., & Kuipers, H. (1984). The influence of intravenous NaHCO<sub>3</sub> administration on interval exercise: acid-base balance and endurance. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 130-132.

表 1、 補充 NaHCO<sub>3</sub> 對運動表現相關研究

受試者	劑量	實驗處理	效果	結果	參考文獻
24 名男性	0.3 g/kg 0.5 g/kg	Wingate test	+	增加無氧 能力	(Douroudos, et al., 2006)
16 名女性	0.2 g/kg	每次 2 分 鐘，共 6 至 12 次的 自行車間 歇訓練	+	高強度運 動期間乳 酸閾值和 耐力表現 增加	(Johann, et al., 2006)
10 名男性	0.2 g/kg	乳酸濃度 4mm/l 為 強度作原 地跑步機 測試	+	衰竭時間 較 CON 組 增加 17%	(Georg & Maclaren, 1988)

受試者	劑量	實驗處理	效果	結果	參考文獻
10 名男 性、1 名 女性	0.2 g/kg	5 組各 1 分鐘 腳踏車間歇 運動 (125%VO <sub>2max</sub> )	+	衰竭時 間增加	(Costill, et al., 1984)
9 名男性	0.1、 0.2、 0.3、0.4 0.5 g/kg	1 分鐘最大無 氧動力及總 做功量測試	+	總做功 量和無 氧動力 顯著增 加	(McNaughton, et al., 1992)
9 名游泳 選手	0.3 g/kg	200 公尺衝刺	+	增進 200 公 尺自由 式的表 現時間	(Lindh, et al., 2007)

受試者	劑量	實驗處理	效果	結果	參考文獻
8 名自由車選手	0.4 g/kg	1 分鐘無	+ 氧動力輸出	最大動力顯著增加	(McNaughton, et al., 1991)
7 名男性	0.3 g/kg	跑步機 10 次 6 秒的	最大強度衝刺	血液酸鹼值顯著增加	(Gaitanos, et al., 1991)
15 名男性	0.3 g/kg	5 組 leg press 訓練		七名表現增加，但整體未達顯著	(Portington, et al., 1998)
7 位男性	0.3 g/kg	腳踏車運動 77±1% VO <sub>2max</sub> 30 分鐘和 469±21 kJ		顯著降低	(Stephens, et al., 2002)
				休息時肌肉 H <sup>+</sup> 濃度	

---

受試者	劑量	實驗處理	效果結果	參考文獻
10 名男性	0.3 g/kg	前臂運動，收縮頻率 0.5 Hz, 共 9 分鐘	引發鹼中毒，前臂過於緊繃時會減少磷酸肌酸	(Forbes, et al., 2005)
6 名男性	0.3 g/kg	5 組 leg press 訓練	6 人中有 4 人能力平均提高三次 (約為 16%)	(Webster, et al., 1993)
15 名男性	0.3 g/kg	5 組 leg press 訓練	七名表現增加，但整體未達顯著	(Portington, et al., 1998)

---

表 2、受試者基本資料

編號	年齡	身高	體重 (kg)		體脂肪 (%)	
			PLA-T	BIC-T	PLA-T	BIC-T
1	21	177	85.7	84.6	21.5	18.9
2	25	179	79.3	80.6	16.2	14.9
3	25	174	79.4	80	24.9	25
4	19	176	68	67	13.1	11.4
5	21	172	65.7	66.3	14.2	14.3
6	19	185	60.4	60.4	10.7	11.1
7	20	166	62.4	63.2	20.3	19.7
8	24	162	50.7	51.3	13	13
9	22	167	59.5	59	11.1	11
Mean±	21.8±	173.1±	67.9±	68±11.3	16.1±5	15.5±4.8
SD	2.4	7.1	11.4			

PLA-T:安慰劑組 BIC-T: NaHCO<sub>3</sub> 組

表 3、 模擬比賽休息時受試者平均攝取之水量

	休息時平均 水量〈ml〉	攝取次數	總攝取量 〈ml〉
1	156.0	5	780.3
2	237.2	5	1186.2
3	190.0	5	950.2
4	322.2	5	1611.0
5	157.2	5	786.2
6	192.2	5	961.0
7	319.4	4	1277.7
8	269.8	5	1349.0
9	180.6	5	903.0

