

國立臺灣體育學院
National Taiwan College of Physical Education
體育研究所碩士學位論文

補充碳酸氫鈉對大學排球選手模擬比賽後技術
表現與血液酸鹼平衡之影響
EFFECT OF SODIUM BICARBONATE
SUPPLEMENTATION ON SKILL PERFORMANCE AND
BLOOD ACID-BASE BALANCE AFTER A SIMULATED
GAME IN COLLEGIATE VOLLEYBALL PLAYERS



研究生：盧冠邑 撰
指導教授：張振崗 教授

中華民國 98 年 12 月

補充碳酸氫鈉對大學排球選手模擬比賽後技術表現與血液酸鹼平衡之影響

摘要

氫離子囤積是造成高強度運動疲勞的主要原因之一，疲勞可能會使排球選手助跑起跳、攻擊出手時間點的錯誤、攔網高度降低、或無法到適當的位置接球而形成失誤，影響技術表現與成績。補充 NaHCO_3 可能可以增加細胞外的緩衝能力，進而減少肌肉細胞中氫離子的堆積，以減緩疲勞的產生，並提高技術能力。本研究目的為探討補充 NaHCO_3 對特優級排球選手在模擬比賽後技術表現的影響。前導實驗以 32 名（16 名特優級；16 名挑戰 A 級）男性、18 名女性（12 名挑戰 A 級；6 名公開級）大學排球運動員為對象，發展排球專項技術測試（Volleyball skill test, VST），評估受試者在攻擊、舉球、救球之技術能力，特優級男性及挑戰 A 級女性選手連續 2 次 VST 測試成績達顯著相關（男： $r = 0.501$ ；女： $r = 0.807$ ），顯示 VST 測試為可行。本研究以 17 名男性及 10 名女性大學排球運動員（男性：平均年齡 20.47 ± 1.50 歲，身高 181.82 ± 5.58 公分，體重 79.14 ± 12.88 公斤；女性：平均年齡 19.70 ± 0.67 歲，身高 167.00 ± 5.62 公分，體重 58.84 ± 6.26 公斤）為研究對象，每位受試者均完成控制試驗與 NaHCO_3 試驗。每次試驗皆於模擬比賽前後進行 VST 測試，模擬比賽包含連續攻擊、個人防守、左右攔網、3 公尺側併步等四種型態。女性受試者於攝取實驗飲料前及抽血後進行聽力及眼力反應測試，並於 VST 測試後進行 10 次攔網高度測試。 NaHCO_3 試驗於運動前 1 小時攝取 0.3 g/kg NaHCO_3 ，

控制試驗攝取 0.21 g/kg NaCl。運動前與模擬比賽後採集血液樣本分析 pH 值、血液鹼溢 (base excess of blood, BEB)、 HCO_3^- 、鉀離子 (K^+)、乳酸。結果顯示男女性 pH 值兩次試驗後測皆顯著低於前測，且 NaHCO_3 試驗改變量與控制試驗呈顯著差異 (男性控制試驗前測： 7.39 ± 0.03 、後測： 7.21 ± 0.05 ； NaHCO_3 試驗前測： 7.44 ± 0.02 、後測： 7.28 ± 0.03 。女性控制試驗前測： 7.34 ± 0.03 、後測： 7.16 ± 0.04 ； NaHCO_3 試驗前測： 7.44 ± 0.08 、後測： 7.25 ± 0.08)。BEB 濃度男女性實驗後測結果皆顯著低於前測， NaHCO_3 試驗變化量顯著高於控制試驗。 HCO_3^- 濃度後測結果亦顯著低於前測， NaHCO_3 試驗變化量顯著高於控制試驗。乳酸濃度後測結果顯著高於前測，且 NaHCO_3 試驗變化量亦顯著高於控制試驗 (男性控制試驗前測： 3.25 ± 0.79 mM、後測： 17.63 ± 3.07 mM； NaHCO_3 試驗前測： 3.68 ± 0.67 mM、後測： 20.60 ± 2.51 mM。女性控制試驗前測： 2.71 ± 1.08 mM、後測： 14.55 ± 2.48 mM； NaHCO_3 試驗前測： 3.17 ± 1.45 mM、後測： 17.42 ± 2.85 mM)。VST 技術測試部份，男性受試者前測 (控制試驗： 21.73 ± 12.15 ； NaHCO_3 試驗： 22.93 ± 11.35) 準確率顯著高於後測 (控制試驗： 17.21 ± 9.01 ； NaHCO_3 試驗： 18.75 ± 8.42)，但成功率並無顯著差異 (控制試驗前測： 56.02 ± 19.72 、後測： 51.71 ± 18.80 ； NaHCO_3 試驗前測： 58.21 ± 20.80 、後測： 59.42 ± 19.27)；兩次試驗之變化亦無顯著差異。女性受試者準確率則無顯著差異 (控制試驗前測： 19.63 ± 8.41 、後測： 21.79 ± 7.98 ； NaHCO_3 試驗前測： 18.33 ± 9.53 、後測： 23.31 ± 13.39)，前測 (控制試驗： 41.94 ± 14.74 ； NaHCO_3 試驗： 41.14 ± 8.92) 成功率顯著高於後測 (控制試驗： 32.83

± 7.32 ; NaHCO_3 試驗 : 34.12 ± 12.97) , 兩次試驗之變化量亦無顯著差異。反應測試部份, 兩次試驗前後測的聽力反應及單手眼力反應測試皆無顯著差異; 四象限眼力反應測試兩次試驗間及控制試驗前後測之間並無顯著差異, 但 NaHCO_3 試驗前測反應時間顯著高於後測。本研究顯示補充 NaHCO_3 能增加細胞外的緩衝能力, 但無法維持排球專項之技術、聽力及眼力反應之時間, 亦不能維持攔網跳躍的高度。

關鍵詞 : NaHCO_3 、乳酸、pH 值、排球技術表現測試

Effect of Sodium Bicarbonate Supplementation On Skill Performance and Blood Acid-Base Balance After A Simulated Game in Collegiate Volleyball Players

Abstract

The accumulation of hydrogen ion is one of the major causes for fatigue in high intensity exercise. Fatigue may lead to the decrease in volleyball performance as it may result in lower jumping ability, missed timing in spike and block, and failure to reach the suitable place to receive the ball. It has been shown that sodium bicarbonate supplementation may increase extracellular buffer capacity, reduce exercise-induced hydrogen ion accumulation, and delay the onset of fatigue and enhance exercise performance. The aim of this study was to investigate the effect of sodium bicarbonate supplementation on volleyball skill performance in male and female university players after a simulated match. The preliminary study involved 32 male (16 first level, 16 second level) and 18 female (12 second level, 6 fifth level) to develop volleyball skill test (VST) which evaluates the skill of spike, set and dig. The VST scores from 2 separate test were significantly correlated ($r=0.501$ in first level male, $r=0.807$ in second level female), indicating the reliability of VST. The study recruited 17 male and 10 female collegiate

volleyball players (male: mean age 20.47 ± 1.50 years, height 181.82 ± 5.58 cm, weight 79.14 ± 12.88 kg ; female: mean age 19.70 ± 0.67 years, height 167.00 ± 5.62 cm, weight 58.84 ± 6.26 kg). Each subject completed a placebo trial (control) and bicarbonate trial (bicarbonate) in a randomized order, separated by one week. Subjects performed 2 volleyball skill tests before and after the simulated match in each trial. Volleyball skill test evaluated the skill of accuracy and consistency with spike, set and dig. The simulated match included continuously spike, personal defend, blocking both sides and 3 m closed promenade. Female subjects also completed ear-hand and eye-hand response, and blocking height tests after each VST. The subjects consumed 0.3 g/kg NaHCO_3 (NaHCO_3 trial, BIC) or 0.21 g/kg NaCl (control trial, CON) 60 minutes before the first VST. Venous blood samples collected before exercise and after simulated match. Biochemical parameters of pH, base excess of blood, HCO_3^- , potassium ion and lactate were measured by autoanalyzers. The results showed that post-match pH was significantly lower than pre-match in both trials in male and female (male: pre-match in CON 7.39 ± 0.03 , post-match 7.21 ± 0.05 ; pre-match in BIC 7.44 ± 0.02 , post-match 7.28 ± 0.03 . female: pre-match in CON 7.34 ± 0.03 , post-match 7.16 ± 0.04 ; pre-match in BIC 7.44 ± 0.08 , post-match 7.25 ± 0.08). The concentrations of base excess of blood (BEB) in both post-match were significantly lower than pre-match in male

and female. The change in BIC was significantly higher than that in CON. The concentration of HCO_3^- in post-match was also significantly lower than pre-match. The change in lactate in BIC was significantly higher than that in CON (male: pre-match in CON 3.25 ± 0.79 mM, post-match 17.63 ± 3.07 mM ; pre-match in BIC 3.68 ± 0.67 mM, post-match 20.60 ± 2.51 mM. female: pre-match in CON 2.71 ± 1.08 mM, post-match 14.55 ± 2.48 mM ; pre-match in BIC 3.17 ± 1.45 mM, post-match 17.42 ± 2.85 mM). The accuracy score in VST was significantly higher in pre-match than post-match in males (pre-match of control trial $21.73 \pm 12.15\%$, post-match $17.21 \pm 9.01\%$; pre-match of bicarbonate trial $22.93 \pm 11.35\%$, post-match $18.75 \pm 8.42\%$). The consistency scores were similar in both trials (pre-match in CON $56.02 \pm 19.72\%$, post-match $51.71 \pm 18.80\%$; pre-match in BIC $58.21 \pm 20.80\%$, post-match $59.42 \pm 19.27\%$). The accuracy scores were similar between the 2 trials in females (pre-match in BIC $18.33 \pm 9.53\%$, post-match $23.31 \pm 13.39\%$), while the consistency score was higher in pre-match than post-match (pre-match in CON $41.94 \pm 14.74\%$, post-match $32.83 \pm 7.32\%$; pre-match in BIC $41.14 \pm 8.92\%$, post-match $34.12 \pm 12.97\%$). The changes in two trials were not significant. The ear-hand and eye-hand response time was similar between the two trials. The response time in 4-quadrant eye-hand test was significantly longer in pre-match than post-match in BIC. The results suggested that sodium bicarbonate supplementation

could increase extracellular buffer capacity, but could not maintain volleyball skill performance, response time, and blocking height.

Keyword: sodium bicarbonate, lactate, pH, volleyball skill test

謝誌

時光飛逝，轉眼間不知不覺就過了兩年半的時間，在這段期間首先要感謝的是靜宜大學的李晨鐘老師、劉麗芳老師及中興大學的王美麗老師，感謝您們的允許將貴校男女生排球隊借我進行基本體能檢測和排球專項技術測試。在此也很感謝靜宜大學和中興大學男女排同學們，由於本實驗耽誤你們不少時間，但還是非常感謝你們全力的配合。

除了感謝外校的師長和排球隊的同學們以外，也很感謝吳忠政老師將台體排球隊的學弟妹借我完成論文的研究，當然還有 27 名實驗的主角，如果沒有你們每次全力的配合，我的實驗也不會這麼順利就可以完成，相較於其他受試者，你們所耗的時間及體力真的比別人還要來得辛苦，不僅需要抽血、攝取隨機調配的實驗飲料並完成累人的技術以及體能測試，甚至還要承擔身體不適等副作用的風險，非常謝謝你們全力配合。

接著還要感謝運科中心的夥伴們，維修姐、玉芳姐、季洧姊、秉勳、宜真、佳政、洋蔥、鴻鈞、玫蕙、玫嫵、淳方及羽涵，如果這段期間沒有你們照顧、協助和幫忙，我也不會這麼順利地完成實驗和論文。另外還要感謝秉佑、有成、巴西、子倫、小魁、百胤、小安、小龜、忠証等人的幫忙，特地麻煩你們來幫助實驗而耽誤你們的時間，真的是很不好意思。還有特別要感謝立羣老師、海吟老師這些年對我的關心與照顧及幫忙。此外也要謝謝巫錦霖老師、程一雄老師在實驗、論文上給我的建言與意見，因為有您們的指導，才有今日完整的論文呈現與大眾面前。

最重要要感謝的莫過於我的指導教授-張振崗老師，承蒙您這兩年半來的指導，雖然我的表現可能讓您感到失望，但心中的感謝並非三言兩語就能言述的。許多本是研究生份內的工作，老師都主動幫助我，真的令自己感到相當汗顏。或許大家對他都不熟，也許有些人很怕他，但其實老師人是非常 nice 的。這兩年半以來跟隨張老師腳步真的學到不少觀念、知識及態度，更感謝老師讓我們在新生時期有機會到國外去見識和體驗，這對我而言是相當難得的經驗。最後，不免還是要謝謝老師這些日子以來的帶領及指導，也感到抱歉讓您失望，因為未在預期時間內畢業造成您 schedule 上的麻煩，在此跟您說聲對不起了！

最終仍然要感謝大家的協助與幫忙，讓我順利完成學業，若曾有幫助過我卻未寫到您，請原諒我的疏忽，但我還是由衷感謝您曾經的協助，謝謝。

目 錄

摘要	I
Abstract	IV
謝 誌	VIII
目 錄	X
表 目 錄	XII
圖 目 錄	XIII
附 錄	XVI
第 壹 章 緒 論	1
第 一 節 研 究 背 景	1
第 二 節 研 究 目 的	1
第 三 節 研 究 假 設	2
第 四 節 研 究 範 圍 和 限 制	2
第 貳 章 文 獻 探 討	3
第 一 節 補 充 NaHCO_3 對 運 動 表 現 之 影 響	3
第 二 節 排 球 運 動 能 量 之 來 源	10
第 三 節 酸 鹼 值 與 乳 酸 代 謝	13
第 參 章 實 驗 步 驟 與 研 究 方 法	15
第 一 節 VST 信 效 度 試 驗	15
第 二 節 前 導 實 驗	15
第 三 節 實 驗 設 計	16
第 四 節 運 動 檢 測	17
第 五 節 生 化 分 析	22
第 六 節 資 料 處 理	23
第 肆 章 結 果	24

第一節 VST 信效度實驗	24
第二節 前導實驗	24
第三節 實驗監控	25
第四節 運動能力	26
第五節 反應測試	26
第六節 攔網測試	27
第七節 生化分析	27
第伍章 討論	32
第陸章 結論與建議	35
第一節 結論	35
第二節 建議	35
參考文獻	37

表目錄

表一、補充 NaHCO ₃ 對運動表現相關研究	51
表 3-2-1、VST 測試受試者基本資料表	54
表 4-1-1、受試者基本資料表	55
表 4-3-1、各級別 VST 準確性測試表	56
表 4-3-1、各級別 VST 準確性測試表	56
表 4-3-1、男性受試者實驗期間天氣溼度、溫度表	57
表 4-3-2、男性受試者運動自覺量表	58
表 4-3-3、女性受試者實驗期間天氣溼度、溫度表	59
表 4-3-4、女性受試者運動自覺量表	60
表 4-6-1、女性受試者攔網高度表	61

圖目錄

圖 3-2-1、前導實驗流程圖.....	62
圖 3-2-2、男性受試者實驗流程圖.....	63
圖 3-2-3、女性受試者實驗流程圖.....	64
圖 3-4-1、505 折返跑示意圖.....	65
圖 3-4-2、聽力反應測試.....	66
圖 3-4-3、單手眼力反應測試.....	67
圖 3-4-4、四象限眼力反應測試.....	68
圖 3-4-5、排球場地圖.....	69
圖 3-4-6、4 號位攻擊.....	70
圖 3-4-7、2 號位攻擊.....	71
圖 3-4-8、舉球位置圖.....	72
圖 3-4-9、自由球員位置圖.....	73
圖 3-4-10、Newtest 測試器材.....	74
圖 3-4-11、個人防守圖.....	75
圖 3-4-12、連續攻擊圖.....	76
圖 3-4-13、移位攔網圖.....	77
圖 3-4-14、3 公尺側併步圖.....	78
圖 4-1-1、不同位置選手 VST 準確性散佈圖.....	79
圖 4-1-2、男子選手 VST 準確性散佈圖.....	80
圖 4-1-3、女子選手 VST 準確性散佈圖.....	81
圖 4-1-4、所有選手 VST 準確性散佈圖.....	82
圖 4-2-1、NaHCO ₃ 藥物動力學前導實驗 pH 值.....	83
圖 4-2-2、NaHCO ₃ 藥物動力學前導實驗 BEB 濃度.....	84
圖 4-2-3、NaHCO ₃ 藥物動力學前導實驗 HCO ₃ ⁻ 濃度.....	85
圖 4-4-1、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 準確率.....	86

圖 4-4-2、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 成功率.....	87
圖 4-4-3、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 準確率.....	88
圖 4-4-4、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 成功率.....	89
圖 4-5-1、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後聽力測試.....	90
圖 4-5-2、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後單手視力測試.....	91
圖 4-5-3、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後象限視力測試.....	92
圖 4-6-1、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後攔網高度.....	93
圖 4-7-1、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 pH 值濃度	94
圖 4-7-2、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 pH 值濃度	95
圖 4-7-3、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 BEB 濃度濃度....	96
圖 4-7-4、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 BEB 濃度濃度...	97
圖 4-7-5、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 HCO_3^- 濃度	98
圖 4-7-6、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 HCO_3^- 濃度	99
圖 4-7-7、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 K^+ 值濃度	100
圖 4-7-8、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 K^+ 值濃度	101
圖 4-7-9、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 lactate 值濃度 ..	102
圖 4-7-10、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 lactate 值濃度	103
圖 4-7-11、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 pH 值改變百分比	104
圖 4-7-12、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 BEB 濃度改變百分比.....	105
圖 4-7-13、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 HCO_3^- 濃度改變百分比.....	106
圖 4-7-14、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 K^+ 濃度改變百分比.....	107
圖 4-7-15、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 lactate 濃度改變	

百分比.....	108
圖 4-7-16、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 準確率改變百分比.....	109
圖 4-7-17、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 成功率改變百分比.....	110
圖 4-7-18、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 pH 值改變百分比.....	111
圖 4-7-19、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 BEB 濃度改變百分比.....	112
圖 4-7-20、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 HCO ₃ ⁻ 濃度改變百分比.....	113
圖 4-7-21、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 K ⁺ 濃度改變百分比.....	114
圖 4-7-22、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 lactate 濃度改變百分比.....	115
圖 4-7-23、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 準確率改變百分比.....	116
圖 4-7-24、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前後 VST 成功率改變百分比.....	117

附錄

附錄一、男性受試者同意書	43
附錄二、女性受試者同意書	45
附錄三、男性受試者 VST 測試準確率	47
附錄四、男性受試者 VST 測試成功率	48
附錄五、女性受試者 VST 測試準確率	49
附錄六、女性受試者 VST 測試成功率	50

第壹章 緒論

第一節 研究背景

疲勞可定義為無法保持所要求或期待的力量，導致執行指定任務時的能力下降。造成疲勞過程的因素甚多，高強度運動會造成肌肉內乳酸濃度增加而降低 pH 值，pH 值降低常被認為是高強度運動後疲勞的主要原因之一。

排球是一項耗費體力的高強度間歇型運動，疲勞可能會導致球員的助跑起跳、攻擊出手時間點的錯誤、攔網高度的降低、或無法到適當的位置接球而形成失誤，影響成績。

過去研究大都探討補充 NaHCO_3 對於短時間高強度運動表現的影響，而對於長時間間歇型高強度的運動表現及體能技術方面的影響，目前尚不清楚。強調性別差異，目前大多數補充 NaHCO_3 相關研究都是針對男性受測者，針對女性運動員的研究很少。

第二節 研究目的

由於缺乏排球相關技術測試之研究，因此本研究主要目的是發展排球技術測試 (Volleyball skill test, VST)，並探討攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO_3 對於模擬排球運動比賽後，疲勞與技術表現之影響，分析模擬比賽前及比賽後乳酸、酸鹼值 (pH)、血液鹼溢 (base excess of blood, BEB)，探討攝取 NaHCO_3 影響技術表現與疲勞的可能機轉，並分析補充 NaHCO_3 對技術表現與酸鹼平衡之性別差異。

第三節 研究假設

1. 攝取 NaHCO_3 對大學男女排球選手在模擬比賽後排球技術表現無顯著影響。
2. 攝取 NaHCO_3 對大學男女排球選手在模擬比賽後之專項技術表現無顯著影響。
3. 攝取 NaHCO_3 對於大學男女排球選手在模擬比賽後血液中乳酸、酸鹼平衡無顯著影響。

第四節 研究範圍和限制

- 一、本研究針對特優級男女排球選手攝取 NaHCO_3 (0.3 g/kg) 進行專項測試及模擬比賽，非特優級男女排球選手進行專項測試及模擬比賽與特優級選手進行技術部份之對照。
- 二、本實驗無法測得攻擊手最快之球速，故在攻擊測試過程中，僅能以口頭告知受試者盡量依照個人最大力量進行扣球動作，不要刻意為了得分而減緩力量。
- 三、由於施測過程中，人為因素影響為不可避免，因此盡力將人為因素降低。
- 四、受試者採自由生活作息，僅能提醒受試者於採血前一天，儘量不熬夜及進食宵夜，以避免影響隔天早上血液樣本之分析結果。

第貳章 文獻探討

第一節 補充 NaHCO_3 對運動表現之影響

短時間高強度之運動會快速造成乳酸堆積與氫離子堆積而產生疲勞，由於運動時血液中的氫離子濃度上升，為避免選手肌肉細胞中 pH 值過度下降，可補充鹼性物質，增加細胞外鹼性物質加速肌肉細胞中 H^+ 離開細胞，減緩細胞內 pH 值下降，而 NaHCO_3 是其中一種鹼性物質，可做為提升競技運動表現的增補劑。

一、 NaHCO_3 劑量與運動表現之影響

先前的研究以 24 名男性為研究對象，分別攝取 NaHCO_3 高劑量組 (0.5 g/kg)、 NaHCO_3 中劑量組 (0.3 g/kg) 和安慰劑組，在攝取 5 天之後，進行 30 秒 Wingate 無氧能力測試，結果發現 0.5 g/kg 組平均功率之效果高於 0.3 g/kg 組之平均功率 (Douroudos et al., 2006)。

在探討不同劑量之 NaHCO_3 效果之研究中，以 9 名男性為受試者，分別攝取 5 種不同劑量之 NaHCO_3 (0.1 g/kg、0.2 g/kg、0.3 g/kg、0.4 g/kg、0.5 g/kg) 和安慰劑組 (CaCO_3 ，0.5 g/kg)，利用 1 分鐘 Wingate 測試，發現 0.1 g/kg 組、0.2 g/kg 組平均功率皆無顯著改變；0.3 g/kg 顯著提升運動表現；0.4 g/kg 組和 0.5 g/kg 組則因攝取劑量過高，會增加胃腸道不適應之現象。因此，0.3 g/kg 組為較理想之劑量 (McNaughton, 1992a)。

學者以 8 名男性為研究對象，受試者分別攝取安慰劑 (0.045 g/kg，氯化鈉)、0.1 g/kg、0.2 g/kg、0.3 g/kg 的

NaHCO₃，每 20 分鐘採集血液一次直到 2 小時結束結果發現 0.2 g/kg 及 0.3 g/kg 顯著高於 0.1 g/kg，但 0.2 g/kg 與 0.3 g/kg 之間並無顯著的差異。另一個實驗中，受試者需在測試前連續 3 天晚上 20:00、在測試前一晚 20:00、在測試前上午 9:00 攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO₃，且均於於 11:00、13:00、15:00、17:00 採集血液，結果發現在測試前上午攝取，[HCO₃⁻] 顯著高於測試前一晚及測試前連續 3 天晚上攝取。0.2 g/kg 和 0.3 g/kg 的 NaHCO₃ 能增進血液緩衝能力，0.2 g/kg 最佳攝取時間是在運動前 40-50 分鐘；0.3 g/kg 則是運動前 60 分鐘 (Siegler, Midgley, Polman, & Lever, 2009)。