表 4、 實驗期間溫度與濕度

subject	平均溫度		平均濕度	
	PLA	BIC	PLA	BIC
1	36.0	31.3	47.0	52.0
2	36.0	31.3	47.0	52.0
3	31.3	36.0	52.0	47.0
4	31.3	36.0	52.0	47.0
5	38.0	35.4	46.0	47.5
6	38.0	35.4	46.0	47.5
7	35.4	38.0	47.5	46.0
8	35.4	38.0	47.5	46.0
9	29.0	28.0	42.5	42.5

表 5、對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組前後時間於網球表現測試 (Loughborough Tennis Skill Test, ST), 發球、正手拍與反手拍在 ST1 與 ST2 的變化

	Placebo		Bicarbonate		Main effect (P-value)		
	After	Before	After	Before	Trial	Time	Interaction
Service-Total							
Accuracy	3.2±2.6	3.8±1.9	4.1±1.8	4.5±1.5	0.215	0.254	0.844
Consistency	7.0±2.7	6.8±3.1*	8.5±2.8	5.5±3.0	0.909	0.057	0.004**
Service-Right							
Accuracy	1.6±1.5	1.2±1.4	1.7±1.3	2.0±0.8	0.347	0.824	0.419
Consistency	3.2±1.3	3.6±2.0*	4.2±1.3	2.4±1.8	0.864	0.213	0.033*
Service-Left							
Accuracy	1.5±1.4	2.2±0.9	2.3±1.1	2.5±1.5	0.073	0.249	0.578
Consistency	3.6±1.8	3.2±1.9	4.4±1.9	3.2±1.9	0.48	0.105	0.385
Gs-Total <sup>a</sup>							

Accuracy	6.0±3.1	5.3±2.2	5.5±3.3	5.2±2.5	0.758	0.446	0.694
Consistency	17.6±2.8	19.0±4.5	19.5±4.2	17.1±4.3	1	0.575	0.088
Gs-Forehand							
Accuracy	3.7±1.9	2.3±1.2	3.5±1.5	2.7±2.1	0.85	0.065	0.493
Consistency	8.0±1.6	9.3±2.6	10.5±2.8	9.1±2.0	0.237	0.943	0.046*
Gs-Backhand							
Accuracy	2.2±1.8	1.8±1.9	2.0±2.1	2.3±1.0	0.868	1	0.464
Consistency	9.7±2.7	9.5±3.0	9.4±2.7	8.0±2.5	0.391	0.046*	0.475

GS:底線抽球

表 6、 網球技巧能力表現與酸鹼平衡相關係數

		laca	lacb	pHa	pHb	pta	ptb
ST	Pearson	.115	.234	-.536	.345	1	-.199
A	相關						
	顯著性	.752	.514	.110	.329		.582
	(雙尾)						
	個數	9	9	9	9	9	9
ST	Pearson	-.332	-.612	-.107	-.078	-.199	1
B	相關						
	顯著性	.349	.060	.769	.830	.582	
	(雙尾)						
	個數	9	9	9	9	9	9

ST-A：網球技巧表現對照組 ST-B：網球技巧表現 NaHCO<sub>3</sub> 組

laca：乳酸對照組 lacb：乳酸 NaHCO<sub>3</sub> 組

pHa：酸鹼值對照組 pHb：酸鹼值 NaHCO<sub>3</sub> 組

表 7、 氣體分析 NaHCO<sub>3</sub> 組與對照組之 Pco<sub>2</sub>、Po<sub>2</sub>

subject	Pco <sub>2</sub>				Po <sub>2</sub>			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
1	55.8	40.4	55.7	61.9	33	68	26	31
2	44.1	47.9	55.4	52.6	44	35	46	54
3	41.0	36.4	42.2	41.2	57	76	45	65
4	52.7	41.7	59.3	59.8	31	76	29	38
5	45.5	45.2	49.5	48.7	58	70	47	70
6	49.3	46.2	44.0	60.4	38	50	73	30
7	41.8	44.3	43.9	44.7	58	49	76	79
8	53.3	40.4	47.6	47.3	35	87	91	80
9	49.9	44.4	49.3	43.8	57	79	50	84