綜合上述所提出，攝取 0.3g/kg 之 NaHCO₃ 對於提升運動表現是較佳的劑量，過少可能無法使 NaHCO₃ 發揮最高的效果，過高則可能造成身體不適。

二、攝取 NaHCO₃ 與無氧運動表現

過去大多數研究探討於運動前單次攝取 NaHCO₃ 對於單次短時間高強度的運動，歸納出在對於持續到 7 分鐘的運動型態，可顯著增加運動表現 (Applegate, 1999)，後續研究探討攝取 NaHCO₃ 對於重覆性或長時間高強度的運動表現，亦發現具有增能的效果。

學者將 32 名男性受試者分 4 組 (10 秒、30 秒、120 秒和 240 秒) 進行腳踏車測功計測試，每組受試者需完成控制組、安慰劑組 (CaCO₃, 0.3 g/kg) 和 NaHCO₃ 組 (0.3 g/kg) 3 次的實驗。結果發現 120 秒和 240 秒期間，運動表現是顯著優於控制組及安慰劑組 (McNaughton, 1992b)。

Inbar 等 (1983) 以 13 名體育系男性學生進行 30 秒

Wingate 測試，結果發現 NaHCO_3 組平均功率顯著增加，但功率峰值未達顯著，運動後乳酸濃度顯著上升。證明鹼化有利於酸鹼平衡之轉移，Wingate 測試時，酸鹼平衡的改變會影響無氧運動能力，但並不影響無氧運動能力之峰值。

先前研究以 10 名拳擊選手為研究對象，受試者需完成兩個完整回合的拳擊賽，實驗分為安慰劑組 (NaCl , 0.045 g/kg) 和 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg)，測試物質皆與稀釋的低熱量果汁混合增加口感，需於測試前 1 小時服用。拳擊測試是由四次 3 分鐘回合所組成，每次間隔 1 分鐘坐式休息。結果發現測試前 HCO_3^- 濃度和 BEB 濃度顯著高於測試後； NaHCO_3 組的拳數有顯著增加，而最大心跳率、平均心跳率和運動強度自覺量表則是無顯著差異 (Siegler & Hirscher, 2010)。

學者利用 23 名柔道選手為研究對象，其中 9 名為柔道專項測試組；14 名為手搖車測試組。專項組進行 3 回合測試，受試者距離兩端實驗者 3 公尺，當訊號出現後受試者跑向一端之實驗者進行摔擲。每回合為間歇型測試為 3 次，第 1 次為 15 秒、第 2、3 回合為 30 秒，恢復期則為 10 秒；手搖車組進行 4 次測試，每次測試持續 30 秒，負重為 5% 體重，每次測試間隔 3 分鐘的恢復期。實驗前 2 小時實驗組攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO_3 ；安慰劑組攝取 0.3 g/kg 的 CaCO_3 。結果顯示專項組於第二回合、第三回合及總擲出相較於安慰劑組皆有顯著的表現；手搖車組平均功率於第三次、第四次表現顯著優於安慰劑組；功率峰值僅在第四次表現優於安慰劑組 (Artioli et al., 2007)。

先前研究利用 10 名團體休閒運動的女性為研究對象，進行 5×6 秒重複性的腳踏車衝刺運動，每次間隔休息 24 秒。

實驗分成 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg) 和控制組 (NaCl, 0.207 g/kg), 結果顯示 NaHCO_3 組的總功率和功率輸出峰值顯著高於控制組 (Bishop, Edge, Davis, & Goodman, 2004)。

以 15 名男性和 8 名女性受試者進行 10 次 10 秒鐘腳踏車衝刺, 每次間隔休息 50 秒之實驗。每次需完成 3 次安慰劑組 (NaCl, 8g) 及 3 次 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg) 之實驗, 測試物質皆加入 400 ml 稀釋的黑醋栗飲料以增加口感, 並掩蓋 2 種物質之不同, 結果顯示 NaHCO_3 組之平均功率輸出和功率峰值輸出顯著高於安慰劑組 (Lavender & Bird, 1989)。

以 11 名女田徑運動員及 4 名有運動習慣之非運動員為研究的對象, 實驗分為 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg)、檸檬酸鈉組 (0.3 g/kg)、安慰劑組 (無糖 kool-aid 飲料) 和控制組 (無補充任何增補劑), 15 名受試者皆需進行上述四組之 600 公尺跑步測試, 結果顯示 NaHCO_3 組、檸檬酸鈉組 (sodium citrate)、安慰劑組在運動表現上並無顯著差異 (Tiryaki & Atterbom, 1995)。

學者以 6 名男性規律重量訓練者為研究對象, 實驗分為安慰劑組與 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg), 受試者皆完成 4 次 12 重複和第 5 次直到疲勞的腿部壓力機 (leg press) 測試, 阻力約最大阻力的 70%, 每次間隔坐著休息 90 秒, 結果顯示兩組間在運動表現上無顯著的差異 (Webster, Webster, Crawford, & Gladden, 1993)。

以 15 名男性規律重量訓練者進行 5 次 12 重複的腿部壓力機 (leg press) 測試, 阻力約 85% 1 RM, 每次間隔休息 90 秒, 實驗分為安慰劑組 (白麵粉, 0.3 g/kg) 和 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg), 結果發現兩組間在運動表現上沒有顯著的差

異 (Portington et al., 1998)。

先前研究以 6 名高強度訓練之男性游泳選手為研究對象，實驗分為四組：NaHCO₃ 組 (0.3g/kg)、咖啡因組 (6.2±0.3 mg/kg)、混合組 (NaHCO₃，0.3 g/kg 與 咖啡因 6.2±0.3 mg/kg 混合)、安慰劑組。受試者重覆進行兩次 200 公尺捷泳測試，兩次測試間隔 30 分鐘。在 NaHCO₃ 組 time trial 2 成績優於 time trial 1；咖啡因組、安慰劑組則是 time trial 1 優於 time trial 2；混合組為持平。其中 NaHCO₃ 組、咖啡因組、混合組相較之下發現，咖啡因組效果顯著高於 NaHCO₃ 組及混合組，但 NaHCO₃ 組仍有延緩疲勞之效果 (Pruscino, Ross, Gregory, Savage, & Flanagan, 2008)。

三、攝取 NaHCO₃ 與有氧運動表現

10 名定期參加國際級中長距離跑步賽事之選手為實驗對象，分為 NaHCO₃ 組 (0.3g/kg)、安慰劑組 (NaCl, 0.1 g/kg 和 CaCO₃, 0.2 g/kg)、及控制組 (無補充任何增補劑)。各組受試者皆完成 6 場 1500 公尺比賽。結果顯示 NaHCO₃ 組表現顯著優於安慰劑組及控制組，但安慰劑組和控制組之間卻無顯著差異，顯示 NaHCO₃ 可能可以增進 1500 公尺跑之表現 (Bird, Wiles, & Robbins, 1995)。

學者以 10 名訓練有素的男性為對象，進行 1 小時高強度的腳踏車測試，實驗分為控制組、安慰劑組 (檸檬酸鈉) 和 NaHCO₃ 組 (0.3 g/kg)。結果發現 NaHCO₃ 組平均功率顯著高於其他兩組 (McNaughton, Dalton, & Palmer, 1999)。

先前研究藉由 6 名訓練有素的中距離跑步選手進行測試，實驗分成三組：(1) NaHCO₃ 組；(2) 安慰劑組 (CaCO₃)；

(3) 控制組 (無補充任何增補劑)，進行 800 公尺跑步，結果發現， NaHCO_3 組測試時間較佳，且後測之血乳酸及細胞外的氫離子濃度顯著高於安慰劑組及控制組，因此推測攝取 NaHCO_3 後，細胞外緩衝能力增加，促進氫離子從運動肌肉細胞中流出，進而延遲細胞內的 pH 值的降低，延緩疲勞的產生 (Wilkes, Gledhill, & Smyth, 1983)。

以 6 名優秀訓練的自行車或鐵人三項男性選手為研究對象，實驗分為控制組 (CaCO_3 , 0.3 g/kg) 及 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg)，進行 30 分鐘 77% $\text{VO}_{2\text{peak}}$ 的腳踏車測試，之後盡快完成 469KJ (約 30 分鐘，80% $\text{VO}_{2\text{peak}}$)，結果發現 NaHCO_3 組及控制組之間完成 time trial 的時間無顯著差異 (Stephens, McKenna, Canny, Snow, & McConell, 2002)。

楊佳政 (2008) 以 9 名男性優秀網球選手為研究對象進行網球技術測試，實驗分為對照組 (NaCl , 0.209 g/kg) 及 NaHCO_3 組 (0.3 g/kg)，每次實驗均進行 60 分鐘的模擬比賽，模擬比賽前後各進行一次網球表現測試，並於運動前 70 分鐘及模擬比賽第三局休息時補充實驗飲料，結果發現 NaHCO_3 組各血液生化值及網球技術測試的發球總得分、第一發球區與正手拍底線抽球皆顯著高於對照組。

綜合以上文獻，大多數研究顯示攝取 NaHCO_3 可能可以提升單次高強度、間歇型高強度、耐力運動表現。

四、長期攝取 NaHCO_3 對運動表現之效應

攝取 NaHCO_3 會因個人體質差異有腸胃道不適之現象，因此為避免當下攝取 NaHCO_3 在運動時會產生腹瀉之情況，因此有研究嘗試攝取多天的 NaHCO_3 以減少運動時所發生的

身體不適現象。

先前研究以 8 名男性為研究對象，將實驗分為控制組、短期攝取 NaHCO_3 組 (0.5 g/kg) 和長期攝取 NaHCO_3 組 (0.5 g/kg)，長期攝取組服用 6 天的 NaHCO_3 後，於第 7 天進行運動表現測試；短期攝取組於運動表現測試當天服用 NaHCO_3 ，結果發現，兩組運動表現測試之功率輸出均顯著高於控制組，而兩組間運動表現測試之功率輸出卻無差異 (L. McNaughton & Thompson, 2001)。

過去的研究探討間歇訓練期間經由攝取 NaHCO_3 改變氫離子濃度對肌肉緩衝能力，新陳代謝及短時間耐力運動表現的影響。以 16 名女性運動員為研究對象，進行訓練前後攝氧峰值 ($\text{VO}_{2\text{max}}$)、乳酸閾值 (Lactate threshold, LT) 及疲勞時間測試，將研究對象以乳酸閾值進行配對，並隨機分為實驗組和安慰劑組進行為期 8 週、每週 3 天，在乳酸閾值 140-170% 時進行 6-12 次，每次間隔 2 分鐘的腳踏車運動。在測試前 90 分鐘和 30 分鐘，實驗組攝取 0.2 g/kg 的 NaHCO_3 ；安慰劑組攝取 0.1 g/kg 的 NaCl 。受試者進行兩項運動測試：第一項為一階段 4 分鐘的間歇型運動測試，共有 4 個階段。每階段間隔 1 分鐘休息時間。受試者利用腳踏車測功計進行實驗，開始時負重 50 W，隨後每 4 分鐘增加 25 W，直到受試者無法將轉速維持在 60 rpm，則視為衰竭。第二項為腳踏車疲勞時間之測試，受試者進行 4 分鐘未負重的踩踏後，負重與第一階段相同之重量進行腳踏車疲勞測試，轉速需維持在 80 rpm，當轉速低於 60 rpm 則給予口頭鼓勵。結果顯示訓練後期二組在肌肉緩衝能力均有顯著增加，但未達顯著差異。攝氧峰值、乳酸閾值、疲勞時間在訓練後均顯著增加，

運動前後肌肉內肌酸磷酸 (Phosphocreatine) 及肌酸 (Creatine)，細胞內乳酸濃度、訓練後的細胞內 pH 值則無改變，顯示未受過訓練的受試者所做的 8 週間歇訓練，配合長期補充 NaHCO_3 ，並不影響肌肉緩衝能力的變化，訓練期間的訓練強度對肌肉緩衝能力的改善比較重要 (Edge, Bishop, & Goodman, 2006)。

第二節 排球運動能量之來源

壹、排球運動能量之構成

排球是藉由發球、低手傳球、高手傳球、扣球、攔網所組合而成的一項競技運動，結合了基本運動的跑、跳技術，是屬於無氧類型的運動。人體於運動過程中需要大量的能量供給肌肉收縮使用，所需之能量會因運動時間和運動強度而有所不同 (McArdle, Katch & Katch, 2001)。人體有三個能量系統供應體內所需之能量：ATP-PC 系統、乳酸系統、有氧系統。

一、ATP-PC 系統

ATP-PC 系統是提供短時間高強度運動時所需之能量。藉由肌肉中所儲存的腺嘌呤核苷三磷酸 (Adenosine Triphosphates, ATP) 與肌酸磷酸 (Creatine Phosphate, CP) 提供能量。但因儲存量有限，通常於爆發型運動 5 秒左右便耗盡 (Smith & Hill, 1991)。

二、乳酸系統

運動初期，氧氣來不及運送至快速收縮中的肌肉，因此

藉由無氧的醱解作用（Anaerobic Glycolysis）產生 ATP 供給能量並產生乳酸堆積。高強度運動為期 10 秒至 180 秒乳酸濃度會達到最高（McArdle, Katch & Katch, 2001）。

三、有氧系統

運動時間較為長久之時，肌肉所需的能量主要來源是藉由有氧系統提供。由於體內氧的代謝已達穩定狀態，不會造成乳酸的堆積。故一般耐力型運動員所需之能量系統大部份來自於此系統。

大多數運動皆有使用到供應體內肌肉收縮的三個能量系統，排球項目的運動型態屬於無氧、爆發力之技能動作，故無氧路徑是最重要的能量來源部份。當雙方來回球數增加時，肌耐力亦增加負荷，因此，乳酸系統於排球運動之能量供應也相當重要。然而比賽時間超過 1 小時，甚至長達 3 小時，有氧系統也扮演重要的角色。

貳、排球運動對乳酸之影響

11 名健康的男性排球選手進行 3 次不同實驗，每次實驗間隔休息 45 分鐘為恢復期。第一次測試進行一次最大垂直跳躍，在恢復時第 1、3、5 分鐘的靜脈血乳酸顯著增加（運動前約 1.36 mmol/L、1 分鐘約 1.86 mmol/L、3 分鐘約 2.10 mmol/L、5 分鐘約 1.95 mmol/L）；第二次測試進行 6 次最大垂直跳躍，每次跳躍間隔休息 20 秒，結果發現乳酸是無顯著改變（運動前約 1.69 mmol/L、1 分鐘約 1.63 mmol/L、3 分鐘約 1.65 mmol/L、5 分鐘約 1.65 mmol/L）；第三次測試進行 6 次連續垂直跳躍，結果顯示在第 3、5 分鐘乳酸值是顯著增

加的（運動前約 1.52 mmol/L、1 分鐘約 1.68 mmol/L、3 分鐘約 2.16 mmol/L、5 分鐘約 2.17 mmol/L），顯示在垂直跳躍後靜脈血乳酸濃度有顯著增加（Chamari et al., 2001）。

先前研究以 7 名區域頂尖男性排球選手進行實驗，分為三組：（1）6 次間歇的最大垂直跳躍（每跳間隔休息 20 秒）；（2）6 次間歇助跑（每次間隔休息 20 秒）；（3）重複 6 次的最大助跑跳躍（每次間隔休息 20 秒），結果發現垂直跳躍高度顯著高於助跑跳躍高度。在血乳酸方面，助跑跳躍顯著高於垂直跳躍和助跑（ 1.71 ± 0.48 mmol/L vs. 0.44 ± 0.42 mmol/L 和 0.91 ± 0.2 mmol/L）（Hertogh et al., 2005）。

以 9 名男性排球選手進行一次負重 10%、30%、80% 體重的動態膝伸展運動。相較於 baseline 的水平，負重 10% 尿中碳酸鹽及 pH 值在運動後 2.5 小時並無改變。當給予 30% 的負重，在 2.5 小時尿中碳酸鹽及 pH 值相較於 baseline 的水平會適度增加（尿中碳酸鹽： 4.0 ± 1.9 mmol/L vs. 2.4 ± 0.8 mmol/L；pH 值 6.21 ± 0.2 vs. 5.96 ± 0.12 ）；負重 80% 時，尿中碳酸鹽及 pH 值相較於 baseline 的水平會立即在運動後 2.5 小時增加（尿中碳酸鹽： 3.6 ± 2.1 mmol/L vs. 8.8 ± 2.8 mmol/L；pH 值 5.98 ± 0.21 vs. 6.74 ± 0.17 ）（Moriguchi et al., 2002）。

學者以 10 名男性排球選手進行 6 次跳躍測試，在第 1、6 次進行最大擺臂垂直跳，在第 2 到第 5 次測試，在不同休息期間（8、14、17 和 20 秒）進行 30 次最大排球攻擊動作，每 1 次跳間隔休息 8 秒，並在第 15 到 30 次測量心跳率及血乳酸濃度。結果發現第 15 至 30 次的血乳酸濃度有顯著的增加（ 3.37 ± 0.17 mmol/L 到 4.94 ± 1.49 mmol/L）。因此，在

排球比賽期間休息間隔 14 到 17 秒，對於排球攻擊訓練較能保持選手最大跳躍表現的能力 (Pereira et al., 2008)。

第三節 酸鹼值與乳酸代謝

一、運動對酸鹼值及乳酸代謝之影響

人體安靜時血液酸鹼值約 7.4，肌肉則在 6.8-7.1 之間，運動後血液與肌肉酸鹼值會因運動型式或運動時間之長短等因素而有所差異。

學者以 7 名男性進行單腳運動測試：最大踢力測試、耐力測試和最大等長收縮測試。最大踢力測試採仰臥姿勢進行最大運動測試 30 秒，並以 80 rpm 及 120 N 的阻力開始測試；耐力測試採仰臥姿勢進行單腳膝伸展運動，功率輸出為 73.5 瓦進行 3 分鐘直到衰竭；最大等長收縮測試採仰臥姿勢進行單腳膝伸展運動，間隔休息 1 分鐘，發現 3 項測試結果訓練腳輸出功率皆顯著高於非訓練腳；而訓練腳乳酸值高於非訓練腳乳酸值 (2.33 ± 0.07 vs. 1.97 ± 0.21 mmol/L)，但卻未達顯著差異 (Pilegaard et al., 1999)。

二、乳酸代謝對酸鹼值之影響

乳酸運送可藉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，肌肉外 pH 值上升，會增加肌肉細胞內外 H^+ 濃度差，進而增加肌肉內的氫離子及乳酸的排除，可能可延遲細胞內酸中毒發生，減緩肌肉收縮能力消退，進而增加運動能力 (Roth & Brooks, 1990)。

三、酸鹼值與運動代謝

氫離子濃度增加影響磷酸果糖激酶 (Phosphofructokinase, PFK) 之活性 (Dobson, Yamamoto, & Hochachka, 1986) , pH 值降低也會磷酸化酶的活化 (Phosphorylase) , 但若 pH 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 α -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, 因此無法產生足夠的 ATP 做為肌肉能量來源, 推測這可能是造成高強度運動期間疲勞原因之一 (Chasiotis, Hultman, & Sahlin, 1983) 。

第參章 實驗步驟與研究方法

第一節 VST 信效度試驗

以 16 名男性特優級排球選手，16 名男性、18 名女性非特優級排球選手為對象，受試者基本資料如表 3-1-1。將選手分為攻擊手、舉球員、自由球員三組進行排球技術測試 (Volleyball Skill Test)。每位選手進行兩次技術測試，探討 VST 的再現性，以及區分各等級選手的能力。

根據教育部規定，大專排球聯賽等級分為：特優級、挑戰 A 級、挑戰 B 級、挑戰 C 級與公開級等五組，特優級選手曾參加各大專院校甄審、甄試、獨立招生、轉學考試等「中等以上學校運動成績優良學生升學輔導辦法」之入學方式，經過公告正取或遞補錄取者，且近兩年球隊技術水平需維持在高中甲組之等級的運動員。

第二節 前導實驗

此實驗主要是探討 NaHCO_3 吸收的時間，以 1 男 3 女健康受測者補充 0.3 g/kg，濃度 0.15 M 的 NaHCO_3 ，採集 0、30、60、90 分鐘的血液進行分析後開始進行運動測試，運動測試為 Bruce protocol 的漸增型跑走測試，直到受試者衰竭。前導實驗流程如圖 3-2-1。

第三節 實驗設計

以 17 名男性特優級、10 名女性挑戰 A 級排球選手為研究對象，實驗採隨機單盲交叉設計，受試者接受兩種不同的飲料介入，分別為：NaHCO₃ (0.3 g/kg, bicarbonate trial) 及 NaCl (0.21 g/kg, control trial)，兩個 trial 的鈉離子攝取量相同。在測試前 60 分鐘攝取 NaHCO₃ 後，開始進行一次 VST 測試，再經過 3 分鐘的休息後，進行個人守備、連續攻擊、移位攔網和側併步的模擬比賽，每個項目需完成 20 次後，各項目間隔休息 1 分鐘。模擬比賽結束後，進行第二次的 VST 測試。兩次介入至少需間隔 7 天以上，以完全清除上次實驗所殘留之影響且恢復體能。每次實驗均由研究人員給予相同之早餐及中餐，並避免於實驗前 24 小時從事劇烈運動。實驗流程如圖 3-2-2 和 3-2-3：

(一) 受試者基本資料

以生物電阻法 (Inbody 3.0 Composition Analyzer, Biospace, Seoul, Korea) 在實驗當天測量受試者之體重與身體組成。男女受試者基本資料如表 3-2-1。

(二) 血液採集與處理

利用針筒經過 heparin 沖洗管壁後採集靜脈血液 10 ml，第一次採血點為測試前；第二次為模擬比賽後。血液樣本採取後，將 1 ml 裝入針筒中，進行血液氣體的分析。其餘裝入於含有 heparin 之真空管中，送回實驗室進行分析。

(三) 營養攝取

由研究人員提供購買內容相同之食物，男性受試者早餐為吐司 0.5 g/kg、奶油 0.1 g/kg、豆漿 5 ml/kg；女性受試者早餐為吐司 1 g/kg、奶油 0.2 g/kg、豆漿 5 ml/kg，中餐皆為 3 菜 1 主菜的便當及 600 ml 的運動飲料，並用相機記錄第一次所吃之食物，第二次則給予相同份量之食物。實驗前 60 分鐘皆攝取 0.3 g/kg，濃度為 0.15 M 的 NaHCO_3 與水混合服下。Control trial 則是攝取氯化鈉(0.21 g/kg)等於 bicarbonate trial 的等量鈉與水混合服下。受試者在實驗中不限制其飲水，唯每次飲水量及時間點需註記，第二次實驗時，受試者必須於相同時間點攝取等量的水。

第四節 運動檢測

運動測試包含基本體能檢測、排球技術測試 (VST) 與排球模擬比賽測試。並將選手依其所屬特性分成攻擊手、舉球員、自由球員三組。

一、體能檢測

於本研究前測實驗之前進行一次體能檢測，以攜帶式體能測試儀所附之感應墊與光柵 (Newtest, Powertimers 300-series,) 測試球員蹲踞跳 (squat jump, SJ)、擺臂垂直跳 (counter movement jump, CMJ) 之高度及 505 折返跑 (如圖 3-4-1)。SJ 與 CMJ 各測 3 次，505 折返跑左右腳轉身各測 2 次，並取最大值及平均值。

二、反應測試

以 10 名女性受試者為研究對象，在攝取實驗飲料前和第二次抽血後進行聽力反應及眼力反應測試

(一) 聽力

聽力測試為 1 分鐘聽力反應，利用 CATSYS 2000 System (Snekkersten, Denmark) 進行聽聲按鍵的測試。實驗器材如圖 3-4-2。

(二) 眼力

眼力測試分為兩部份，均由本校電算中心協助撰寫之電腦程式，於 IBM 相容之筆記型電腦執行：一為單手眼力反應測試 (visual vigilance)，電腦上進行測試，當螢幕上出現白點時，需立即按下電腦空白鍵，如圖 3-4-3 所示；一為四象限單手反應測試 (4-choice visual reaction time)，該程式將電腦螢幕分為四個象限，當螢幕上出現白點時，則依據象限位置，立即分別按下電腦的 Q、W、A、S 四鍵，如圖 3-4-4 所示。兩種測試皆需進行 5 分鐘，記錄平均反應時間，以及四象限單手反應測試正確率，反應測試需在安靜空間進行，以使受試者能專心進行測試。

三、排球技術測試 Volleyball Skill Test

於模擬比賽前後各進行一次測試，依據各選手的分組進行測試。攻擊手組之受試者，依據實驗者指示將球打進指定

區域；舉球員組之受試者，依據實驗者要求依序將球托向目標物；自由球員組之受試者，依據實驗者要求依序將球救起至指定高度和範圍。排球場地與各位置如圖 3-4-5。

(一) 攻擊手組

以 10 名男性、7 名女性為研究對象，實驗分為 4 號位(圖 3-4-6) 與 2 號位 (圖 3-4-7) 攻擊。攻擊手在 4 號位等待實驗者在 3 號位所拋出的球，將球扣進指定之有效區域，則記為準確率 (accuracy)，球落入界內區 (包含有效區域)，則記為成功率 (consistency)，界外區則為 0 分。攻擊手退回 4 號位之後，等待 15 秒再進行下一球攻擊，連續 8 球後休息 15 秒。休息期間換至 2 號位等待並進行連續 8 球休息 15 秒，再重覆一次 4 號與 2 號位攻擊，共 32 球。

$$\text{Accuracy score} = (\text{accuracy 次數})/32 \times 100\%$$

$$\text{Consistency score} = (\text{Consistency 次數})/32 \times 100\%$$

(二) 舉球員組

以 4 名男性、1 名女性為研究對象，舉球員於網前等待拋球者將球往路線 1 方向拋球，舉球員移位至球的落點處在球落地前將球舉向路線 3 之方向後，再回到等待區摸網。當舉球員觸碰網後，拋球者即可將球往路線 2 方向拋，舉球員移位至球的落點處於球落地前將球舉向路線 4 之方向再回等待區摸網。連續舉 10 球交叉各 5 球後，休息 15 秒，舉球 3 輪共 30 球。當球碰觸目標物之球框或進入球框，則記為準確率 (accuracy)；當球碰觸球框下方 1 公尺球柱，則記為成功率 (consistency)；其餘則為 0 分。目標物為內徑 44 公分，柱高

3.5 公尺的合球球柱。舉球組場地規劃如圖 3-4-8 所示。拋球者距離底線為 1.5 公尺，球柱置於球場端線及中線的夾角處，舉球位置距離端線 2.5 公尺、3 公尺攻擊線 1 公尺。

$$\text{Accuracy score} = (\text{accuracy 次數})/30 \times 100\%$$

$$\text{Consistency score} = (\text{consistency 次數})/30 \times 100\%$$

(三) 自由球員組

以 2 名男生、2 名女性為研究對象，受試者先於底線等待，自由球員朝路線 1 方向進行救球，當其通過 2 公尺處，拋球者將球離手，自由球員需將球救起高於網子下端之白帶且需在紅色區域內方為有效。將球救起之後再回底線，並朝路線 2 之方向進行救球，相同地通過 2 公尺處，拋球者將球離手，自由球員則將球救起。如此動作連續重覆 6 次為一輪，進行 3 輪共 18 球。將球救起高於網子下端之白帶且於紅色域內，則記為準確率 (accuracy)，救起高度未高於網子亦或未在紅色區域內，則記為成功率 (consistency)；其餘則為 0 分。自由球員場地規劃如圖 3-4-9 所示。拋球者距離端線 2 公尺，受試者於底線後方等待，落球點距離端線 1.5 公尺、3 公尺攻擊線 1 公尺。

$$\text{Accuracy score} = (\text{accuracy 次數})/18 \times 100\%$$

$$\text{Consistency score} = (\text{consistency 次數})/18 \times 100\%$$

四、攔網測試

以 6 名女性為研究對象，將 Newtest 測試儀 (圖 3-4-10)

準備妥善後置於球網前，並進行 10 次最大攔網測試，利用 Newtest 測試儀測量受試者跳躍之高度。

五、模擬比賽

(一) 個人防守

防守範圍侷限於單邊場內（9 公尺 × 9 公尺），受試者需碰到拋球者所打出的球，需碰到 20 球，每球間不休息，如圖 3-4-11 所示。拋球者站在中間網前 1 公尺處，防守者在中間 6 公尺處。

(二) 連續攻擊

由拋球者拋 4 號位攻擊球，一人連續攻擊 20 顆，若將球擊到界外區或是未擊入界內區則為攻擊失敗。攻擊失敗該球則不算，如圖 3-4-12 所示。

(三) 移位攔網

於網前進行左右跨步移位攔網的動作連續 20 次。每步距離約為受試者肩膀之寬度，如圖 3-4-13 所示。

(四) 側併步

在球場中線和 3 公尺線（前排區域）進行左右側併步的動作連續 20 次。如圖 3-4-14 所示。

整個模擬比賽過程約 15-20 分鐘。

六、實驗監控

實驗全程以數位相機 (Canon IXUS 870 IS) 錄影拍攝，協助分析 VST 之得分，以溫度計和濕度計記錄天氣狀況，並詢問 RPE 量表。

第五節 生化分析

以自動分析儀分析乳酸 (Hitachi 7020, Ibaraki, Japan)，以血液氣體分析儀 (Osmetech OPTI4, Emergo, Europe) 分析 pH 值、氧分壓 (pO_2)、二氧化碳分壓 (pCO_2)、血紅素 (Hemoglobin)、血液鹼溢 (base excess of blood, BEB)、鉀離子 (K^+)、細胞外液血液鹼基值 (BEecf)、重碳酸根 (HCO_3^-)。

血液鹼溢是在體溫為 $37^\circ C$ ， PCO_2 為 40 mmHg 時，滴定一公升的血液，使其酸鹼值達 7.40 所需的強酸或強鹼之毫莫耳數。公式計算如下：

$$BEB = \{pH - [7.40 - (PCO_2 - 40) \div 200]\} \times 100$$

休息時 BEB 正常值為 $-2.3 \sim 2.3$ mmol/L。

第六節 資料處理

攝取 NaHCO_3 或 NaCl 後，所測得模擬比賽前後，生化、生理及表現的參數，利用重複量數 two-way ANOVA 進行分析，以 SPSS for Windows 15.0 版分析，p 值小於 0.05 達統計顯著水準，數據皆以平均數±標準差呈現。改變百分比（% change）計算方式如下，並利用相依樣本 T 檢定進行分析。

$$\% \text{ change} = (\text{賽後} - \text{賽前}) \times 100 / \text{賽前}$$

第肆章 結果

第一節 VST 信效度實驗

本研究對象包括特優級男子選手共 16 名，挑戰 A 級男性選手 16 名，挑戰 A 級女性選手 12 名，公開級女性選手 6 名。各級選手 VST 準確率前後測如圖 4-1-1。各級 VST 準確率前後測之比較如表 4-1-1。特優級男子選手第二次測試顯著高於挑戰 A 級男子選手第二次測試 ($p=0.042$)，挑戰 A 級女子選手第一次測試有顯著高於公開級女子選手第一次測試的趨勢 ($p=0.055$)。男子選手 VST 準確性如圖 4-1-2，女子非特優級選手如圖 4-1-3，所有受試者第一次 VST 準確性為 0.14 ± 0.09 ，第二次為 0.16 ± 0.10 ，相關係數 $r=0.62$ (如圖 4-1-4)，皆達顯著相關，卻無顯著差異。依級別分類特優級、挑戰 A 級選手 VST 準確性前後測試皆無明顯差異，公開級選手 VST 準確性前後測試達顯著差異 ($p=0.028$)。

第二節 前導實驗

4 名受試者平均年齡 23 歲，身高平均 166.5 公分；體重平均 64.1 公斤；pH 值如圖 4-2-1 所示。BEB 濃度如圖 4-2-2 所示。 HCO_3^- 濃度如圖 4-2-3 所示。由此前導實驗顯示，BEB 濃度、 HCO_3^- 濃度，在攝取後 30 分鐘開始上升，在 60 分鐘為最高點，持續至 90 分鐘，故 NaHCO_3 在攝取 30-60 分鐘後可被有效吸收。因此設定本研究的 protocol 是在運動前 60 分鐘開始進行補充 NaHCO_3 。

第三節 實驗監控

男性受試者於實驗中的天氣溫度、溼度如表 4-3-1，control trial 氣溫最平均為 $33.0 \pm 2.4^{\circ}\text{C}$ (range 27-38 $^{\circ}\text{C}$)，bicarbonate trial 最低 27 $^{\circ}\text{C}$ ；最高 38 $^{\circ}\text{C}$ ；平均為 $33.0 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ ，兩組間氣溫並無顯著差異。濕度 control trial 最低 27%；最高 55%；平均為 $42 \pm 9.5\%$ 。Bicarbonate trial 最低 27%；最高 60%；平均為 $43.0 \pm 10.3\%$ ，兩組間濕度無顯著差異。運動自覺量表如表 4-3-2，control trial 前測最低 6；最高 11；平均為 8.0 ± 1.7 ，後測最低 14；最高 20；平均為 17.0 ± 1.5 。Bicarbonate trial 前測最低 6，最高 11，平均為 8 ± 1.8 ，後測最低 14，最高 20，平均為 17.0 ± 1.9 ，兩組間運動自覺量表表達時間效應 ($p < 0.001$)，兩組 Pre-match 皆顯著低於 Post-match (control trial: 7.88 ± 1.80 vs. 17.12 ± 1.54 ；bicarbonate trial: 8.41 ± 1.81 vs. 16.77 ± 1.99)。女性受試者於實驗中的天氣溫度、溼度如表 4-3-3，control trial 氣溫最平均為 $25.2 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$ (range 22-30 $^{\circ}\text{C}$)，bicarbonate trial 最低 25 $^{\circ}\text{C}$ ；最高 30 $^{\circ}\text{C}$ ；平均為 $26.7 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ，兩組間氣溫並無顯著差異。濕度 control trial 最低 40%；最高 83%；平均為 $49.9 \pm 12.3\%$ 。Bicarbonate trial 最低 41%；最高 83%；平均為 $53.2 \pm 11.4\%$ ，兩組間濕度無顯著差異。運動自覺量表如表 4-3-4，control trial 前測最低 7；最高 11；平均為 9.3 ± 1.1 ，後測最低 9；最高 18；平均為 15.1 ± 2.6 。Bicarbonate trial 前測最低 6，最高 11，平均為 9.4 ± 1.9 ，後測最低 11，最高 19，平均為 16.1 ± 2.4 ，兩組間運動自覺量表表達時間效應 ($p < 0.001$)，兩組 Pre-match 皆顯著低於 Post-match (control trial: 9.30 ± 1.16 vs. 15.10 ± 2.64 ；bicarbonate trial: $9.40 \pm$

1.95 vs. 16.10 \pm 2.42)。

第四節 運動能力

男性受試者 control trial 前後和攝取 NaHCO₃ 前後時間對於排球表現測試，將球扣入指定區、托向目標區、救起在範圍內的 VST 準確率 1 及 VST 準確率 2 的變化如附錄 3。攻擊手將球扣入界內區（包含指定區）；舉球員將球托向目標區（觸碰球柱）；自由球員將球救起高於網子下緣（包含未在指定範圍內及將球救在指定範圍內）VST 成功率 1 及 VST 成功率 2 的變化如附錄 4。VST 準確率 pre-match 顯著高於 post-match ($p=0.048$ ，如圖 4-4-1)，VST 成功率 pre-match 與 post-match 無顯著差異（如圖 4-4-2）。女性受試者的 control trial 前後和攝取 NaHCO₃ 前後時間對於排球表現測試，將球扣入指定區、托向目標區、救起在範圍內的 VST 準確率 1 及 VST 準確率 2 的變化如附錄 5。攻擊手將球扣入界內區（包含指定區）；舉球員將球托向目標區（觸碰球柱）；自由球員將球救起高於網子下緣（包含未在指定範圍內及將球救在指定範圍內）VST 成功率 1 及 VST 成功率 2 的變化如附錄 6。VST 準確率 pre-match 與 post-match 無顯著差異（如圖 4-4-3），VST 成功率 pre-match 顯著高於 post-match ($p=0.003$ ，如圖 4-4-4)。

第五節 反應測試

（一）聽力反應

女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的聽力反應測試如圖 4-5-1，組別與時間及組別 \times 時間交互作

用皆無顯著差異。Control trial 與 bicarbonate trial 兩組 pre-match 及 post-match 之間亦無顯著的差異。

(二) 眼力反應

女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的單手眼力反應測試如圖 4-5-2，組別與時間及組別×時間交互作用皆無顯著差異。Control trial 與 bicarbonate trial 兩組 pre-match 及 post-match 之間亦無顯著的差異。Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的四象限眼力反應測試如圖 4-5-3，組別與時間及組別×時間交互作用皆無顯著差異 ($p=0.052$)。Control trial 的 pre-match 及 post-match 之間無顯著的差異，而 bicarbonate trial 的 pre-match 顯著高於 post-match ($p=0.007$)。

第六節 攔網測試

女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的攔網高度如表 4-6-1 及圖 4-6-1，組別與時間無顯著差異，組別×時間交互作用呈顯著效應 ($p=0.713$)。Control trial 與 bicarbonate trial 兩組 pre-match 及 post-match 之間並無顯著的差異。

第七節 生化分析

(一) pH 值變化

男性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 pH 值變化如圖 4-7-1，組別、時間皆呈現顯著差異 ($p<0.001$)。Control trial 的 pH 值 Pre-match (7.39 ± 0.03)

與 Post-match (7.21 ± 0.05) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (7.44 ± 0.02) 亦顯著高於 Post-match (7.28 ± 0.03)。女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 pH 值變化如圖 4-7-2，組別、時間皆呈現顯著差異 ($p < 0.001$)。Control trial 的 pH 值 Pre-match (7.34 ± 0.03) 與 Post-match (7.16 ± 0.04) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (7.44 ± 0.08) 亦顯著高於 Post-match (7.25 ± 0.08)

(二) BEB 濃度變化

男性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 BEB 濃度變化如圖 4-7-3，組別、時間皆達顯著差異 ($p < 0.001$)。Control trial 的 BEB 濃度 Pre-match (4.01 ± 1.29 mM) 與 Post-match (-11.31 ± 2.74 mM) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (8.48 ± 2.41 mM) 顯著高於 Post-match (-7.77 ± 3.13 mM)。女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 BEB 濃度變化如圖 4-7-4，組別、時間皆達顯著差異 ($p < 0.001$)。Control trial 的 BEB 濃度 Pre-match (2.85 ± 0.81 mM) 與 Post-match (-11.65 ± 2.37 mM) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (9.47 ± 3.71 mM) 顯著高於 Post-match (-6.79 ± 2.89 mM)。

(三) HCO_3^- 濃度變化

男性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 HCO_3^- 濃度變化如圖 4-7-5，組別、時間達顯著差異 ($p < 0.001$)。Control trial 的 HCO_3^- 濃度 Pre-match (30.64 ± 2.55 mM) 與 Post-match (15.86 ± 2.66 mM) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (33.92 ± 2.60 mM) 顯著高於 Post-match (18.44 ± 3.48 mM)。女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 HCO_3^- 濃度變化如圖 4-7-6，組別、時間達顯著差異 ($p < 0.001$)。Control trial 的 HCO_3^- 濃度 Pre-match (29.56 ± 1.70 mM) 與 Post-match (16.72 ± 2.25 mM) 有顯著差異 ($p < 0.001$)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p < 0.001$)，Pre-match (35.55 ± 3.68 mM) 顯著高於 Post-match (20.33 ± 2.51 mM)。

(四) K^+ 值變化

男性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 K^+ 值變化如圖 4-7-7，組別未達顯著效應，時間則呈現顯著效應 ($p = 0.011$)。Control trial 的 K^+ 濃度 Pre-match (3.82 ± 0.26 mM) 與 Post-match (3.66 ± 0.36 mM) 未達到顯著差異。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p = 0.031$)，Pre-match (3.70 ± 0.20 mM) 顯著高於 Post-match (3.51 ± 0.34 mM)。女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 K^+ 值變化如圖 4-7-8，組別未達顯著效應，時間則呈現顯著效應 ($p < 0.001$)。Control trial 之間 K^+ 濃度有顯著差異 ($p = 0.011$)，Pre-match (3.96 ± 0.42 mM) 顯著高於 Post-match

(3.46 ± 0.36 mM)。Bicarbonate trial 之間有顯著差異 ($p=0.001$)，Pre-match (3.79 ± 0.32 mM) 亦顯著高於 Post-match (3.27 ± 0.23 mM)。

(五) Lactate 值變化

男性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 lactate 值變化如圖 4-7-9，組別與時間及組別×時間交互作用並達顯著效應 ($p=0.005$, $p<0.001$, $p=0.007$)。Control trial 的 lactate 濃度 Post-match (17.63 ± 3.07 mM) 顯著高於 Pre-match (3.25 ± 0.79 mM)，兩者有顯著的差異 ($p<0.001$)。Bicarbonate trial 之間亦有顯著的差異 ($p<0.001$)，Post-match (20.60 ± 2.51 mM) 顯著高於 Pre-match (3.68 ± 0.67 mM)。女性受試者 Control trial 與 bicarbonate trial 前後測時間的 lactate 值變化如圖 4-7-10，組別與時間及組別×時間交互作用並達顯著效應 ($p=0.008$, $p<0.001$, $p=0.002$)。Control trial 的 lactate 濃度 Post-match (14.55 ± 2.48 mM) 顯著高於 Pre-match (2.71 ± 1.08 mM)，兩者有顯著的差異 ($p<0.001$)。Bicarbonate trial 之間亦有顯著的差異 ($p<0.001$)，Post-match (17.42 ± 2.85 mM) 顯著高於 Pre-match (3.17 ± 1.45 mM)。

(六) 改變百分比變化

將所有生化分析項目的 control trail 與 bicarbonate trial 進行改變百分比之計算和統計分析後，男性受試者 pH 濃度改變百分比變化如圖 4-7-11；BEB 濃度改變百分比變化如圖 4-7-12； HCO_3^- 濃度改變百分比如圖 4-7-13； K^+ 濃度改變百分

比如圖 4-7-14；Lactate 濃度改變百分比如圖 4-7-15；VST 準確率改變百分比如圖 4-7-16；VST 成功率改變百分比如圖 4-7-17。BEB 濃度兩次 trial 間的改變百分比 control trial 顯著低於 bicarbonate trial (control trial: $-139.78 \pm 23.47\%$ vs. bicarbonate trial: $-263.61 \pm 184.66\%$, $p=0.009$)。其餘數濃度兩組間的改變百分比並無顯著性的差異。女性受試者 pH 濃度改變百分比變化如圖 4-7-18；BEB 濃度改變百分比變化如圖 4-7-19； HCO_3^- 濃度改變百分比如圖 4-7-20； K^+ 濃度改變百分比如圖 4-7-21；Lactate 濃度改變百分比如圖 4-7-22；VST 準確率改變百分比如圖 4-7-23；VST 成功率改變百分比如圖 4-7-24。BEB 濃度兩次 trial 間的改變百分比 control trial 顯著低於 bicarbonate trial (control trial: $-580.32 \pm 316.83\%$ vs. bicarbonate trial: $-224.31 \pm 75.69\%$, $p=0.008$)。其餘數濃度兩組間的改變百分比並無顯著性的差異。

第五章 討論

由於排球技術相關測試並不多，本研究設計的 Volleyball Skill Test 能有效鑑別出兩次測試間的相關性，及各等級之間技術高低的差異。運動前 60 分鐘補充 NaHCO₃ 可增加血液緩衝能力，但對模擬比賽後 VST 無顯著影響。

目前有關 NaHCO₃ 之補充的研究，大多強調體能方面的能力，並非技術性的表現。然而，技術性的表現對於球類運動的成功率而言是相當重要的。本研究旨在研究補充 NaHCO₃ 於模擬比賽後，對於排球技術能力的影響。

研究顯示攝取 NaHCO₃ 在各種不同運動種類的結果大都有效，Artioli 等 (2007) 分別以 9 名和 14 名柔道選手進行 3 回合的柔道專項測試及 4 回合的手搖車測試，NaHCO₃ 組攝取後，專項測試的第二、三回合及總摔擲數與手搖車測試的第三、四回合的平均功率皆明顯高於控制組。而 Bird 等 (1995) 以 10 名男性中長距離選手進行 6 次 1500 公尺跑步，發現 NaHCO₃ 組的時間皆顯著比控制組及安慰劑組快。

但也有研究顯示，雖然可以增加血液緩衝能力，但對運動表現並無顯著影響。Webster 等 (1993) 探討 6 名男性進行 4 次 12 重複的 leg press 測試，發現雖然兩組間的平均值是無顯著差異，但 NaHCO₃ 組有 4 位在第 5 次運動表現中成績是優於控制組。而 Portington 等 (1998) 也以 15 名男性同樣進行 5 次 12 重複的 leg press 測試，發現 NaHCO₃ 組的 pH 值、HCO₃⁻ 濃度、BEB 濃度、乳酸濃度皆顯著高於安慰劑組，但運動表現卻無顯著差異。Stephens 等 (2002) 利用 6 名男性運動員進行腳踏車運動測試，雖然兩組血液生化值呈現顯

著差異，但是運動表現方面的平均輸出功率卻沒有顯著的影響（ NaHCO_3 組： $274 \pm 13 \text{ W}$ ；控制組： $274 \pm 16 \text{ W}$ ）。此外，Bishop 等（2004）探討 6 名女性運動員進行 5×6 秒的腳踏車測試， NaHCO_3 組的 pH 值、 HCO_3 濃度、乳酸濃度皆與控制組無顯著差異，但 NaHCO_3 組的總作功顯著高於控制組（ 16.5 ± 3.1 vs. $15.7 \pm 3.0 \text{ KJ}$ ）、 NaHCO_3 組第三、四、五次衝刺的作功和功率輸出也是顯著高於控制組。學者以 16 名女性運動員分別進行間歇型運動及腳踏車疲勞時間測試，結果發現肌肉緩衝能力和攝氧量峰值在訓練期之後是有改善，但兩組之間是沒有差異的；而乳酸閾值及疲勞時間 NaHCO_3 組較控制組有較佳的改善(Bishop et al., 2004)。

本研究顯示攝取 NaHCO_3 會改變運動後血液中 pH 值、 HCO_3 濃度、BEB 濃度與乳酸皆有顯著高於控制組的趨勢。兩組在運動後血液中 pH 值、 HCO_3 濃度、BEB 濃度皆顯著低於運動之前，而乳酸則是顯著高於運動之前。因此推測在運動前攝取 NaHCO_3 ，能夠增加肌肉的緩衝能力。

學者以 10 名健康受試者（7 名男性、3 名女性）為研究對象，攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO_3 或 CaCO_3 溶於 400 mL 的純水中之後，在 180 分鐘內，每隔 30 分鐘採血進行分析。結果顯示在第 30、60、90、120 分鐘 NaHCO_3 組氫離子濃度顯著低於 CaCO_3 組，代表運動前 30 分鐘攝取 NaHCO_3 能有效增加肌肉的緩衝能力(Renfree, 2007)。而 Siegler 等（2009）更明確指出在運動前 60 分鐘攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO_3 是最佳的時間。

由於 NaHCO_3 口感不佳，在前導實驗測試前，嘗試將 NaHCO_3 與不同口味的果凍粉結合製成凝膠狀，並進行 Bruce

protocol 的運動測試直到衰竭。雖然將果凍粉與 NaHCO_3 結合能使受試者有較佳的口感，但或許是因為 NaHCO_3 溶於水與果凍粉產生細微的反應或於凝結過程中， HCO_3^- 分解成 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 而喪失作用，使運動前後血液中 pH 值、 HCO_3^- 濃度、BEB 濃度並沒有顯著的差異。因此本研究 NaHCO_3 溶液是 0.3 g/kg 的 NaHCO_3 粉末溶於水中，並維持 0.15 M 的濃度。

第陸章 結論與建議

第一節 結論

本研究以特優級男女性排球選手為研究對象，於測試前攝取 0.3 g/kg 的 NaHCO₃，經過 VST 專項技術測試、模擬比賽，結果發現：

- 一、補充 NaHCO₃ 可增加血液緩衝能力。
- 二、賽前 60 分鐘補充 NaHCO₃，於排球模擬比賽後並無法維持排球技術之能力。
- 三、賽前 60 分鐘補充 NaHCO₃，於排球模擬比賽後並不能維持攔網之高度。
- 四、賽前 60 分鐘補充 NaHCO₃，在排球模擬比賽後無法增進聽力反應及單手眼力反應之測試，但卻能增進單手四象限眼力反應之測試。

第二節 建議

- 一、由於施測地點於室外排球場進行，天候、視線等環境因素影響甚大，可能是導致結果不如預期之因。
- 二、雖然 VST 專項技術測試拋球者，固定由 1 位拋球者進行拋擲，但人為影響受試者測試因素較大，也可能導致結果不如預期，未來可以嘗試設計使用拋球機或其他方式以減少人為所造成的影響。
- 三、排球專項技術測試相關文獻較少，本研究 VST 專項技術測試在舉球員測試部份，可以將目標區範圍再增大，以提高受試者的準確率。實驗中所測試失敗

的球，在排球比賽中多數仍為好球，可以讓攻擊手進行攻擊，因此在未來可嘗試設計較大範圍的目標物。在自由球員方面，可以嘗試使用拋球機，或將球置於固定高度，當受試者通過 2 公尺線處，再放球以減少更多的人為因素。

- 四、在攝取 NaHCO_3 部份，可以嘗試使用膠囊之方式，以減少受試者容易分辨出當次 trial 所攝取的是安慰劑或是 NaHCO_3 ，更能減少受試者因口感不佳而無法在限定時間內將實驗飲料補充完畢。
- 五、眼力反應測試部份，測試時間稍嫌過長，容易使受試者專注力下降，為使數據更加準確，建議可以減短眼力反應測試之時間。

參考文獻

一、 中文部份

楊佳政 (2008)。優秀大學網球選手補充 NaHCO_3 對模擬比賽後技術表現之影響。未出版碩士論文，國立臺灣體育大學，臺中市。

二、 外文部份

- Applegate, E. (1999). Effective nutritional ergogenic aids. *International Journal of Sport Nutrition*, 9(2), 229-239.
- Artioli, G. G., Gualano, B., Coelho, D. F., Benatti, F. B., Gailey, A. W., & Lancha, A. H., Jr. (2007). Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(2), 206-217.
- Bird, S. R., Wiles, J., & Robbins, J. (1995). The effect of sodium bicarbonate ingestion on 1500-m racing time. *Journal of Sports Sciences*, 13(5), 399-403.
- Bishop, D., Edge, J., Davis, C., & Goodman, C. (2004). Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 807-813.
- Chamari, K., Ahmaidi, S., Blum, J. Y., Hue, O., Temfemo, A., Hertogh, C., et al. (2001). Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 191-194.