單位：mm Hg A1：對照組攝取前 A2：對照組模擬比賽後

B1：NaHCO<sub>3</sub> 組攝取前 B2：NaHCO<sub>3</sub> 組模擬比賽後

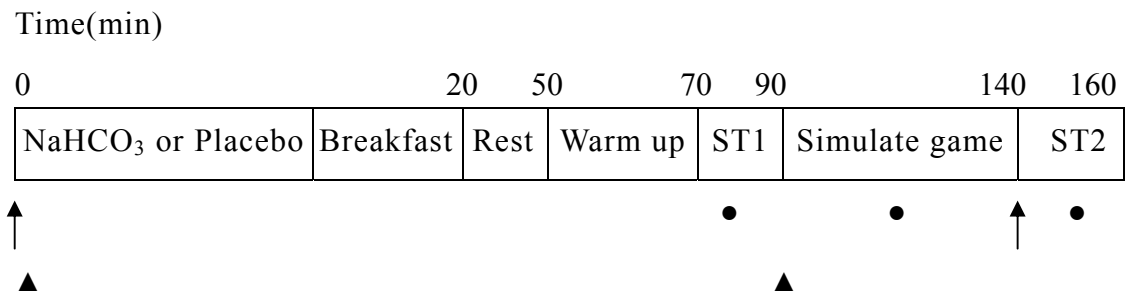


圖 1、 運動測試及血液採集程序圖

↑：代表採血時間點

●：自覺量表、心跳率

▲：攝取 NaHCO<sub>3</sub> or Placebo

ST：Loughborough Tennis Skill Test

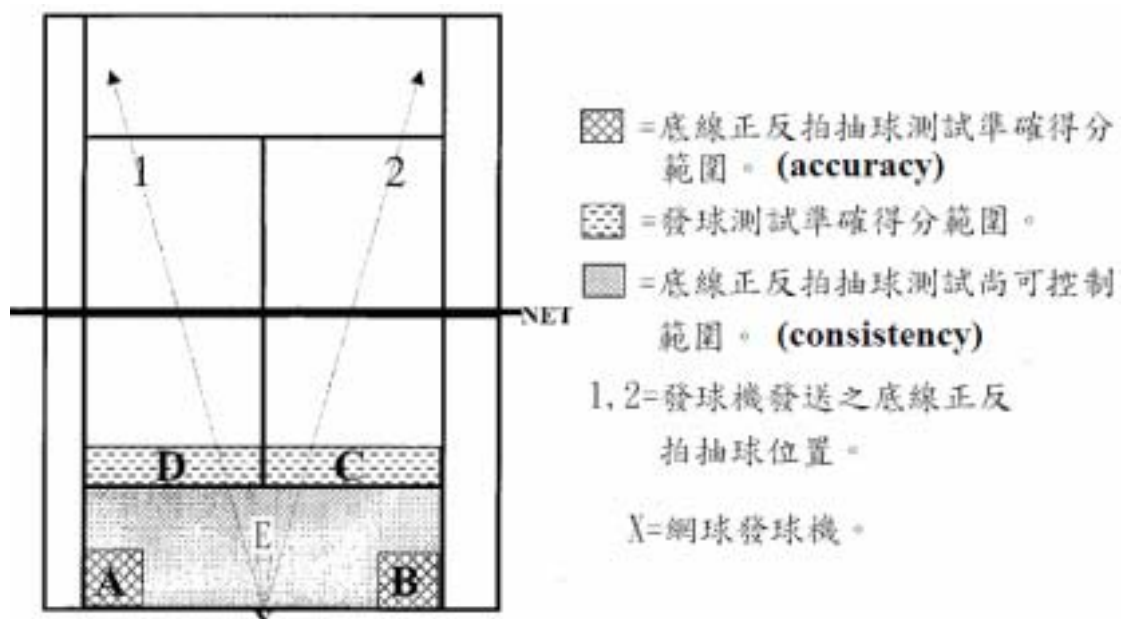


圖 2、Loughborough Tennis Skill Test 之場地配置圖 (Davey, Thorpe, & Williams, 2002)。

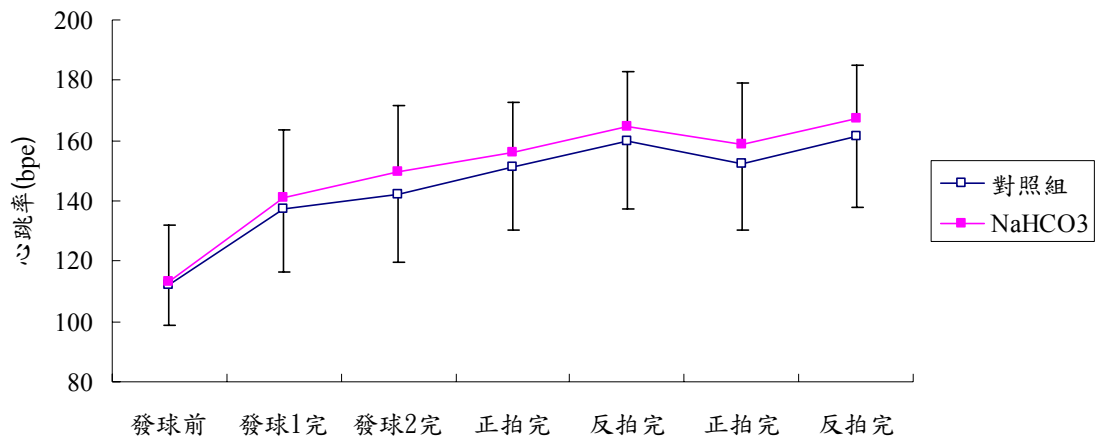


圖 3、Loughborough Tennis Skill Test 1 心跳率之變化

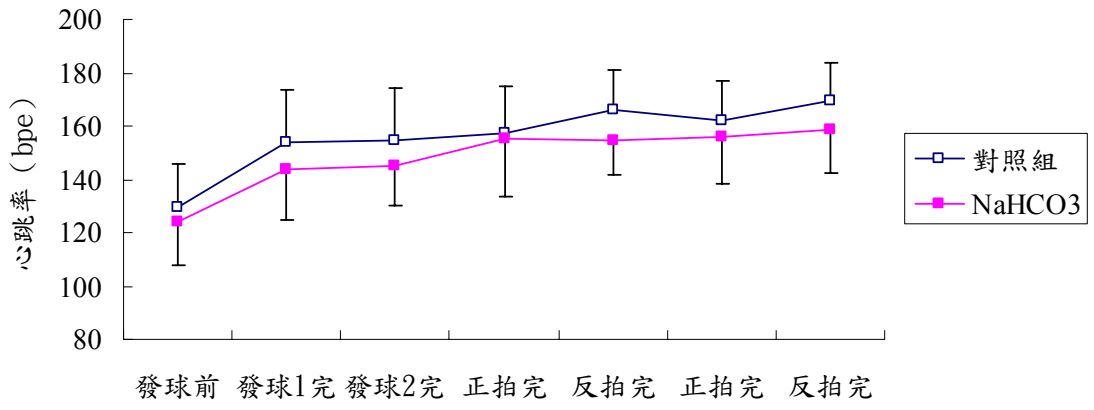


圖 4、 Loughborough Tennis Skill Test 2 心跳率之變化

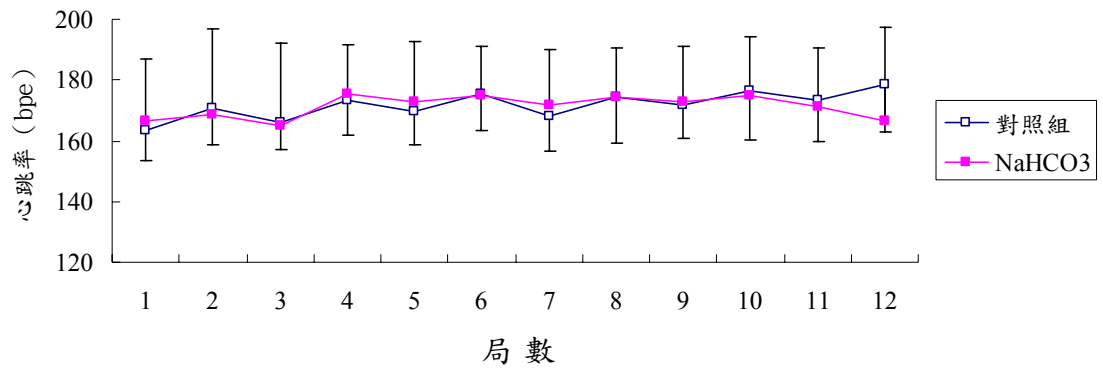


圖 5、模擬比賽中心跳率之變化

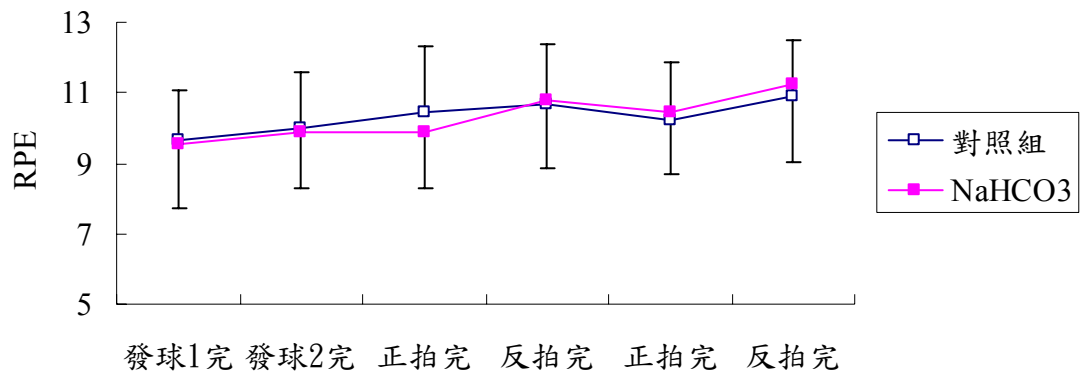


圖 6、Loughborough Tennis Skill Test 1 自覺量表之變化

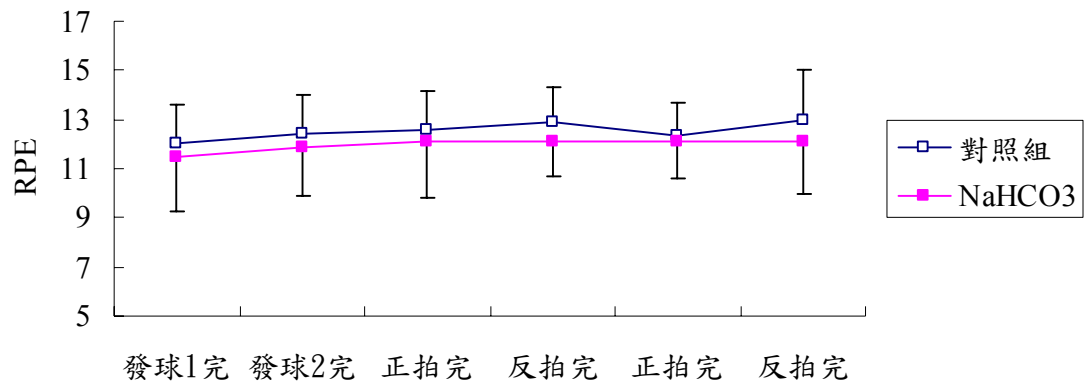


圖 7、 Loughborough Tennis Skill Test 2 自覺量表之變化

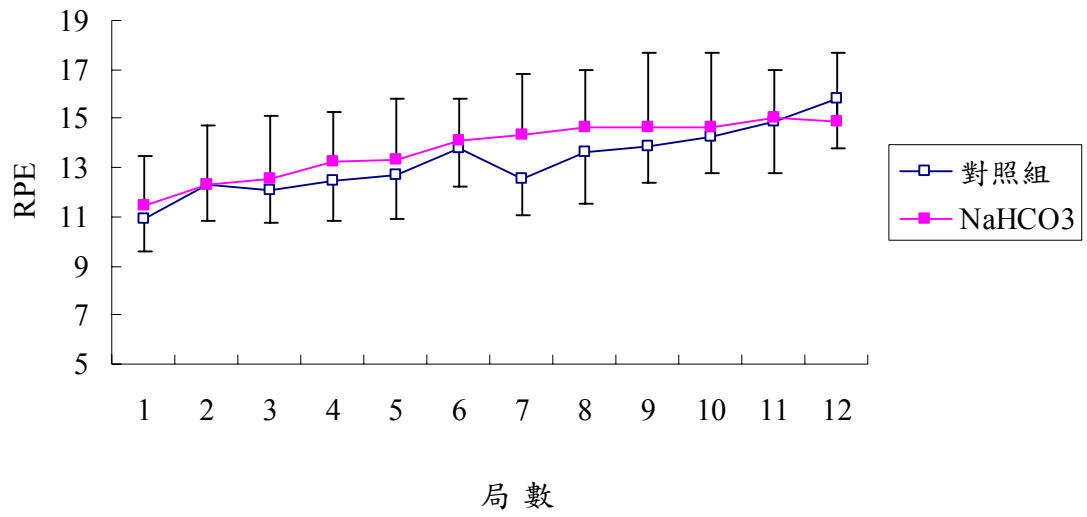


圖 8、模擬比賽中自覺量表之變化

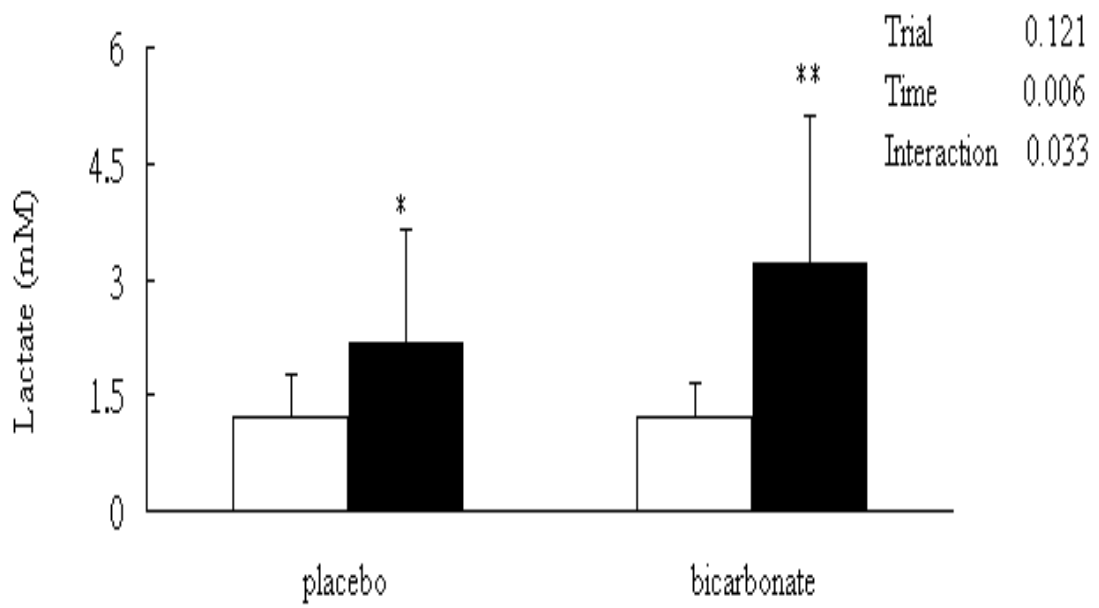


圖 9、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 lactate 濃度變化

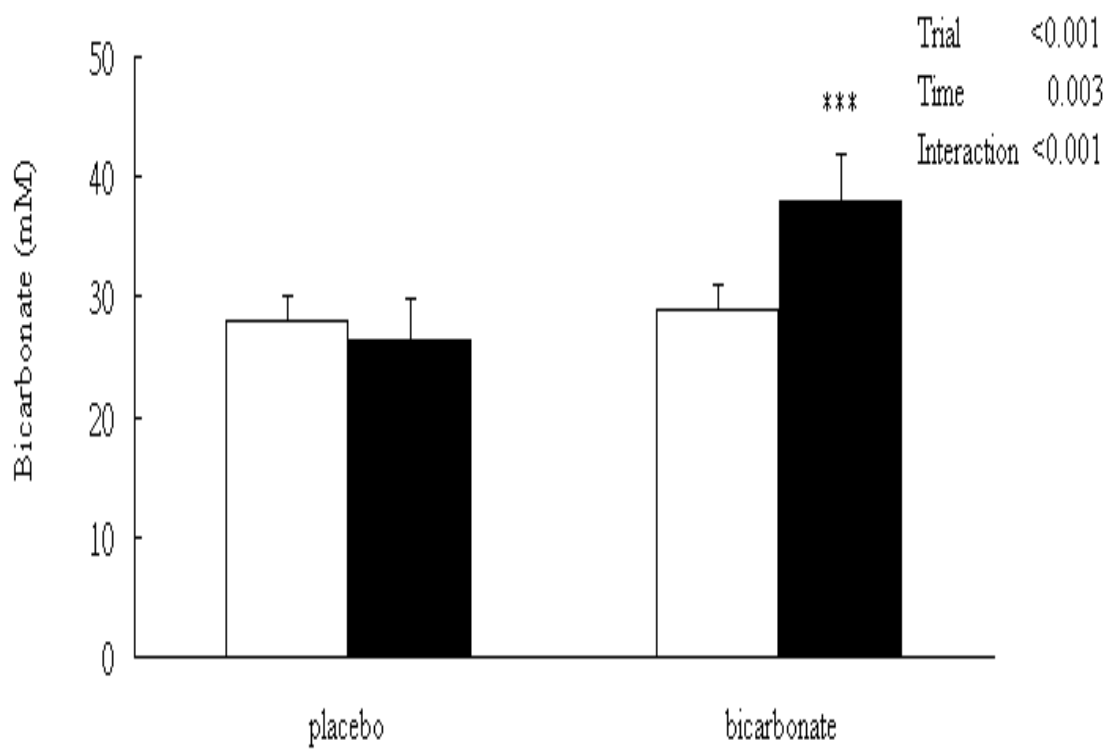


圖 10、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 bicarbonate 濃度變化