- Chasiotis, D., Hultman, E., & Sahlin, K. (1983). Acidotic depression of cyclic AMP accumulation and phosphorylase b to a transformation in skeletal muscle of man. *J Physiol*, 335, 197-204.
- Dobson, G. P., Yamamoto, E., & Hochachka, P. W. (1986). Phosphofructokinase control in muscle: nature and reversal of pH-dependent ATP inhibition. *American Journal of Physiology*, 250(1 Pt 2), R71-76.
- Douroudos, II, Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Jamurtas, A. Z., Tsitsios, T., Hatzinikolaou, A., et al. (2006). Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(10), 1746-1753.
- Edge, J., Bishop, D., & Goodman, C. (2006). Effects of chronic NaHCO₃ ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 101(3), 918-925.
- Hertogh, C., Chamari, K., Damiani, M., Martin, R., Hachana, Y., Blonc, S., et al. (2005). Effects of adding a preceding run-up on performance, blood lactate concentration and heart rate during maximal intermittent vertical jumping. *Journal of Sports Sciences*, 23(9), 937-942.
- Inbar, O., Rotstein, A., Jacobs, I., Kaiser, P., & Dlin, R. (1983). The effects of alkalosis treatment on short-term

- maximal exercise. *Journal of Sports Science*, 1, 95-104.
- Lavender, G., & Bird, S. R. (1989). Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints. *British Journal of Sports Medicine*, 23(1), 41-45.
- McNaughton. (1992a). Bicarbonate ingestion: effects of dosage on 60 s cycle ergometry. *Journal of Sports Sciences*, 10(5), 415-423.
- McNaughton. (1992b). Sodium bicarbonate ingestion and its effects on anaerobic exercise of various durations. *Journal of Sports Sciences*, 10(5), 425-435.
- McNaughton, Dalton, B., & Palmer, G. (1999). Sodium bicarbonate can be used as an ergogenic aid in high-intensity, competitive cycle ergometry of 1 h duration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(1), 64-69.
- McNaughton, L., & Thompson, D. (2001). Acute versus chronic sodium bicarbonate ingestion and anaerobic work and power output. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(4), 456-462.
- Moriguchi, T., Shimomitsu, T., Odagiri, Y., Fukuda, J., Hamano, K., Kawai, T., et al. (2002). Marked increase in urinary bicarbonate and pH caused by heavy muscular exercise with dynamic knee extension. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 198(1), 31-39.
- Pereira, G., Almeida, A. G., Rodacki, A. L., Ugrinowitsch, C., Fowler, N. E., & Kokubun, E. (2008). The influence of

- resting period length on jumping performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1259-1264.
- Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., et al. (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 276(2 Pt 1), E255-261.
- 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.
- Pruscino, C. L., Ross, M. L., Gregory, J. R., Savage, B., & Flanagan, T. R. (2008). Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(2), 116-130.
- Renfree, A. (2007). The time course for changes in plasma [h⁺] after sodium bicarbonate ingestion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 323-326.
- 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.

- Siegler, J. C., & Hirscher, K. (2010). Sodium bicarbonate ingestion and boxing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 103-108.
- Siegler, J. C., Midgley, A. W., Polman, R. C., & Lever, R. (2009). Effects of Various Sodium Bicarbonate Loading Protocols on the Time-Dependent Extracellular Buffering Profile. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Smith, J. C., & Hill, D. W. (1991). Contribution of energy systems during a Wingate power test. *British Journal of Sports Medicine*, 25(4), 196-199.
- 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), 614-621.
- Tiryaki, G. R., & Atterbom, H. A. (1995). The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on 600 m 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.
- Wilkes, D., Gledhill, N., & Smyth, R. (1983). Effect of acute

induced metabolic alkalosis on 800-m racing time.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 15(4),
277-280.

附錄一、男性受試者同意書

受試者須知及同意書

研究名稱	排球比賽前攝取不同飲料後對技術表現之影響		
指導教授	張振崗	單位/ 電話	國立台灣體育大學 運動科學中心 04-22213108#2211
研究生	盧冠邑	手機	0919-847787
研究目的	本研究目的是在於探討 NaHCO ₃ 對排球技術表現的影響，對於提升排球運動表現非常重要		
實驗流程	共進行 2 次檢測。每次檢測實驗前一天晚上 10 點過後禁食，在測試當天需空腹到達實驗室。早餐及中餐由本實驗室提供，早餐為土司每公斤體重 0.5 克；果醬每公斤體重 0.1 克；豆漿每公斤體重 5 毫升。中餐為 3 菜 1 主菜之自助餐便當並飲用 600 毫升之運動飲料。實驗測試前 1 小時服用本實驗室所提供之飲料。服用完後休息 60 分鐘並採集血液後，進行第一次技術測試，結束後休息 3 分鐘則開始進行模擬比賽。模擬比賽結束後採集血液並休息 3 分鐘後，進行第二次技術測試。		
實驗限制	在參與本研究期間， <u>不可抽菸、喝酒及含碳酸之氣泡飲料（如可樂、汽水等）</u> ，並盡量維持固定的生活作息、飲食、與運動訓練。並接受 2 次檢測，每次檢測包括抽血與運動測試。		
實驗需知	在測試開始前，由合格醫護人員自手肘靜脈處採集血液。每次測試會採集 2 次血液，2 次檢測共 4 次。每次約採集 10 毫升血液進行分析。針頭插入時可能會感覺稍微的疼痛，可能會感覺稍微不舒服。2 次檢測所服用之飲料分別含有每公斤體重 0.3 公克的 NaHCO ₃ ，或每公斤體重 0.21 公克的食鹽，會有鹹味，且可能會造成腸胃不適或腹瀉的情況。 <u>運動測試將會讓我感覺疲勞。</u>		
體能測試	本實驗體能測試部份包含靜態垂直跳、擺臂垂直跳及折返跑 3 部份。靜態垂直跳和擺臂垂直跳分別進行 3 次測試，折返跑則進行 4 次測試。 <u>這部份的測試將使我感覺疲勞。</u>		
技術測試	技術測試共含 3 部份。攻擊手包含主攻手與快攻手兩種職司，2 人為一組，由實驗者拋球給受試者進行定點扣球，每球間隔休息 15 秒，1 人共扣 32 球。 <u>實驗者拋出的球，受試者覺得不滿意，請務必不要進行攻擊動作</u> ，以減少實驗所產生之人為因素。舉球員於等待區等待實驗者將球拋出後，利用托球動作將球托向指定之目標區，每球間隔休息 10 秒，1 人共 30 球。自由球員於底線分別向兩邊前區衝刺，當受試者通過 2 公尺處，實驗者將球拋出讓受試者進行救球動作。每球間隔休息 15 秒，1 人共 18 球。 <u>這部份的測試將使我感覺疲勞。</u>		
模擬比賽	模擬比賽分為 4 部份。2 人一組分別進行個人防守、連續攻擊、移位攔網和側併步。個人防守 1 人守備 20 球；1 人連續攻擊 20 球；移位攔網 1 人 20 次；側併步 1 人 20 次。每部份結束後休息 60 秒則進行下一階段。 <u>這部份的測試將使我感覺非常疲勞。</u>		
<p>研究人員已經向我充分說明，我瞭解研究執行機構將維護受試者在試驗過程中應得之權益，<u>在試驗過程中無須提出任何理由可隨時撤回同意</u>，退出試驗，且不會引起任何不愉快，不會遭受處罰或損失應得之利益，或影響在本校的任何成績與權益，而且檢查結果將絕對保密。一個研究的號碼會取代姓名，試驗所得資料可能發表於學術性雜誌，但姓名不會公佈，隱私絕對保密，血液檢體也絕對不外流，除了有關機構依法調查外，研究人員將會盡力維護隱私且參加本試驗皆不須繳交任何額外費用。</p>			

本人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，我已了解且同意參與此項研究計畫，自願擔任受試者，並同意本計畫研究人員使用我的血液檢體進行分析。如果我以後有問題，我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。

受試者 姓名		出生 年月日		性 別	
手機		通訊 地址			
身高		球齡		職司	
email		簽名 日期			

附錄二、女性受試者同意書

受試者須知及同意書

研究名稱	排球比賽前攝取不同飲料後對技術表現之影響		
指導教授	張振崗	單位/ 電話	國立台灣體育大學 運動科學中心 04-22213108#2211
研究生	盧冠邑	手機	0919-847787
研究目的	本研究目的是在於探討 NaHCO ₃ 對排球技術表現的影響，對於提升排球運動表現非常重要		
實驗流程	共進行 2 次檢測。每次檢測實驗前一天晚上 10 點過後禁食，在測試當天需空腹到達實驗室。早餐及中餐由本實驗室提供，早餐為土司每公斤體重 1.0 克；果醬每公斤體重 0.2 克；豆漿每公斤體重 5 毫升。中餐為 3 菜 1 主菜之自助餐便當並飲用 600 毫升之運動飲料。休息 1 小時後採集第一次血液，採集後服用本實驗室所提供之飲料。服用後進行第一次反應測試，結束後進行第一次技術測試。測試結束後休息 3 分鐘後進行第一次攔網 2 分鐘測試。攔網測試結束後 3 分鐘則開始進行模擬比賽。模擬比賽結束後採集血液並休息 3 分鐘後，進行第二次的反應測試、技術測試及攔網測試。		
實驗限制	在參與本研究期間， <u>不可抽菸、喝酒及含碳酸之氣泡飲料（如可樂、汽水等）</u> ，並盡量維持固定的生活作息、飲食、與運動訓練。並接受 2 次檢測，每次檢測包括抽血與運動測試。		
實驗需知	在測試開始前，由合格醫護人員自手肘靜脈處採集血液。每次測試會採集 2 次血液，2 次檢測共 4 次。每次約採集 10 毫升血液進行分析。針頭插入時可能會感覺稍微的疼痛，可能會感覺稍微不舒服。2 次檢測所服用之飲料分別含有每公斤體重 0.3 公克的 NaHCO ₃ ，或每公斤體重 0.21 公克的食鹽，會有鹹味，且可能會造成腸胃不適或腹瀉的情況。 <u>運動測試將會讓我感覺疲勞。</u>		
體能測試	本實驗體能測試部份包含靜態垂直跳、擺臂垂直跳及折返跑 3 部份。靜態垂直跳和擺臂垂直跳分別進行 3 次測試，折返跑則進行 4 次測試。 <u>這部份的測試將使我感覺疲勞。</u>		
技術測試	技術測試共含 3 部份。攻擊手包含主攻手與快攻手兩種職司，2 人為一組，由實驗者拋球給受試者進行定點扣球，每球間隔休息 15 秒，1 人共扣 32 球。 <u>實驗者拋出的球，受試者覺得不滿意，請務必不要進行攻擊動作</u> ，以減少實驗所產生之人為因素。舉球員於等待區等待實驗者將球拋出後，利用托球動作將球托向指定之目標區，每球間隔休息 10 秒，1 人共 30 球。自由球員於底線分別向兩邊前區衝刺，當受試者通過 2 公尺處，實驗者將球拋出讓受試者進行救球動作。每球間隔休息 15 秒，1 人共 18 球。 <u>這部份的測試將使我感覺疲勞。</u>		
攔網測試	在 2 分鐘內進行原地攔網之動作，每次攔網需全力跳躍。每次間隔休息 10 秒。 <u>這部份的測試將使我感覺非常疲勞。</u>		
反應測試	反應測試分為 2 部份。在安靜的空間進行聽力、視力的反應測試。此測試時間每項需 1 分鐘。		
模擬比賽	模擬比賽分為 4 部份。2 人一組分別進行個人防守、連續攻擊、移位攔網和側併步。個人防守 1 人守備 20 球；1 人連續攻擊 20 球；移位攔網 1 人 20 次；側併步 1 人 20 次。每部份結束後休息 60 秒則進行下一階段。 <u>這部份的測試將使我感覺非常疲勞。</u>		
研究人員已經向我充分說明，我瞭解研究執行機構將維護受試者在試驗過程中應得之權益， <u>在試驗過程中無須提出任何理由可隨時撤回同意</u> ，退出試驗，且不會引起任何不愉快，不會遭受處罰或損失應得之利益，或影響在本校的任何成績與權益，而且檢查結果將絕對保密。一個研究的號碼會取代姓名，試驗所得資料可能發表於學術性雜誌，但姓名不會公佈，隱私絕對保密，血液檢體也絕對			

不外流，除了有關機構依法調查外，研究人員將會盡力維護隱私且參加本試驗皆不須繳交任何額外費用。

本人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，我已了解且同意參與此項研究計畫，自願擔任受試者，並同意本計畫研究人員使用我的血液檢體進行分析。如果我以後有問題，我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。

受試者 姓名		出生 年月日		性別	
手機		通訊 地址			
身高		球齡		職司	
email			日期		

附錄三、男性受試者 VST 測試準確率

NO.	control		bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
1	21.875	25.000	15.625	21.875
2	31.250	12.500	34.375	25.000
3	25.000	34.375	21.875	15.625
4	25.000	25.000	12.500	28.125
5	6.250	12.500	6.250	15.625
6	9.375	9.375	25.000	12.500
7	40.625	18.750	40.625	28.125
8	21.875	12.500	31.250	18.750
9	37.500	1.875	21.875	31.250
10	6.250	9.375	9.375	3.125
11	16.667	20.000	10.000	16.667
12	3.333	10.000	26.667	16.667
13	16.667	23.333	33.333	26.667
14	13.333	0.000	6.667	3.333
15	33.333	16.667	27.778	33.333
16	38.889	27.778	22.222	11.111
17	44.444	16.667	22.222	11.111

附錄四、男性受試者 VST 測試成功率

NO.	control		bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
1	65.625	56.250	68.750	71.875
2	50.000	56.250	84.375	78.125
3	65.625	68.750	62.500	65.625
4	71.875	81.250	62.500	87.500
5	53.125	65.625	62.500	62.500
6	75.000	71.875	87.500	87.500
7	81.250	59.375	87.500	78.125
8	78.125	56.250	68.750	65.625
9	78.125	75.000	71.875	75.000
10	62.500	56.250	65.625	59.375
11	46.667	46.667	16.667	30.000
12	6.667	33.333	46.667	46.667
13	36.667	33.333	43.333	46.667
14	36.667	30.000	33.333	33.333
15	61.111	38.889	50.000	33.333
16	44.444	44.444	38.889	11.111
17	66.667	44.444	27.778	27.778

附錄五、女性受試者 VST 測試準確率

NO.	control		bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
1	15.625	21.875	9.370	25.000
2	21.875	31.250	21.875	12.500
3	15.625	34.375	9.375	15.625
4	21.875	18.750	21.875	18.750
5	25.000	15.625	12.500	15.625
6	18.750	15.625	18.750	18.750
7	3.125	9.375	6.250	12.500
8	27.770	16.660	33.330	55.550
9	33.330	27.770	16.660	22.220
10	13.330	26.660	33.330	36.660

附錄六、女性受試者 VST 測試成功率

NO.	control		bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
1	40.781	31.469	53.219	37.750
2	65.844	31.563	40.844	40.750
3	50.156	34.719	46.969	34.531
4	43.969	28.313	47.156	37.688
5	40.875	37.656	46.969	47.031
6	34.563	28.281	47.063	28.313
7	62.531	50.094	40.688	56.375
8	16.944	33.500	33.611	11.667
9	33.667	22.500	27.944	22.444
10	30.133	30.267	27.000	23.700

表一、補充 NaHCO₃ 對運動表現相關研究

受試者	劑量	運動模式	效果	結果	參考文獻
24 名男性	0.3 g/kg 0.5 g/kg	30 秒 wingate 測試	✓	增加無氧能力	Douroudos et al., 2006
9 名男性	0.1 g/kg 0.2 g/kg 0.3 g/kg 0.4 g/kg 0.5 g/kg	1 分鐘 wingate 測試	✓	無氧能力顯著增加	McNaughton et al., 1992
32 名男性	0.3 g/kg	10 秒、30 秒、120 秒、240 秒腳踏車測功計測試	✓	運動表現顯著增加	McNaughton et al., 1992

受試者	劑量	運動模式	效果	結果	參考文獻
23 名 柔道選手	0.3 g/kg	4 次手搖車測試 3 回合專項摔擲測試	✓	運動表現 顯著增加	Artioli et al., 2007
13 名 體育系男 性	0.3 g/kg	30 秒 wingate 測試	✓	平均功率 顯著增加	Inbar et al., 1983
10 名女性	0.3 g/kg	5×6 秒腳踏車運動	✓	總功率、 功率輸出 峰值顯著 增加	Bishop et al., 2004
10 名拳擊 選手	0.3 g/kg	4 次 3 回合拳擊測試	✓	拳數顯著 增加	Siegler & Hirscher, 2010
15 名男性 8 名女性	0.3 g/kg	10 次 10 秒腳踏車衝 次	✓	平均功 率、功率 輸出峰值 顯著增加	Lavernder & Bird, 1989

受試者	劑量	運動模式	效果	結果	參考文獻
11名女田徑運動員 4名女性非運動員	0.3 g/kg	600公尺跑步		運動表現無顯著差異	Tiryaki & Atterbom, 1995
6名男性	0.3 g/kg	4次12重複腿部壓力測試		運動表現無顯著差異	Webster et al., 1993
15名男性	0.3 g/kg	5次12重複腿部壓力測試		運動表現無顯著差異	Portington et al., 1998
6名男性游泳選手	0.3 g/kg	2次200公尺捷泳測試		運動表現第2次優於第1次	Pruscino et al., 2008

表 3-2-1、VST 測試受試者基本資料表

受試者	特優級		非特優級	
	男 (n=16)	男 (n=16)	女 (n=18)	
年齡	20.50 ± 1.50	19.68 ± 0.84	20.08 ± 0.92	
身高	181.68 ± 5.55	176.87 ± 3.87	163.81 ± 5.22	
體重	79.58 ± 12.75	73 ± 12.1	53.88 ± 4.17	
球齡	9.18 ± 2.57	5.38 ± 2.95	5.71 ± 2.55	
Static Jump (公分)	43.40 ± 5.62	43.46 ± 6.27	29.85 ± 4.11	
Counter Movement Jump (公分)	55.86 ± 6.87	58.29 ± 5.62	39.06 ± 6.02	
505(左)	2.57 ± 0.18	2.67 ± 0.21	2.89 ± 0.27	
505(右)	2.51 ± 0.16	2.65 ± 0.24	2.93 ± 0.23	

表 4-1-1、受試者基本資料表

男子選手					女子選手				
編號	年齡	身高	體重	球齡	編號	年齡	身高	體重	球齡
1	23	185	70.9	7	18	21	165	57.4	11
2	22	185	102.2	9	19	19	172	72.4	6
3	23	192	76.8	5	20	20	164	58.0	7.5
4	21	186	92.1	12	21	19	168	52.0	4
5	19	182	63.4	4	22	20	174	59.5	4
6	19	184	72.1	9	23	19	176	64.5	3
7	20	183	82.4	12	24	19	168	62.5	6
8	20	186	82.3	10	25	20	160	55.4	7
9	20	184	72.0	8	26	20	163	52.7	5
10	18	180	75.0	7	27	20	160	54.0	8
11	19	180	106.5	11					
12	20	178	63.0	11					
13	23	183	85.2	13					
14	20	183	65.6	7					
15	20	169	74.8	10					
16	20	170	69.5	8					
17	21	181	91.6	12					
平均	20.47	181.82	79.14	9.12	平均	19.70	167.00	58.84	6.15
標準差	1.50	5.58	12.88	2.60	標準差	0.67	5.62	6.26	2.36

表 4-3-1、各級別 VST 準確性測試表

級別	人數	男		範圍	p 值	r 值
		第一次	第二次			
特優級						
攻擊手	12	17.19 ± 9.47	21.09 ± 12.15	3.13-37.50	0.323	0.312
舉球員	2	6.67 ± 9.43	10.00 ± 4.71	0-13.33		
自由球員	2	30.56 ± 11.79	36.11 ± 3.93	22.22-38.89		
全部	16	17.54 ± 10.93	21.58 ± 12.53	0-38.89	0.048	0.501 *
挑戰						
A 級						
攻擊手	13	12.74 ± 7.38	12.02 ± 4.92	3.13-28.13	0.397	0.246
舉球員	2	0.08 ± 0.02	13.33 ± 4.71	6.67-16.67		
自由球員	1	22.22	27.78	22.22-27.78		
全部	16	12.78 ± 7.25	13.17 ± 6.02	3.13-28.13	0.149	0.378
女						
級別	人數	第一次	第二次	範圍	p 值	r 值
挑戰						
A 級						
攻擊手	9	14.93 ± 8.67	14.24 ± 8.99	3.13-28.13	0.061	0.644
舉球員	2	0	1.67 ± 2.36	0-3.33		
自由球員	1	27.78	33.33	27.78-33.33		
全部	12	11.84 ± 9.17	13.63 ± 10.03	0-33.33	0.002	0.807 *
公開級						
攻擊手	6	6.77 ± 4.15	11.98 ± 8.01	0-28.13	0.158	0.655
舉球員						
自由球員						
全部	6	6.77 ± 4.15	11.98 ± 8.01	0-28.13	0.158	0.655

*：該級選手 VST 準確性呈現顯著相關

表 4-3-1、男性受試者實驗期間天氣溼度、溫度表

NO.	溫度		溼度	
	control	bicarbonate	control	bicarbonate
1	32	31	28	27
2	31	32	27	40
3	32	34	40	40
4	34	32	40	28
5	34	38	55	27
6	38	34	27	55
7	32	29	50	60
8	33	30	50	50
9	30	33	50	55
10	33	33	55	43
11	36	27	35	50
12	27	36	50	35
13	32	34	35	35
14	34	32	35	35
15	33	36	43	50
16	34	33	50	43
17	35	36	40	50
平均數	32.9	32.9	41.8	42.5
標準差	2.451	2.785	9.562	10.357

表 4-3-2、男性受試者運動自覺量表

NO.	Control		Bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
1	8	16	6	18
2	11	18	9	14
3	8	18	6	16
4	6	15	7	16
5	9	17	9	17
6	11	18	11	14
7	9	14	7	15
8	6	17	8	19
9	6	18	6	15
10	6	19	9	18
11	9	16	11	19
12	7	17	9	16
13	6	17	6	15
14	10	15	10	15
15	6	18	11	19
16	7	18	9	19
17	9	20	9	20
平均數	7.9	17.1	8.4	16.8
標準差	1.799	1.536	1.805	1.985

表 4-3-3、女性受試者實驗期間天氣溼度、溫度表

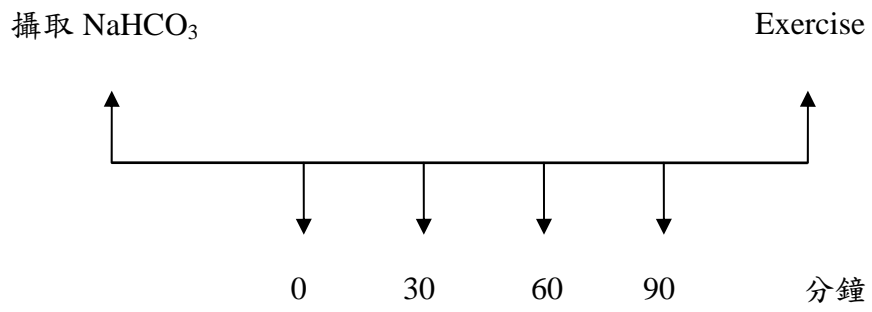
NO.	溫度		溼度	
	control	bicarbonate	control	bicarbonate
18	30	29	83	56
19	25	30	51	83
20	26	29	50	56
21	25	25	50	53
22	25	26	41	50
23	25	25	51	50
24	22	28	44	47
25	29	25	40	45
26	22	25	44	51
27	23	25	45	41
平均數	25.2	26.7	49.9	53.2
標準差	2.658	2.058	12.333	11.468

表 4-3-4、女性受試者運動自覺量表

NO.	Control		Bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
18	9	17	11	19
19	9	13	11	17
20	9	15	10	13
21	10	17	11	18
22	9	17	6	16
23	9	18	10	17
24	9	15	9	16
25	11	14	9	16
26	11	16	11	18
27	7	9	6	11
平均數	9.3	15.1	9.4	16.1
標準差	1.160	2.644	1.955	2.424

表 4-6-1、女性受試者攔網高度表

NO.	Control		Bicarbonate	
	pretest	posttest	pretest	posttest
18	40.91	39.87	39.32	37.36
19	29.72	30.22	30.94	30.31
24	32.14	30.94	31.75	32.48
25	44.55	44.25	51.84	52.62
26	34.04	33.71	37.21	35.94
27	38.13	38.73	39.24	41.12
平均數	36.58	36.29	38.38	38.31
標準差	5.62	5.55	7.53	7.96



↓：為採血點

Exercise：為 Bruce protocol 運動至衰竭

圖 3-2-1、前導實驗流程圖

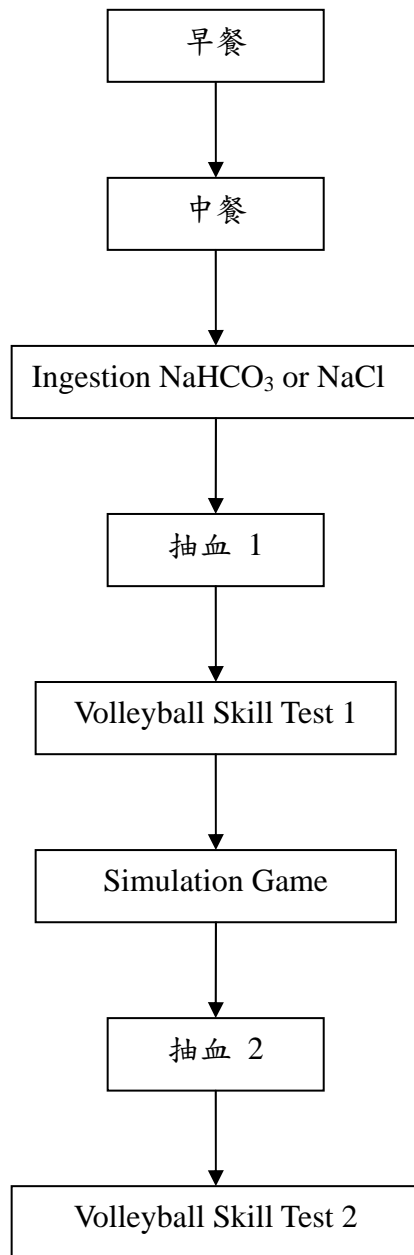


圖 3-2-2、男性受試者實驗流程圖

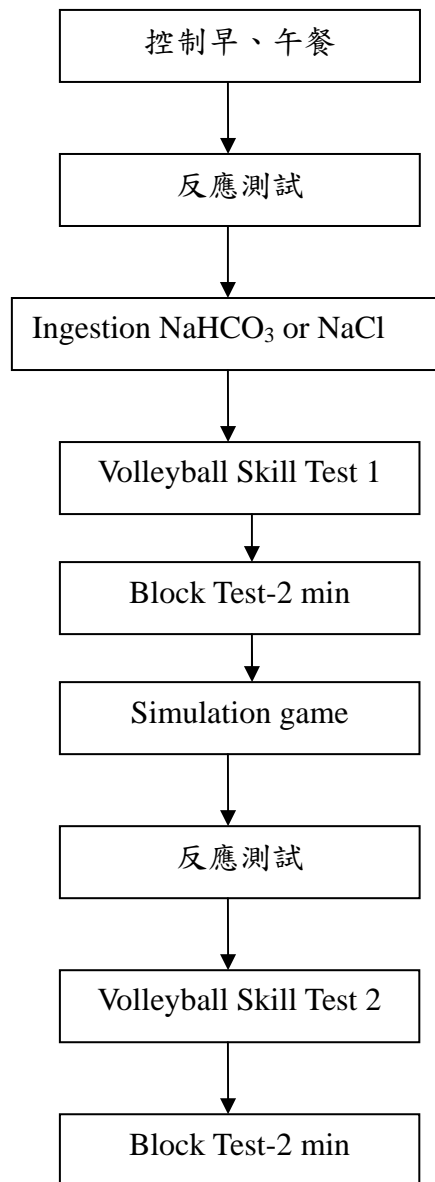


圖 3-2-3、女性受試者實驗流程圖

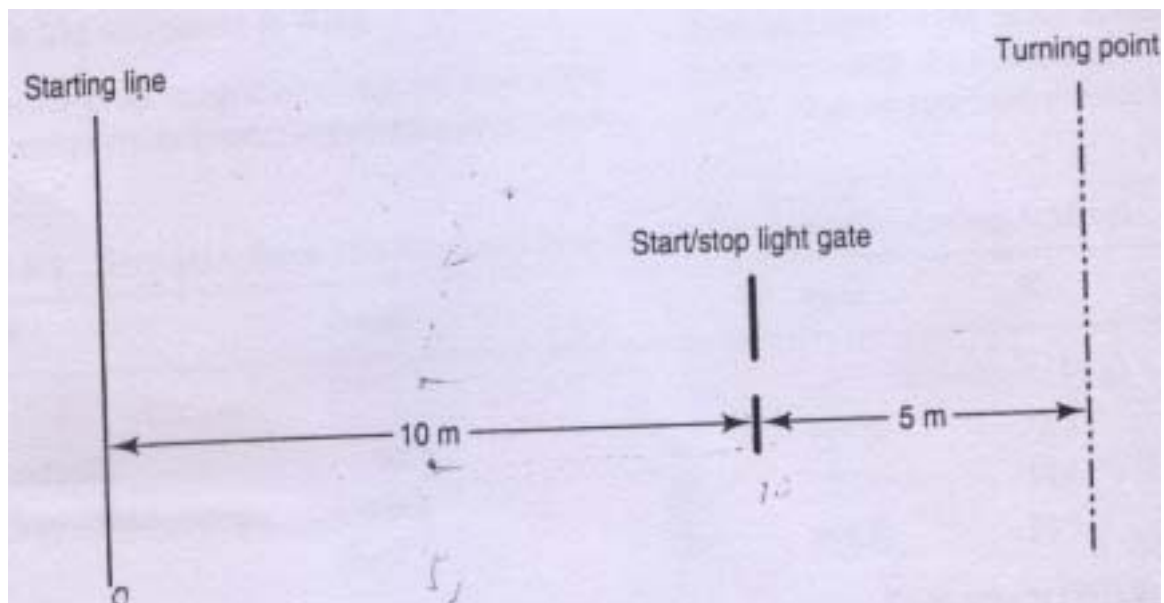


圖 3-4-1、505 折返跑示意圖

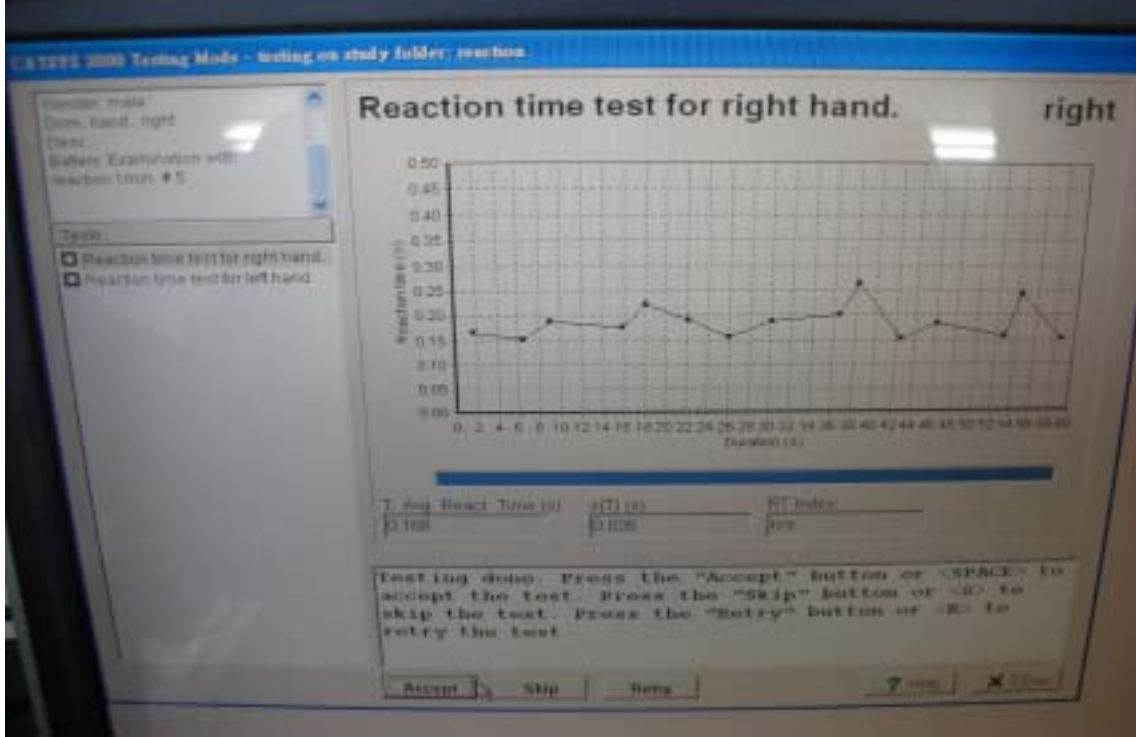
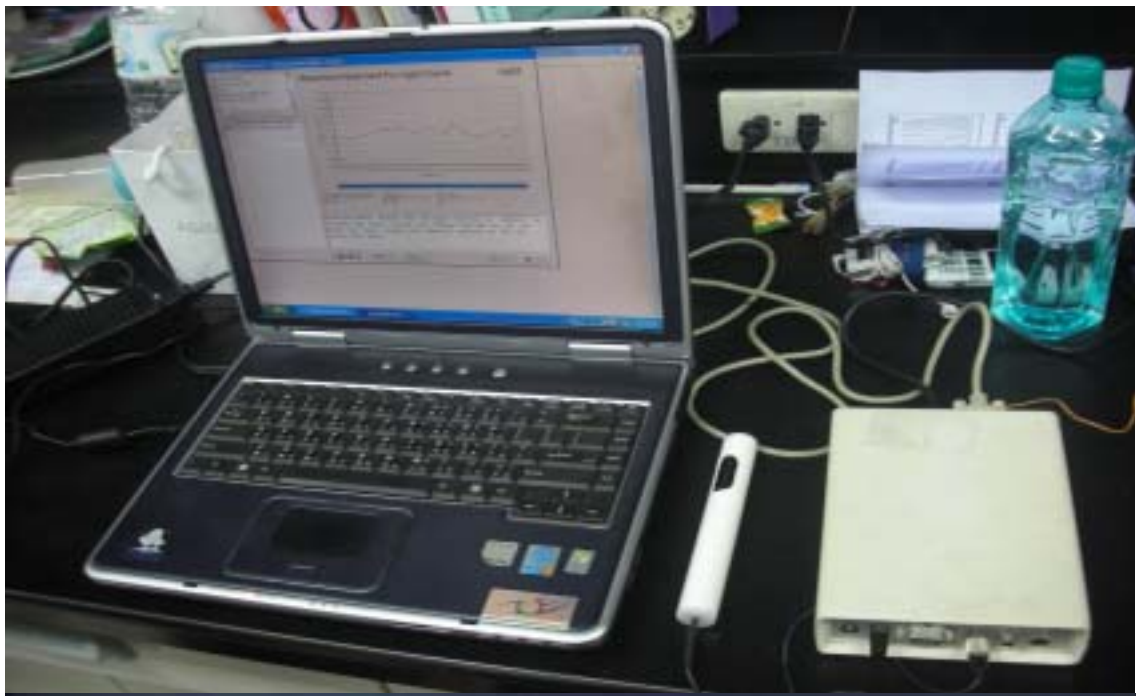


圖 3-4-2、聽力反應測試

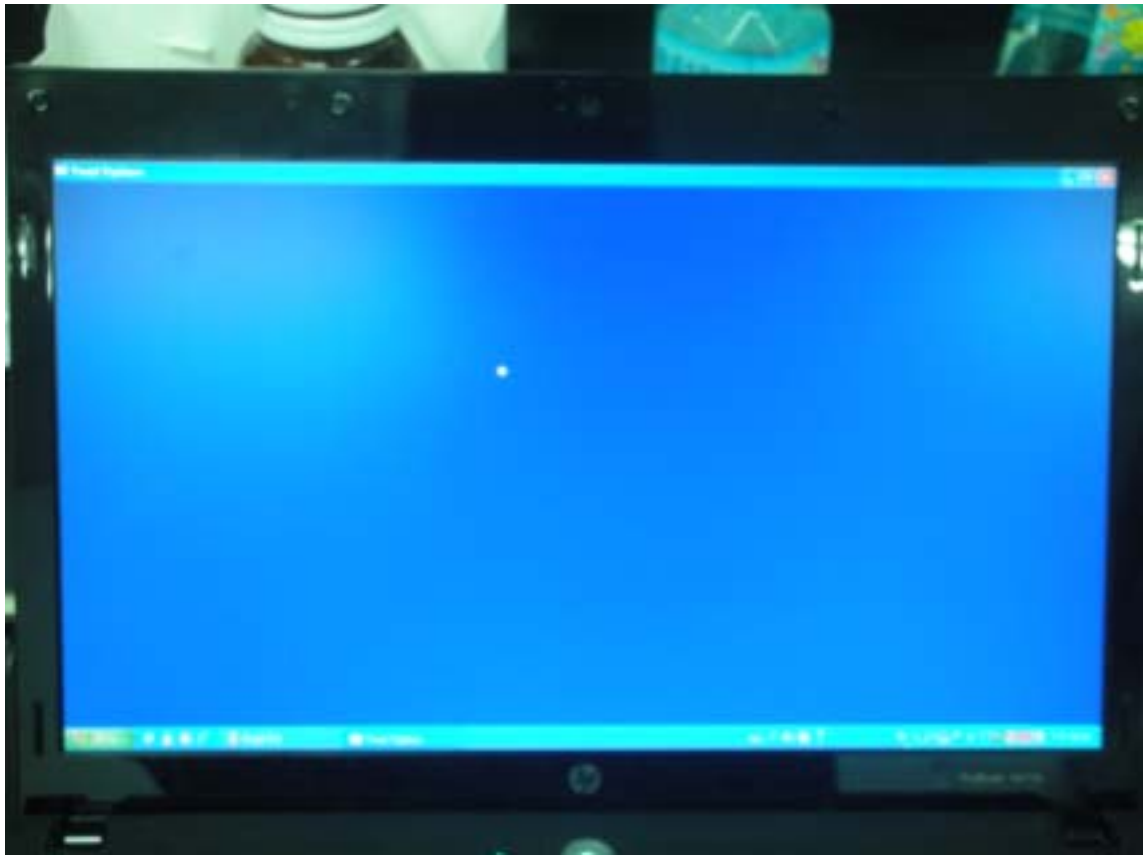


圖 3-4-3、單手眼力反應測試

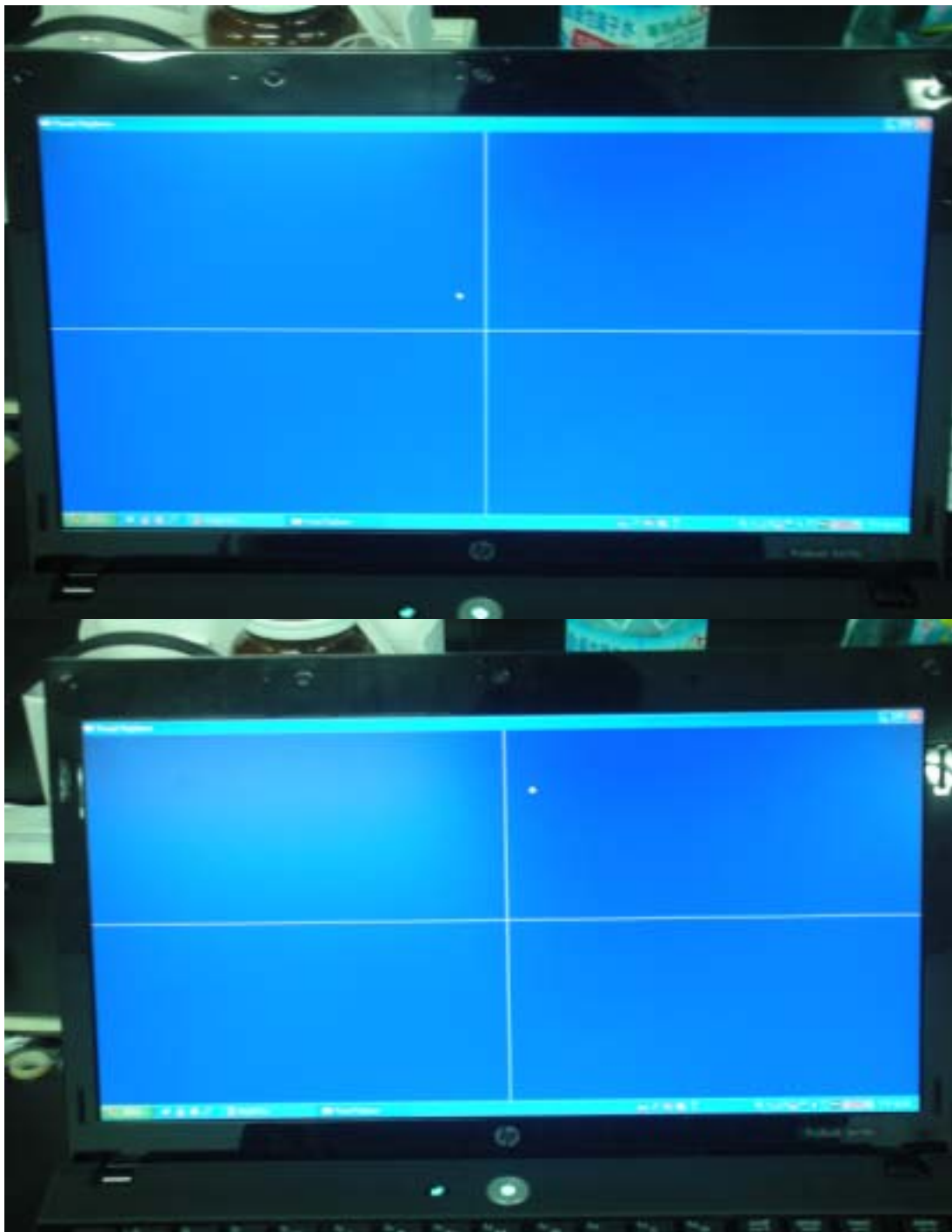
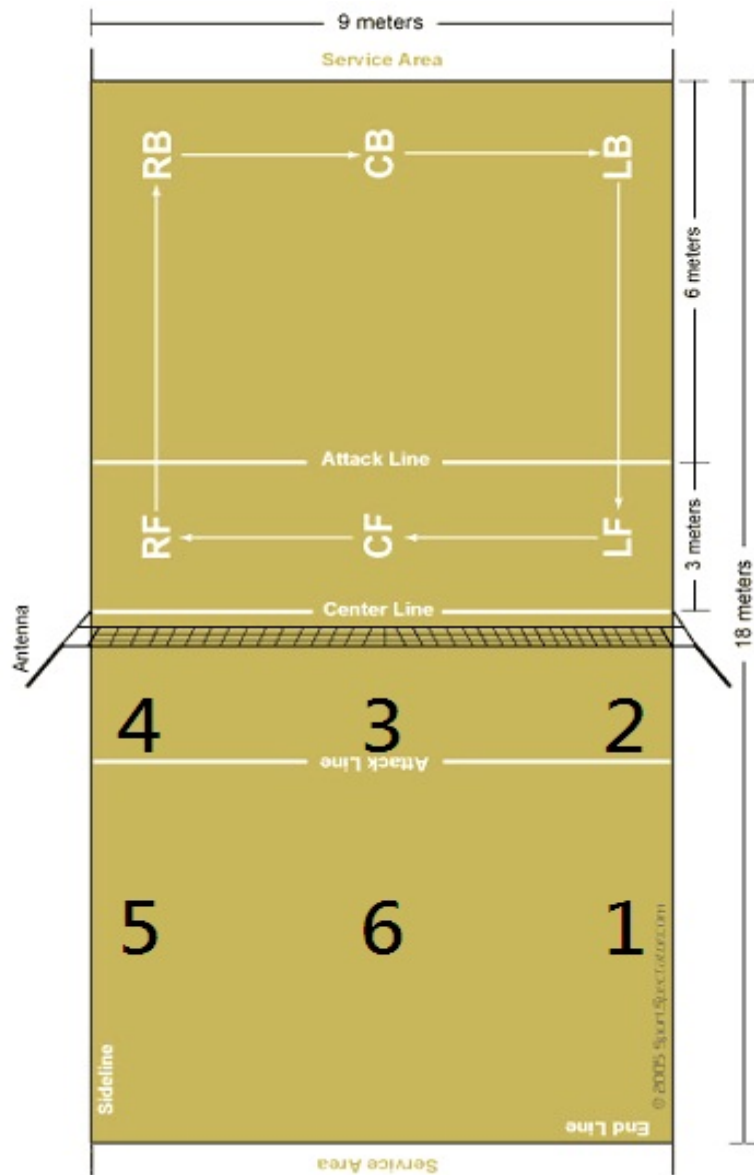
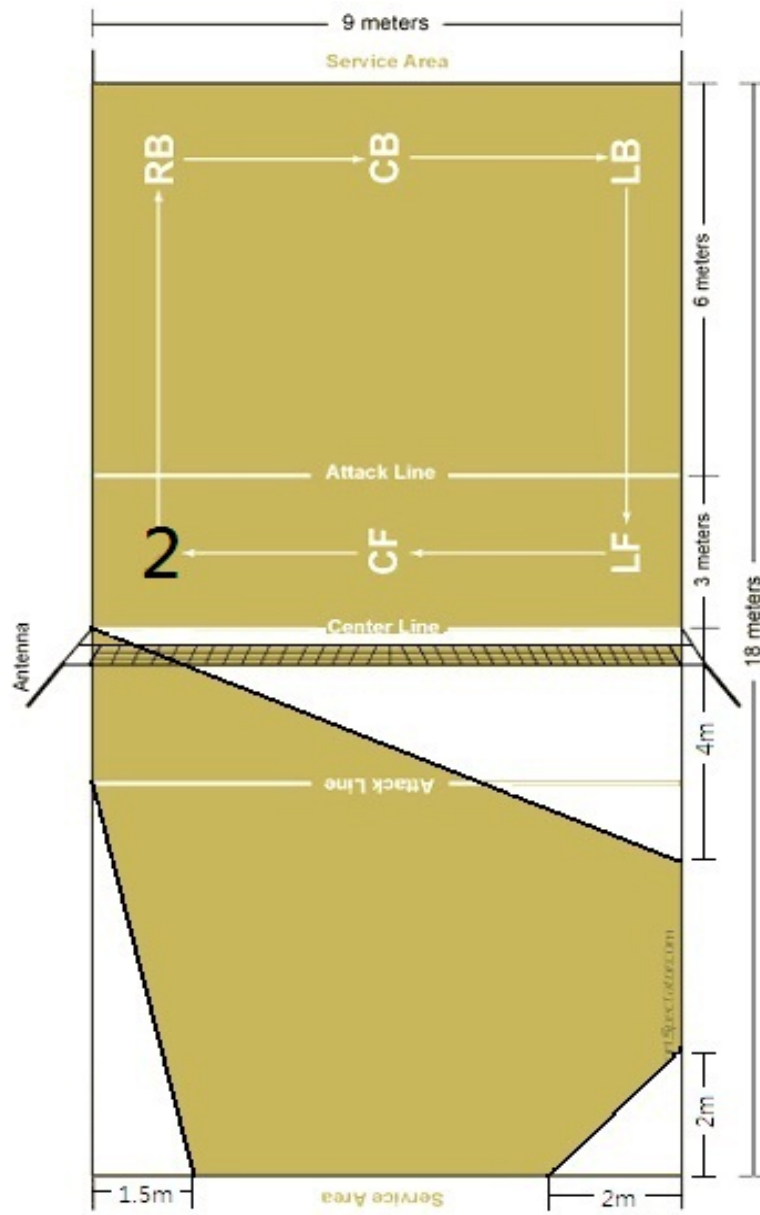