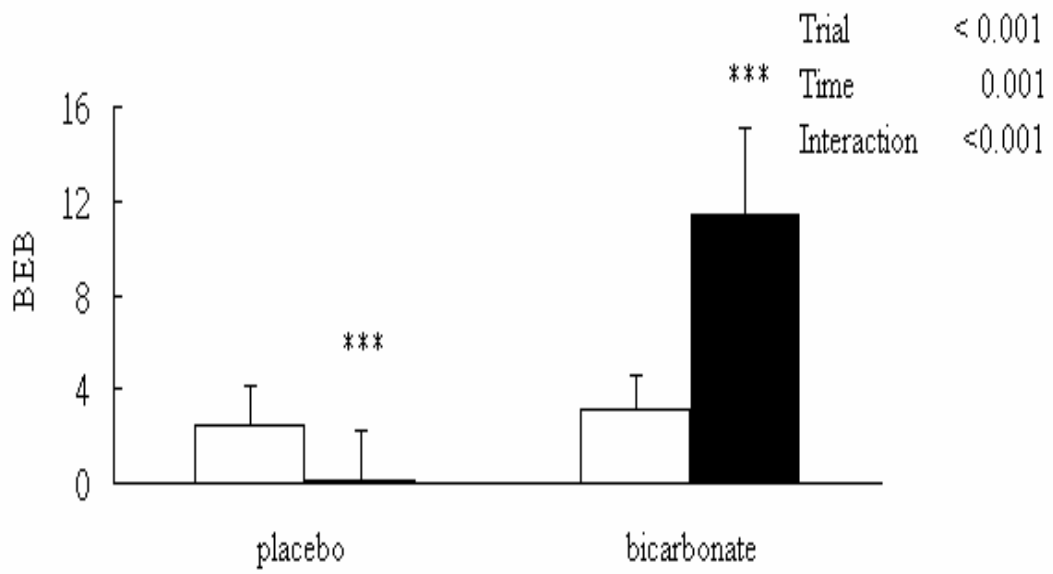


圖 11、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 BEB 濃度變化

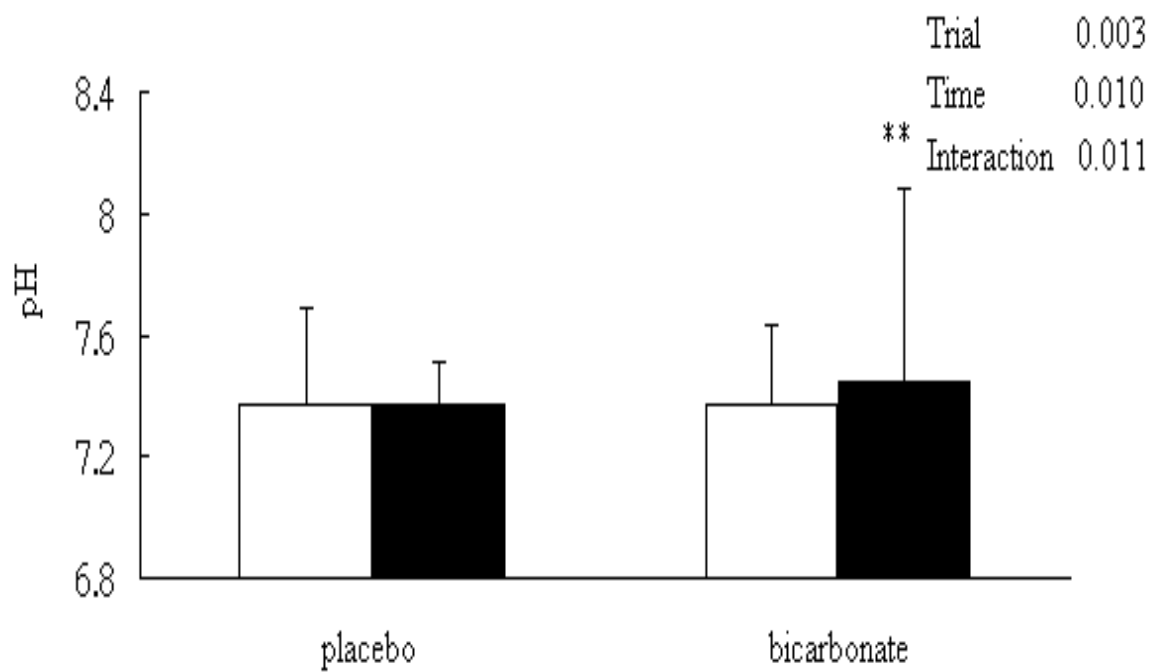


圖 12、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 pH 濃度

附錄 1、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 lactate 與 Bicarbonate 濃度變化

Trial	Lactate (mM)		Bicarbonate (mM)	
	Pre-match	Post-match	Pre-match	Post-match
Placebo	1.52±1.08	2.34±1.48	27.52±2.41	26.70±3.46
Bicarbonate	1.28±0.42	3.16±0.79	28.26±2.75	37.31±4.30
	Main effect (p value) <sup>2</sup>			