圖 3-4-4、四象限眼力反應測試



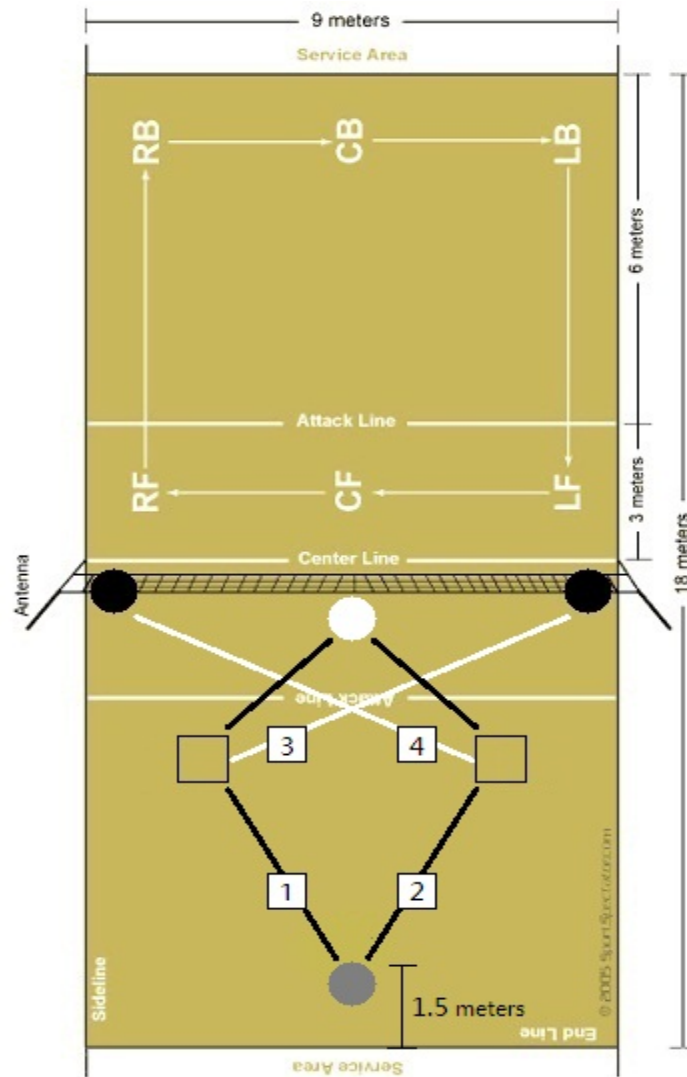
RB：後排右邊（1 號位） CB：後排中間（6 號位）
 LB：後排左邊（5 號位） RF：前排右邊（2 號位）
 CF：前排中間（3 號位） LF：前排左邊（4 號位）

圖 3-4-5、排球場地圖



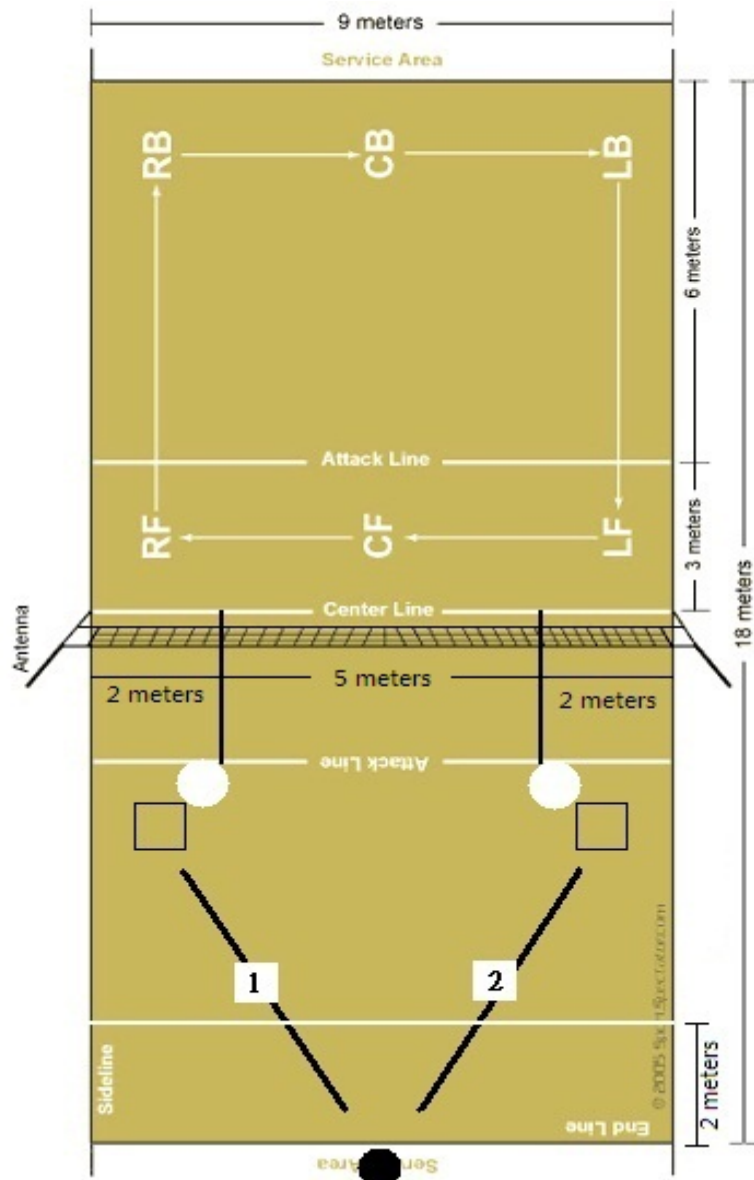
1. 白色三角形處為指定攻擊區域

圖 3-4-7、2 號位攻擊



1. 黑色圓點為目標物
2. 白色圓點為受試者
3. 灰色圓點為拋球者
4. 正方形為舉球位置
5. ①、②為拋球路線
6. ③、④為舉球路線

圖 3-4-8、舉球位置圖



1. 白色圓點為拋球者
2. 黑色圓點為受試者
3. 正方形為球的落點
4. ①、②為救球路線

圖 3-4-9、自由球員位置圖



圖 3-4-10、Newtest 測試器材



圖 3-4-11、個人防守圖



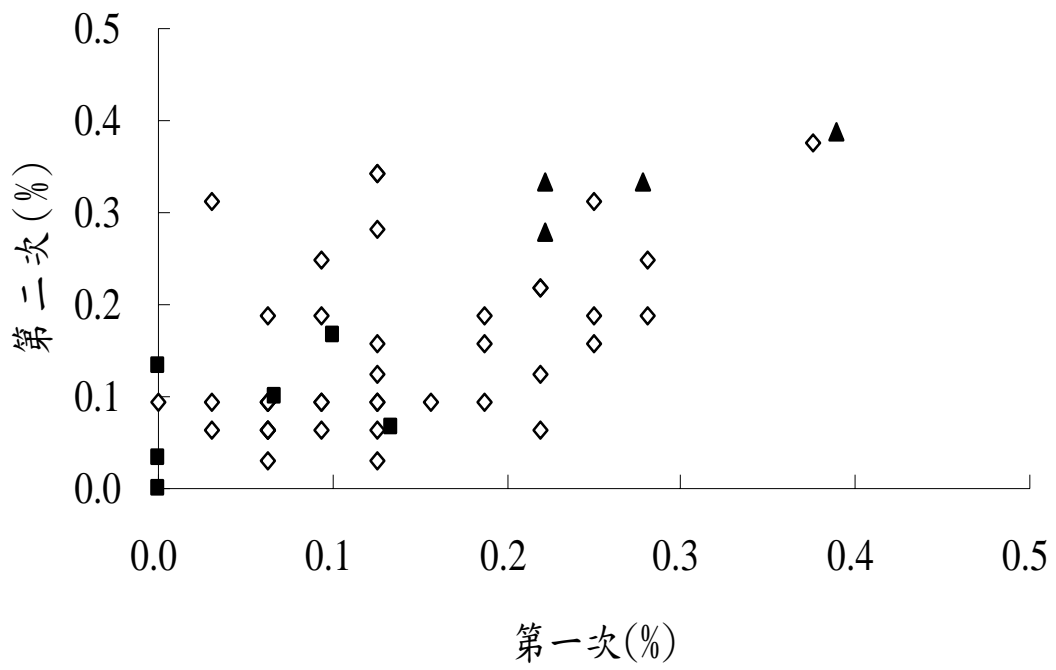
圖 3-4-12、連續攻擊圖



圖 3-4-13、移位攔網圖



圖 3-4-14、3 公尺側併步圖



◇：攻擊手 ■：舉球員 ▲：自由球員

圖 4-1-1、不同位置選手 VST 準確性散佈圖

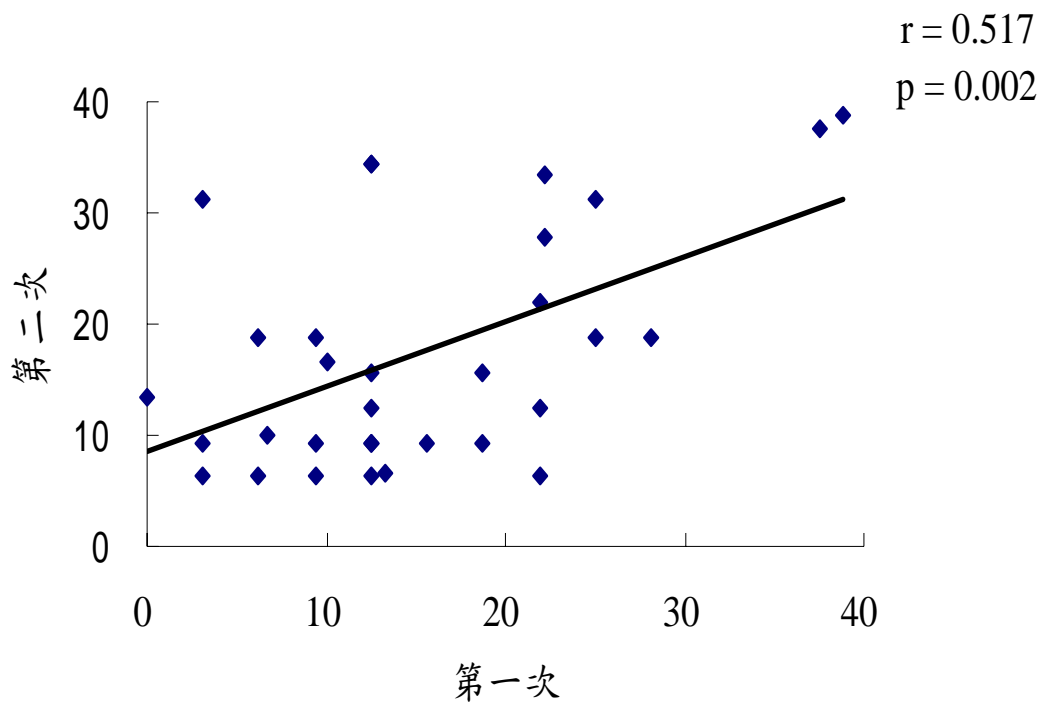


圖 4-1-2、男子選手 VST 準確性散佈圖

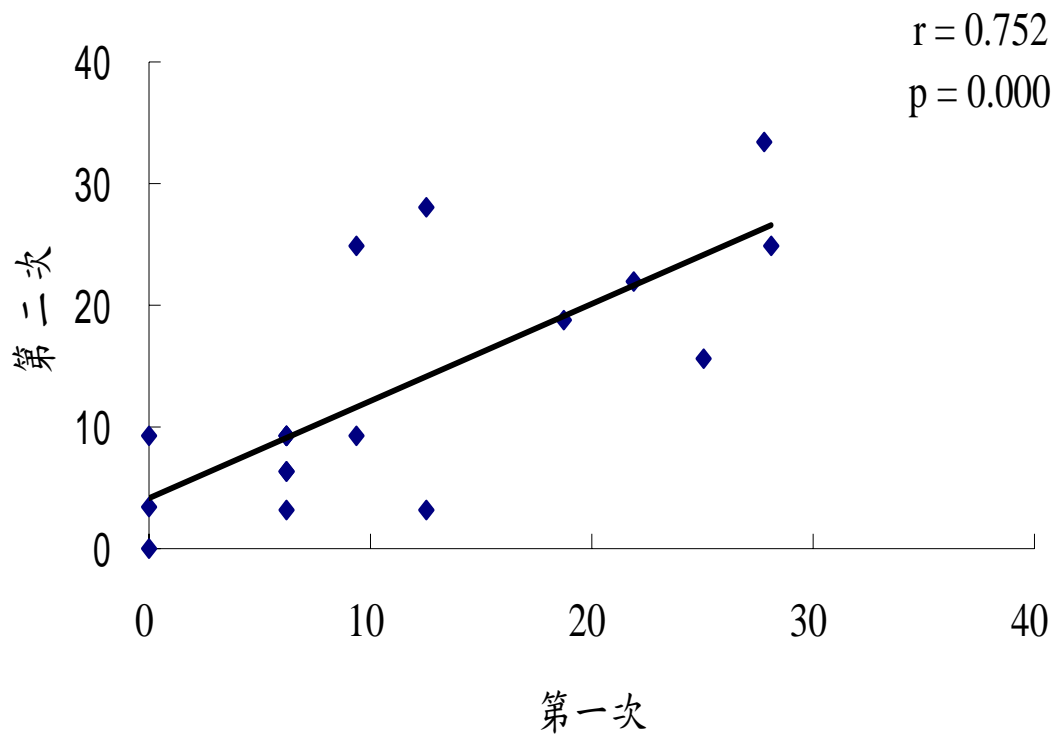


圖 4-1-3、女子選手 VST 準確性散佈圖

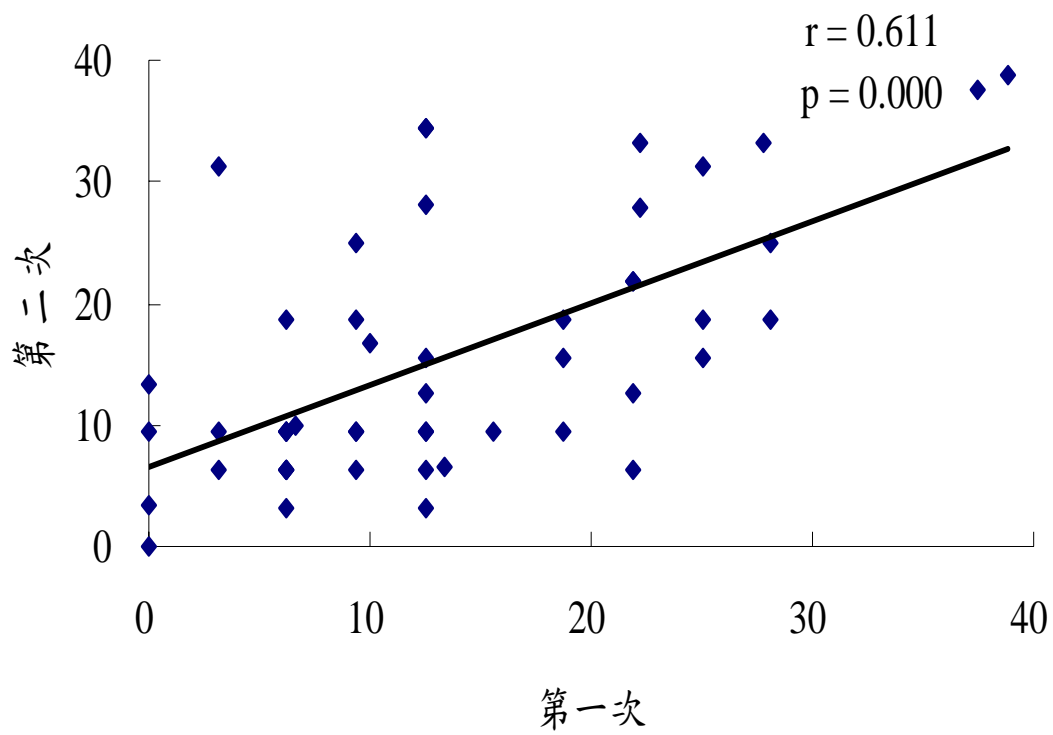


圖 4-1-4、所有選手 VST 準確性散佈圖

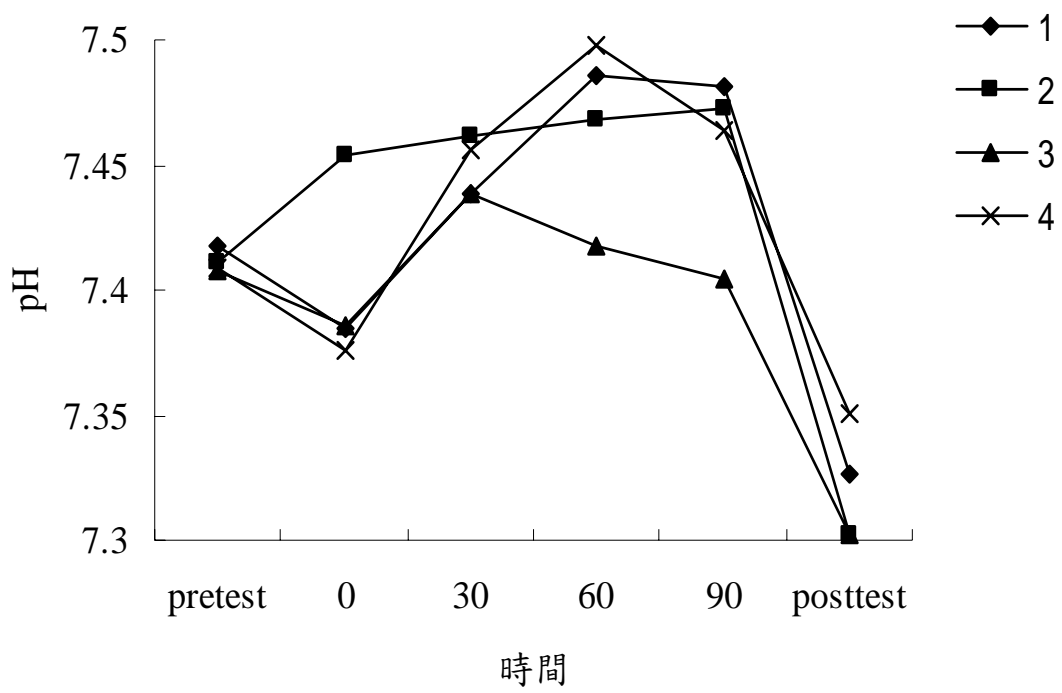


圖 4-2-1、NaHCO₃ 藥物動力學前導實驗 pH 值 (N=4)

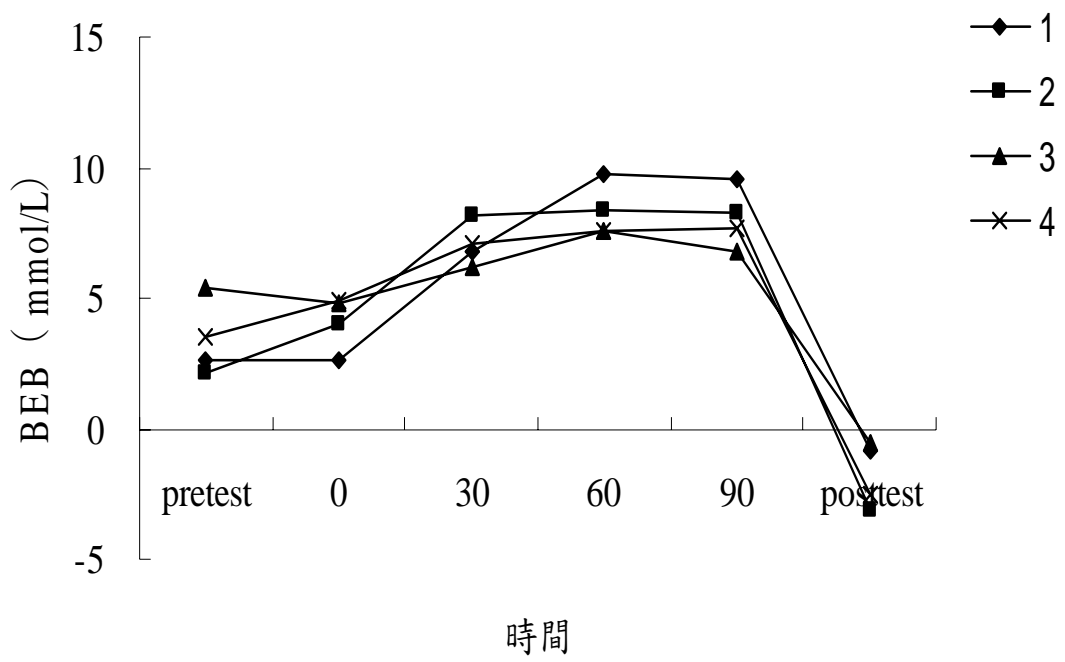


圖 4-2-2、NaHCO₃ 藥物動力學前導實驗 BEB 濃度 (N=4)

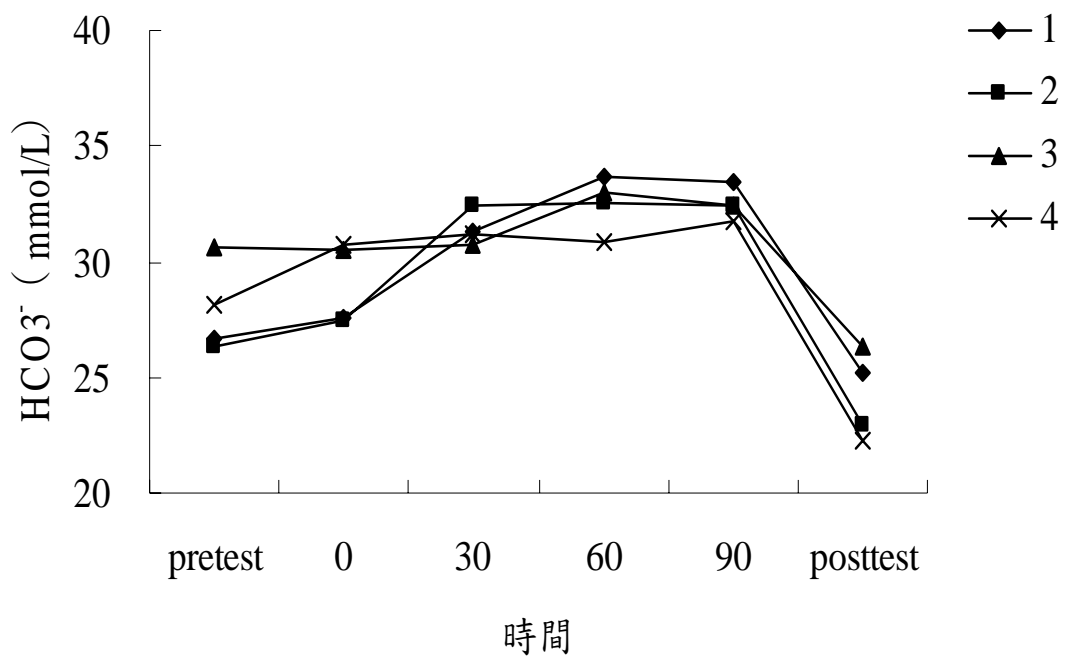


圖 4-2-3、NaHCO₃ 藥物動力學前導實驗 HCO₃⁻ 濃度 (N=4)

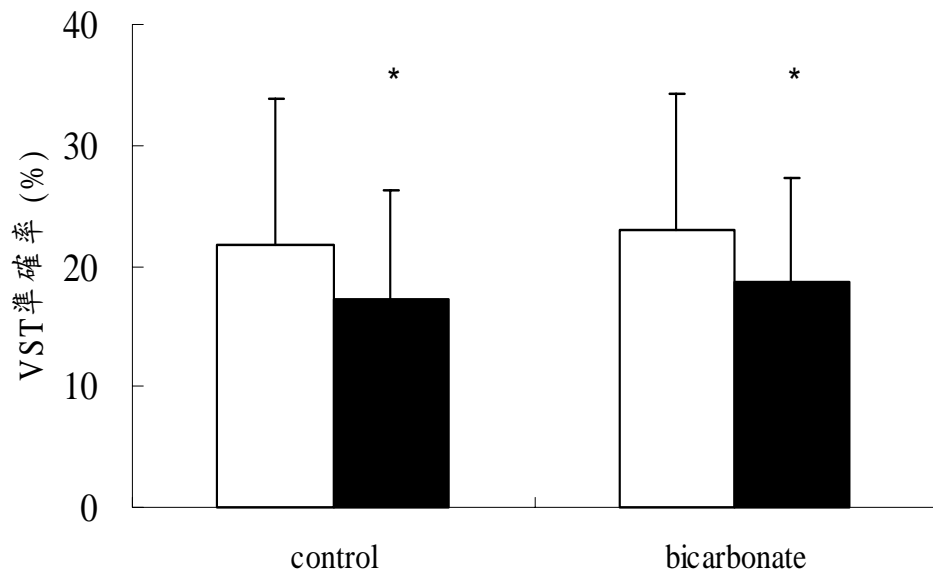


圖 4-4-1、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前
(□) 後 (■) VST 準確率

Trial effect, $p=0.527$

Time effect, $p=0.048$

Trial \times time effect, $p=0.919$

*: 同一 trial 間有顯著差異

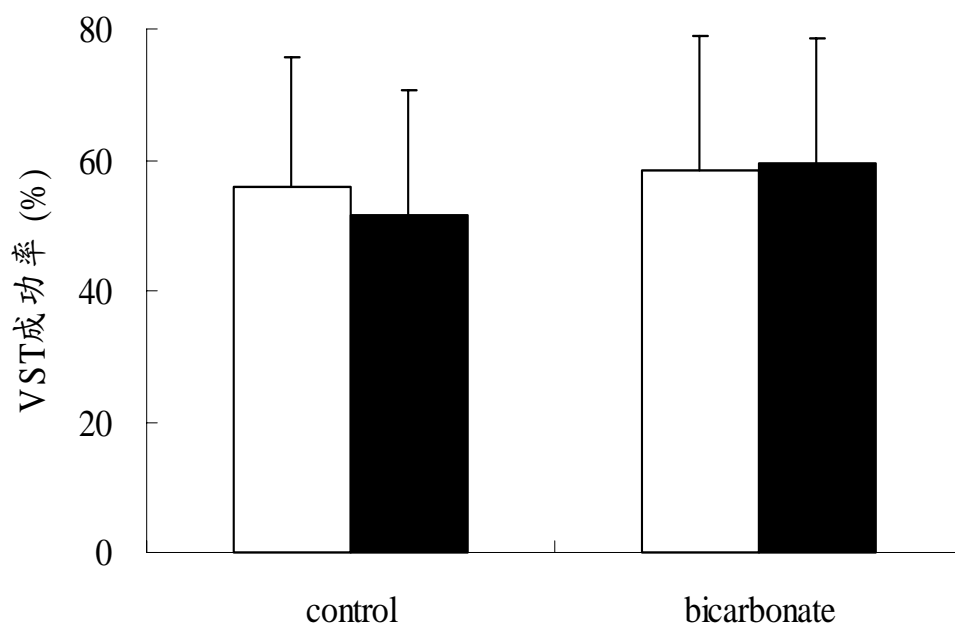


圖 4-4-2、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前
 (□) 後 (■) VST 成功率

Trial effect , p=0.180

Time effect , p=0.489

Trial × time effect , p=0.124

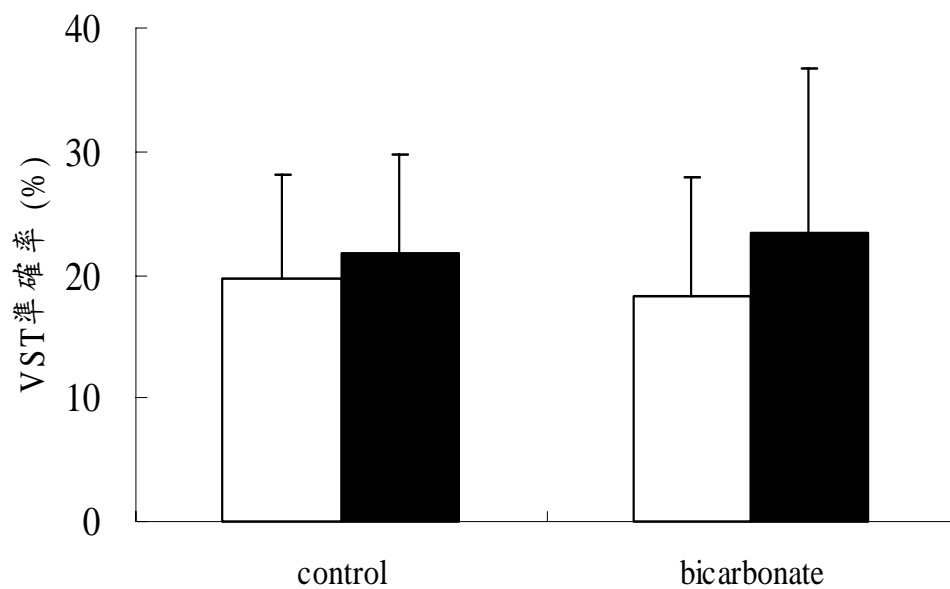


圖 4-4-3、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□) 後 (■) VST 準確率

Trial effect , $p=0.976$

Time effect , $p=0.086$

Trial \times time effect , $p=0.566$

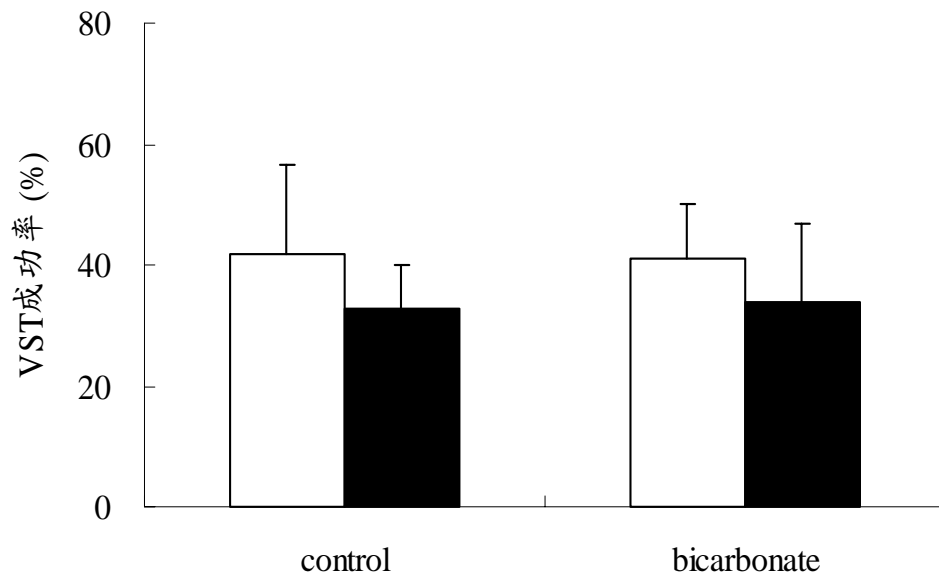


圖 4-4-4、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□) 後 (■) VST 成功率

Trial effect, $p=0.928$

Time effect, $p=0.003$

Trial \times time effect, $p=0.763$

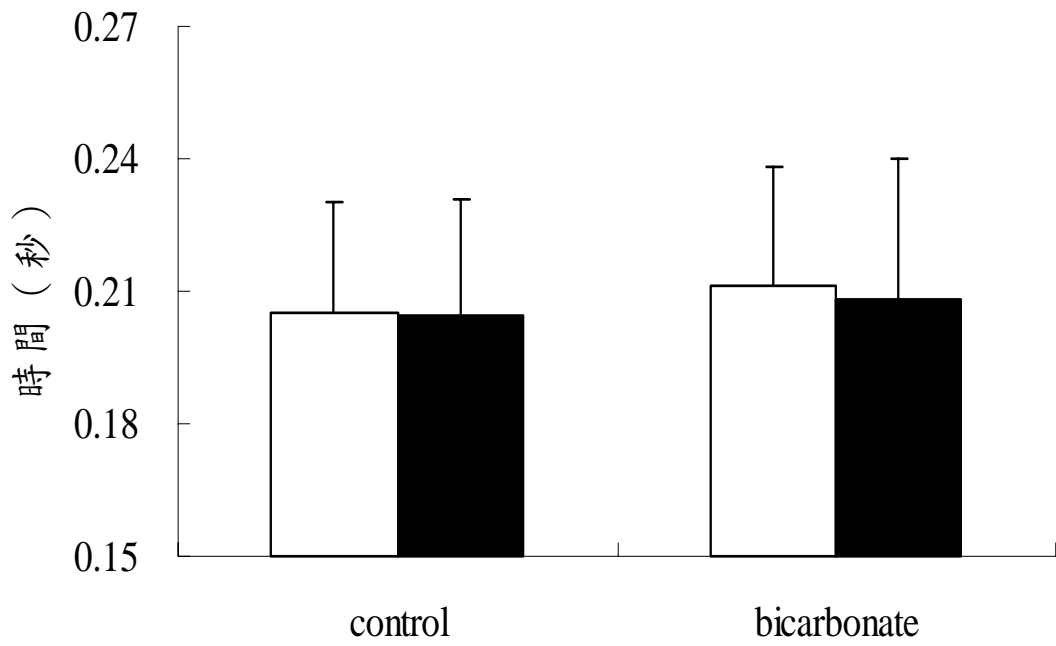


圖 4-5-1、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□) 後 (■) 聽力測試

Trial effect, $p=0.311$

Time effect, $p=0.674$

Trial \times time effect, $p=0.849$

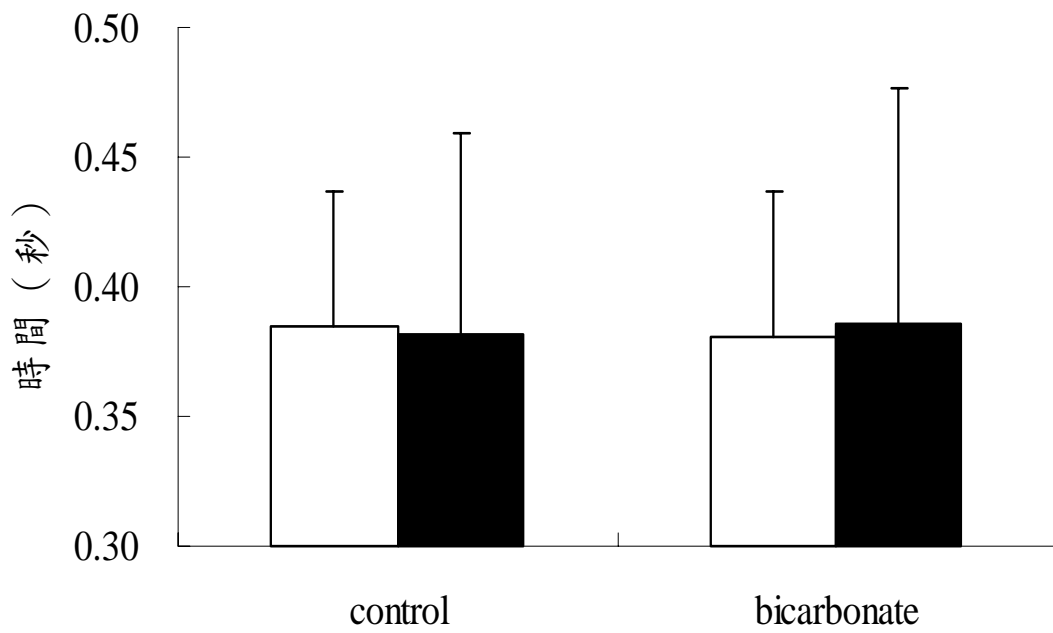


圖 4-5-2、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)
後 (■) 單手視力測試

Trial effect, $p=0.984$

Time effect, $p=0.970$

Trial \times time effect, $p=0.738$

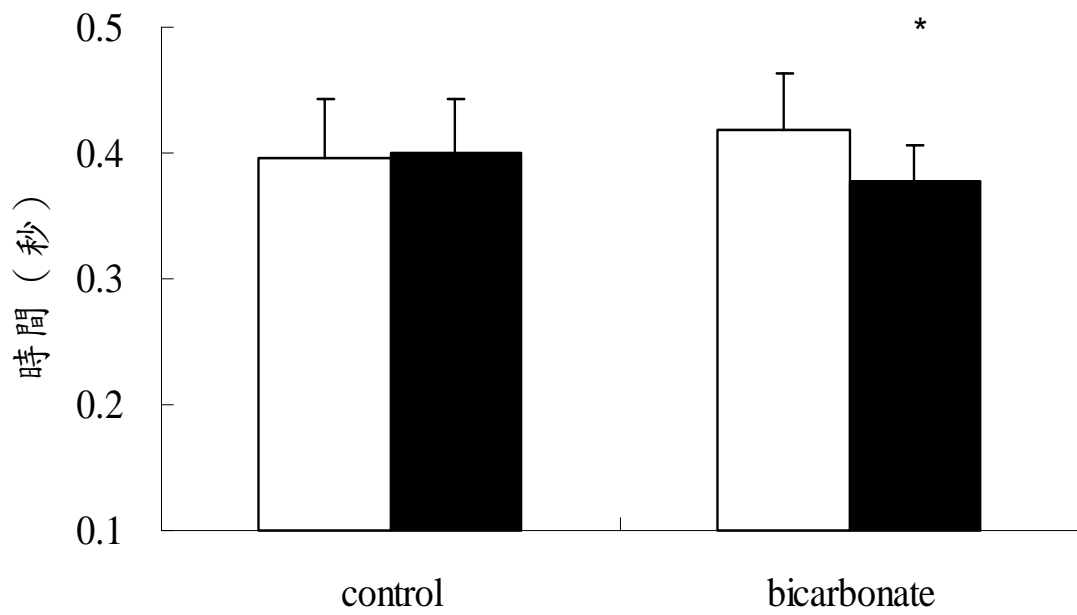


圖 4-5-3、control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□) 後 (■) 象限視力測試

Trial effect, $p=0.987$

Time effect, $p=0.073$

Trial \times time effect, $p=0.052$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.05$)

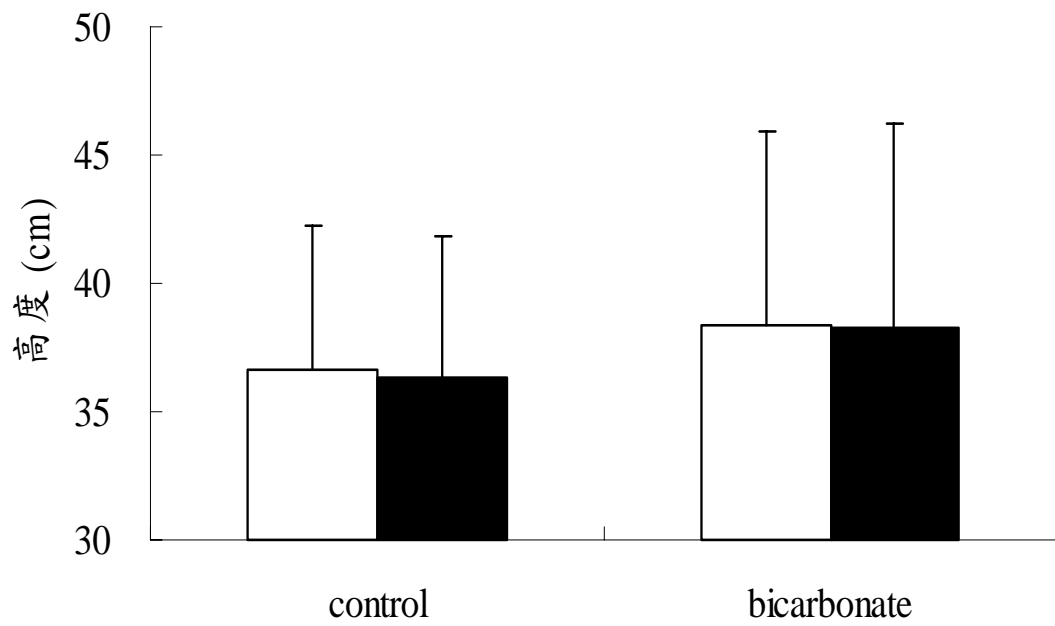


圖 4-6-1、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) 攔網高度

Trial effect, $p=0.216$

Time effect, $p=0.644$

Trial \times time effect, $p=0.713$

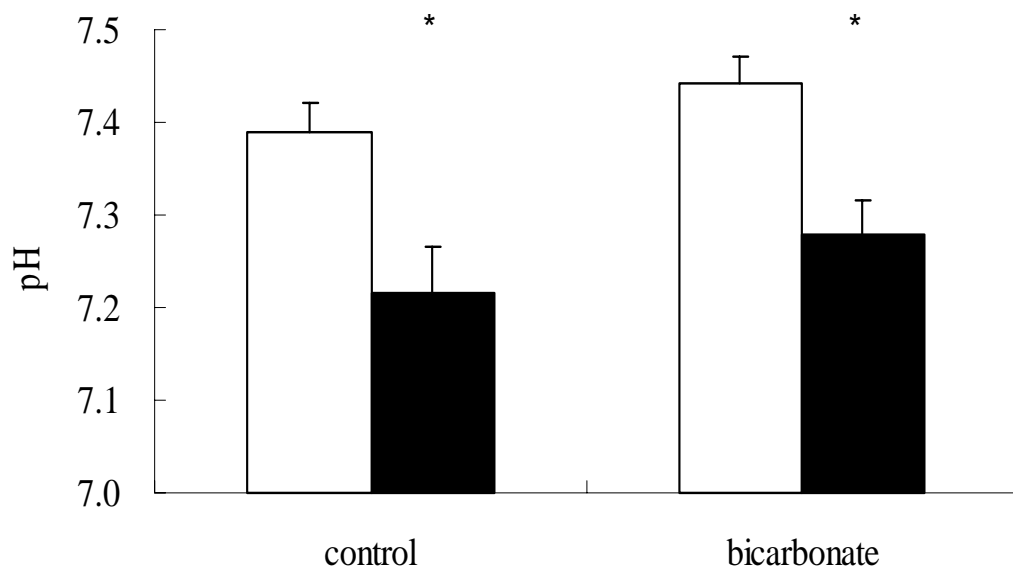


圖 4-7-1、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) pH 值濃度

Trial effect, $p < 0.001$

Time effect, $p < 0.001$

Trial \times time effect, $p = 0.402$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.001$)