Trial	0.121		<0.001 <sup>***</sup>	
Time	0.006 <sup>**</sup>		0.003 <sup>**</sup>	
Interaction	0.033 <sup>*</sup>		<0.001 <sup>*</sup>	

\*p<0.05; \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001.

附錄 2、 對照組與 NaHCO<sub>3</sub> 組 lactate 與 Bicarbonate 濃度變化

Trial	BEB		pH	
	Pre-match	Post-match	Pre-match	Post-match
Placebo	2.08±1.98	0.11±2.03	27.52±2.41	26.70±3.46
Bicarbonate	2.62±2.00	11.07±3.62	28.26±2.75	37.31±4.30
	Main effect (p value) <sup>2</sup>			
Treatment	<0.001 <sup>***</sup>		0.003 <sup>**</sup>	
Time	0.001 <sup>**</sup>		0.010 <sup>**</sup>	
Interaction	<0.001 <sup>***</sup>		0.011 <sup>*</sup>	

. \* p<0.05; \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001.

附錄 3、學術研究受試者同意書

計畫名稱	模擬比賽中不同飲料攝取對網球技術表現之影響		
計畫主持人	林華韋	機構名稱	台灣體育大學
		部門/職稱	競技運動學系
		電話/分機	04-22213108*2260
		手機	
共同主持人	張振崗、巫錦霖	部門/職稱	運科中心
		電話/分機	04-22213108*2211
		手機	
計畫聯絡人	楊佳政	手機	0921-353806
受試者姓名		出生年月日	
聯絡電話		緊急聯絡電話	
通訊地址			
一、試驗目的	不同飲料對於網球運動表現的影響		
二、試驗方法與程序	如附件一		
三、身心上可能導致之副作用、不適或危險	本研究需進行多次抽血，將從非慣用手手肘處抽血，每次抽血量約 6 cc，可能會感覺疼痛，但不會對健康或運動表現有任何負面的影響。		

<p><b>四、預期試驗效果</b></p>	<p>本研究將可了解適當飲料攝取是否可以幫助網球技術的表現</p>
<p><b>五、隱私權保護</b></p>	<p>研究執行單位對於檢查結果將絕對保密，一個研究的號碼會取代受試者的姓名，試驗所得資料可能發表於學術性雜誌，但受試者姓名將不會公佈，受試者之隱私將予絕對保密，本研究中所取得的血液檢體也絕對不外流。</p>
<p><b>六、受試者簽名</b></p>	<p>1. 我已經詳細閱讀以上資料，研究人員已經對我詳細解釋內容，相關研究人員也已經回答我所有的疑問。</p> <p>2. 我知道如果我以後有問題，可與計畫主持人聯絡，日後如果受試者同意書內容有任何更新，或有新資訊可能影響受試者繼續參與試驗之意願，我將隨時收到更新後的內容。</p> <p>3. 我瞭解在試驗期間我有權隨時通知研究執行單位，退出試驗，而不會遭受處罰或損失應得之利益。</p> <p>4. 本人同意參加本研究，同意本計畫研究人員使用我的血液檢體進行分析，且我將盡力遵循與配合所有研究的步驟。</p> <p>受試者簽名：_____日期：____年____月____日</p>

(本書表應向受試者說明詳細內容，並請受試者經過慎重考慮後方得簽名)