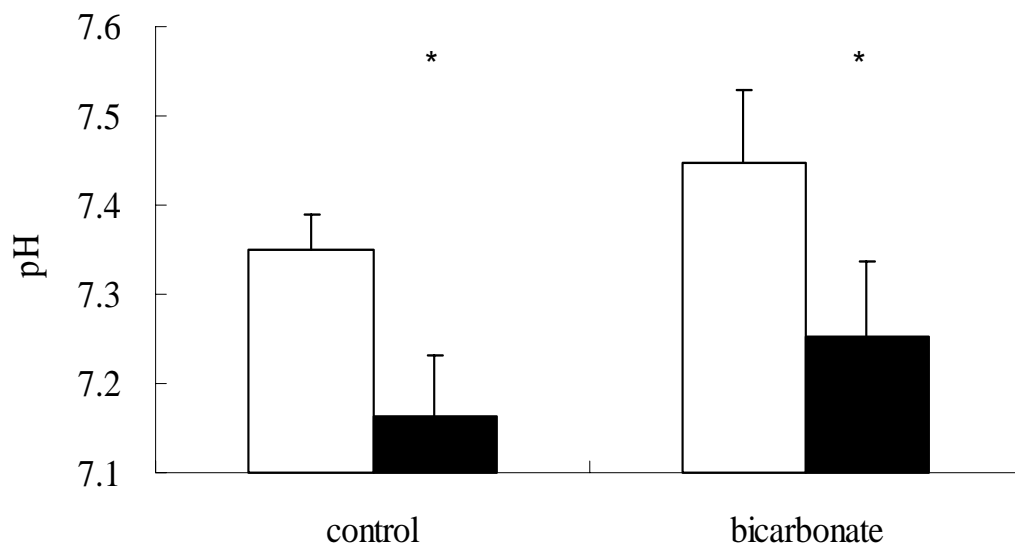


圖 4-7-2、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) pH 值濃度

Trial effect, $p < 0.001$

Time effect, $p < 0.001$

Trial \times time effect, $p = 0.765$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.001$)

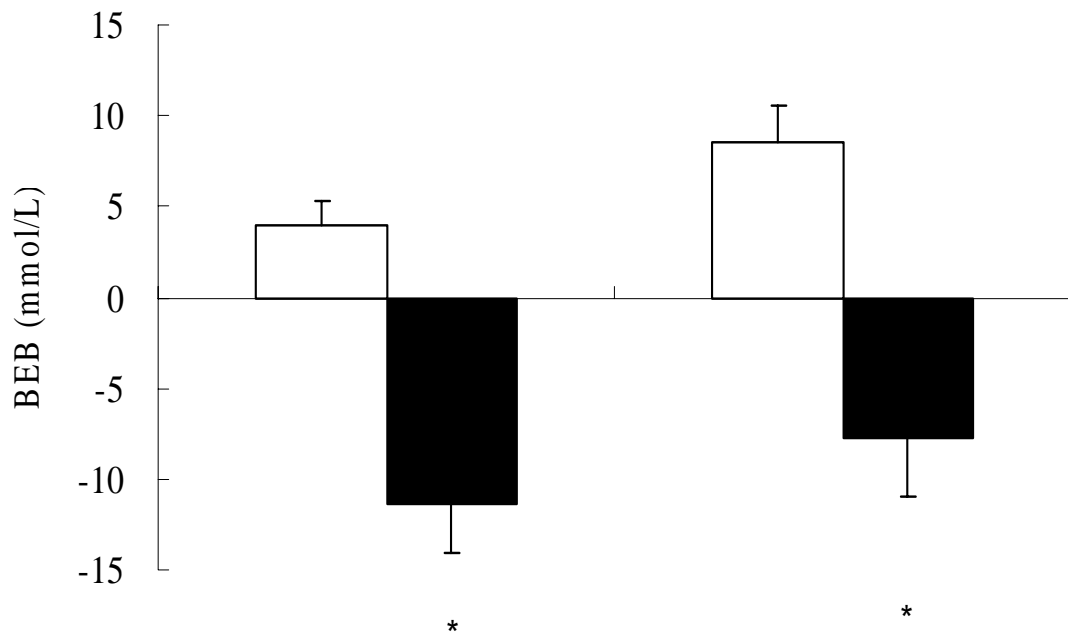


圖 4-7-3、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) BEB 濃度

Trial effect, $p < 0.001$

Time effect, $p < 0.001$

Trial \times time effect, $p = 0.34$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.001$)

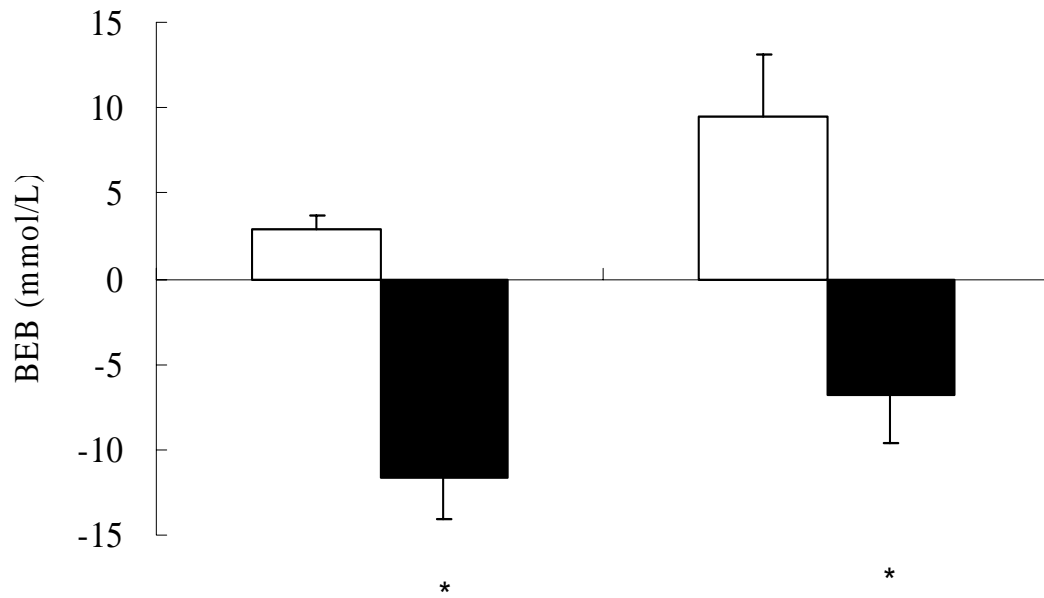


圖 4-7-4、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) BEB 濃度

Trial effect, $p < 0.001$

Time effect, $p < 0.001$

Trial \times time effect, $p = 0.188$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.001$)

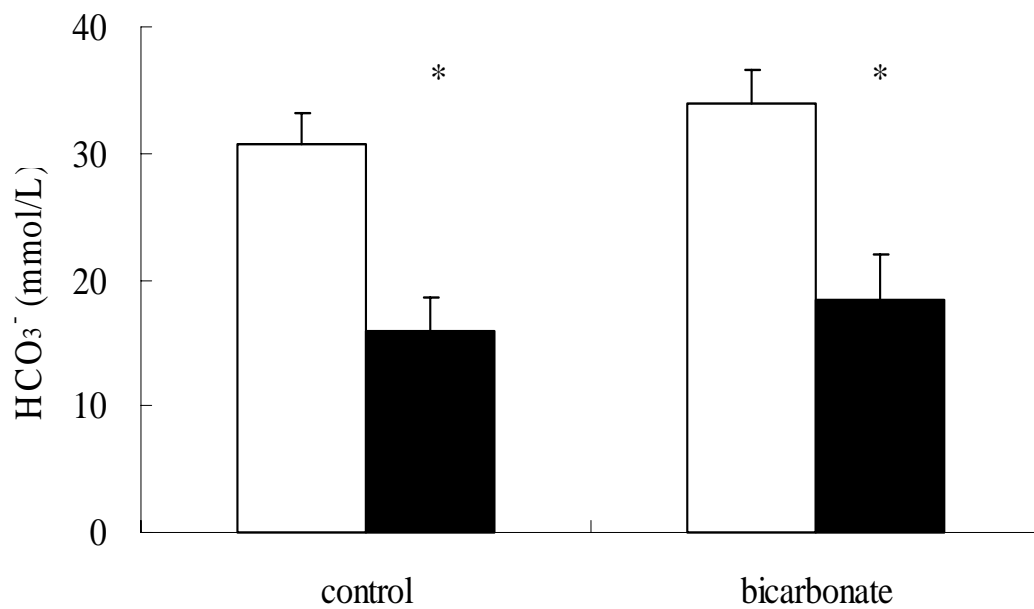


圖 4-7-5、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) HCO₃⁻ 濃度

Trial effect, $p=0.001$

Time effect, $p<0.001$

Trial \times time effect, $p=0.559$

*：同一 trial，pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p<0.001$)

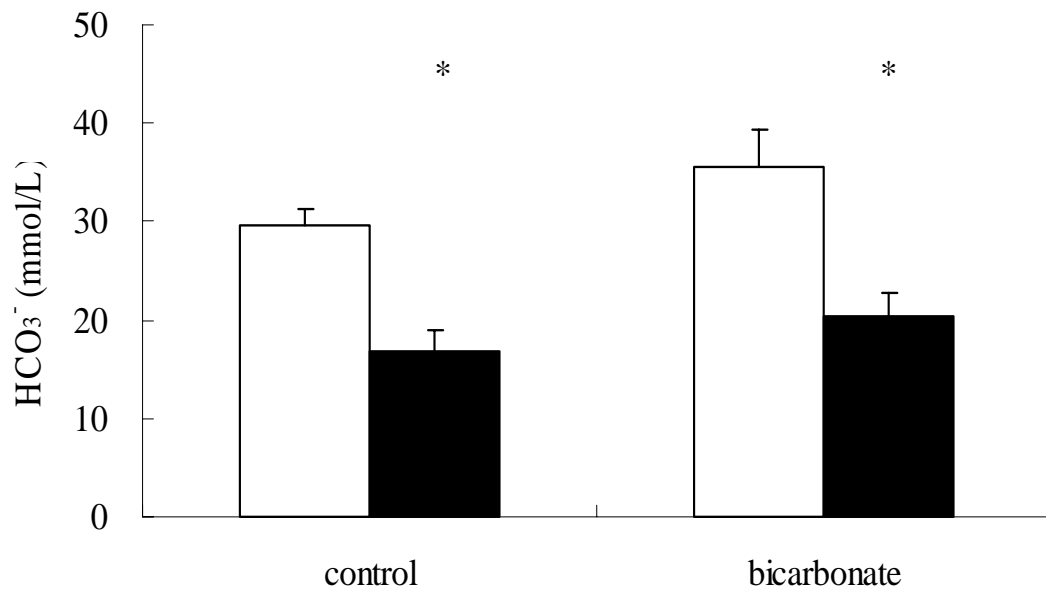


圖 4-7-6、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) HCO₃⁻ 濃度

Trial effect, $p < 0.001$

Time effect, $p < 0.001$

Trial \times time effect, $p = 0.072$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p < 0.001$)

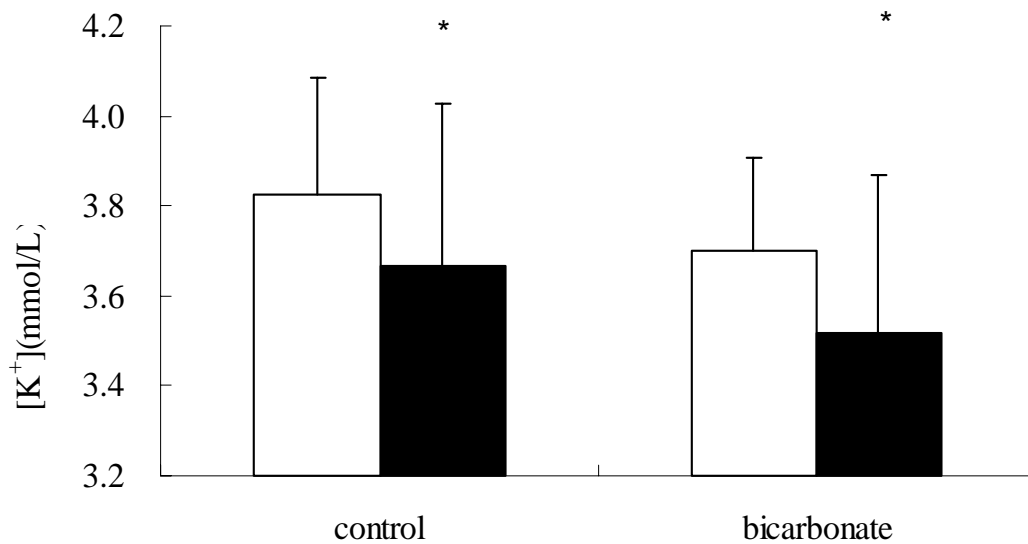


圖 4-7-7、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) K⁺值濃度

Trial effect, p=0.018

Time effect, p=0.011

Trial × time effect, p=0.825

*：同一 trial，pre-match 與 post-match 顯著差異 (bicarbonate trial p=0.031)

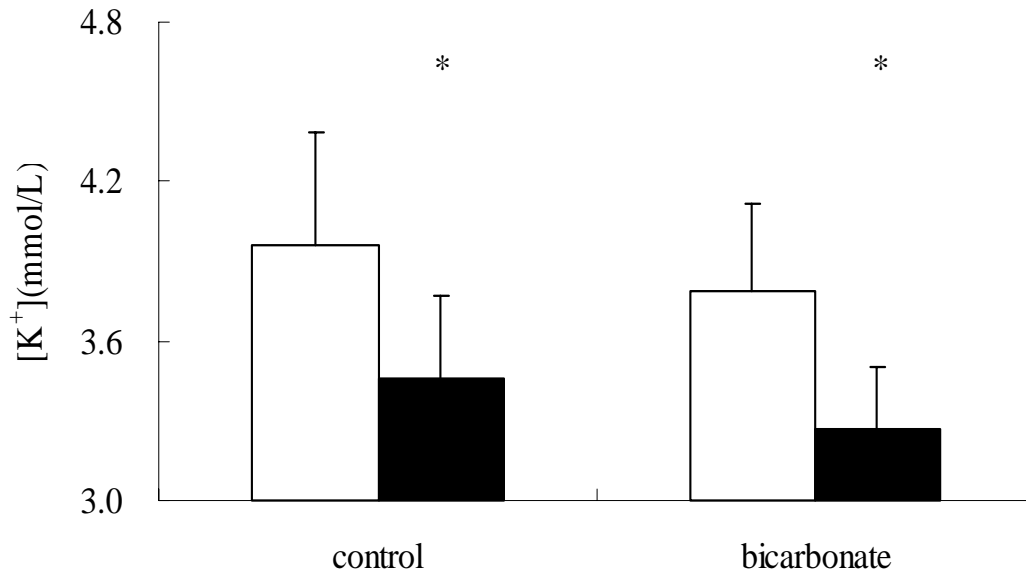


圖 4-7-8、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) K⁺值濃度

Trial effect, p=0.133

Time effect, p<0.001

Trial × time effect, p=0.930

*：同一 trial，pre-match 與 post-match 顯著差異(control trial p=0.011；bicarbonate trial p=0.001)

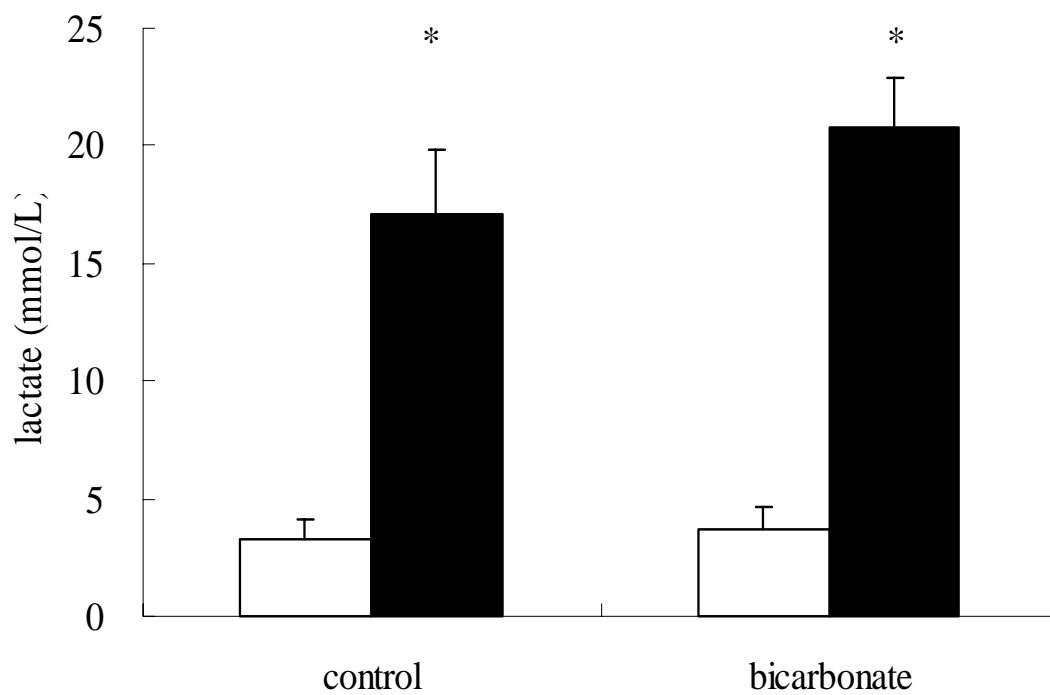


圖 4-7-9、男性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) lactate 值濃度

Trial effect, $p=0.005$

Time effect, $p<0.001$

Trial \times time effect, $p=0.007$

*：同一 trial，pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p<0.001$)

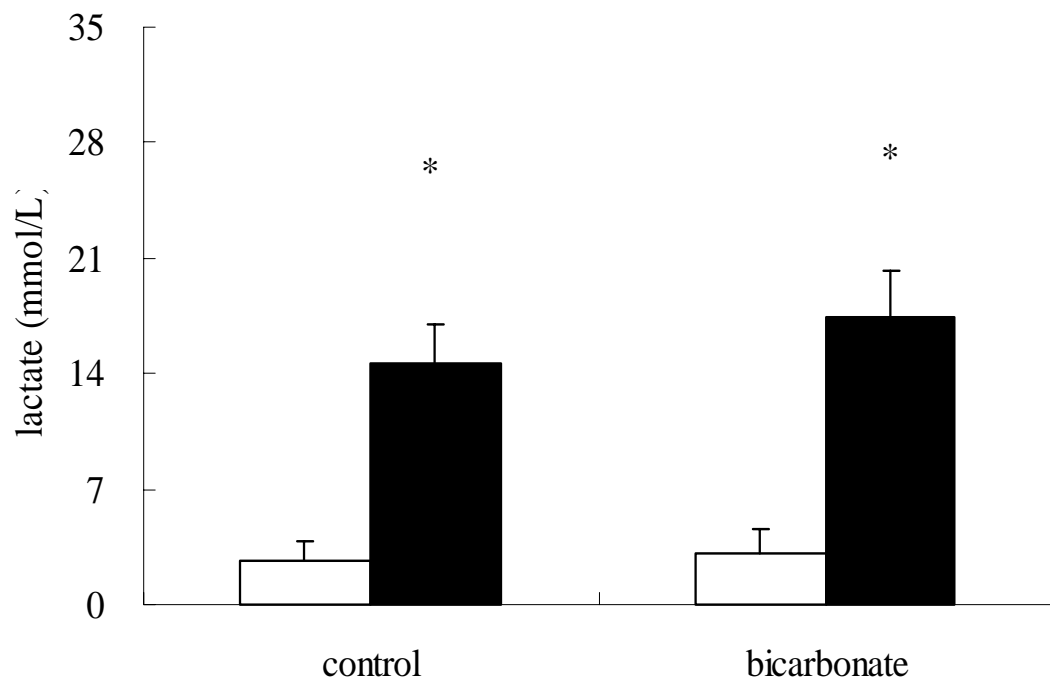


圖 4-7-10、女性 control trial 與 bicarbonate trial 模擬比賽前 (□)、後 (■) lactate 值濃度

Trial effect, $p=0.008$

Time effect, $p<0.001$

Trial \times time effect, $p=0.002$

*: 同一 trial, pre-match 與 post-match 顯著差異 ($p<0.001$)

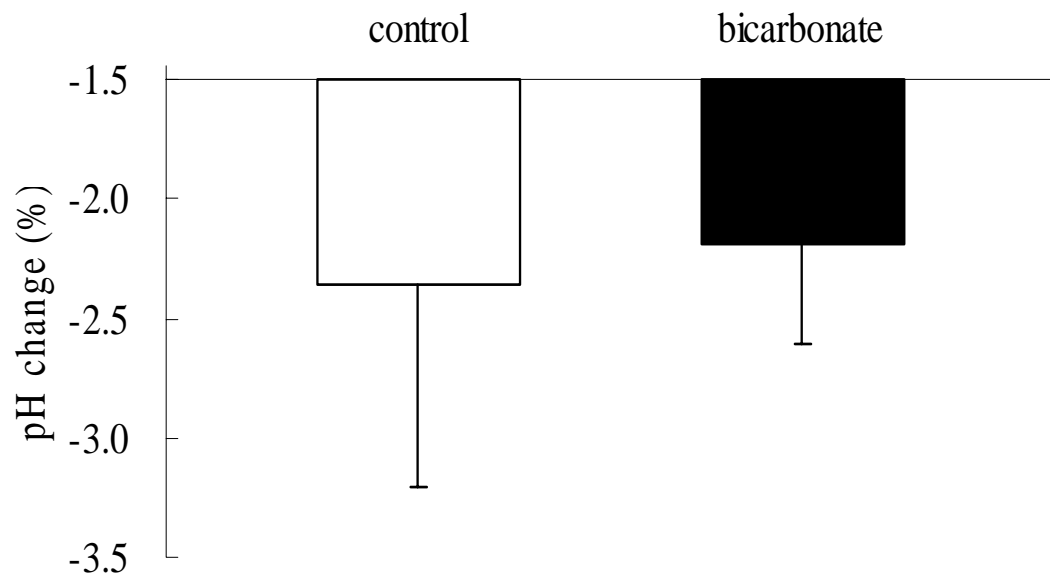


圖 4-7-11、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 pH 值改變百分比

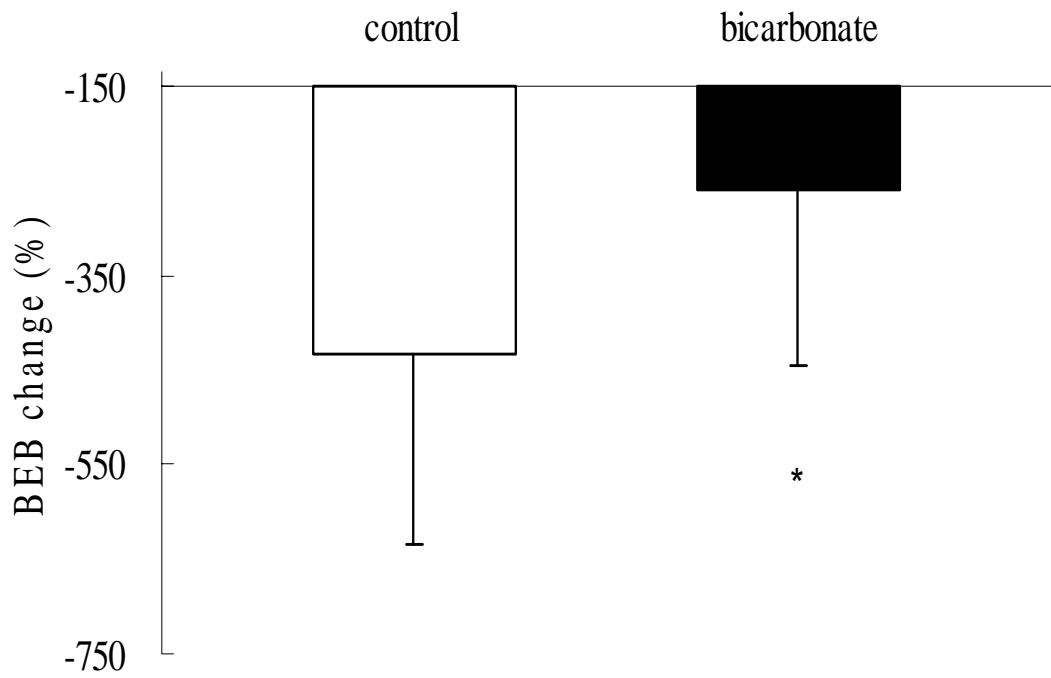


圖 4-7-12、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■)
 模擬比賽前後 BEB 濃度改變百分比

*：兩組間比較達顯著水準($p < 0.05$)

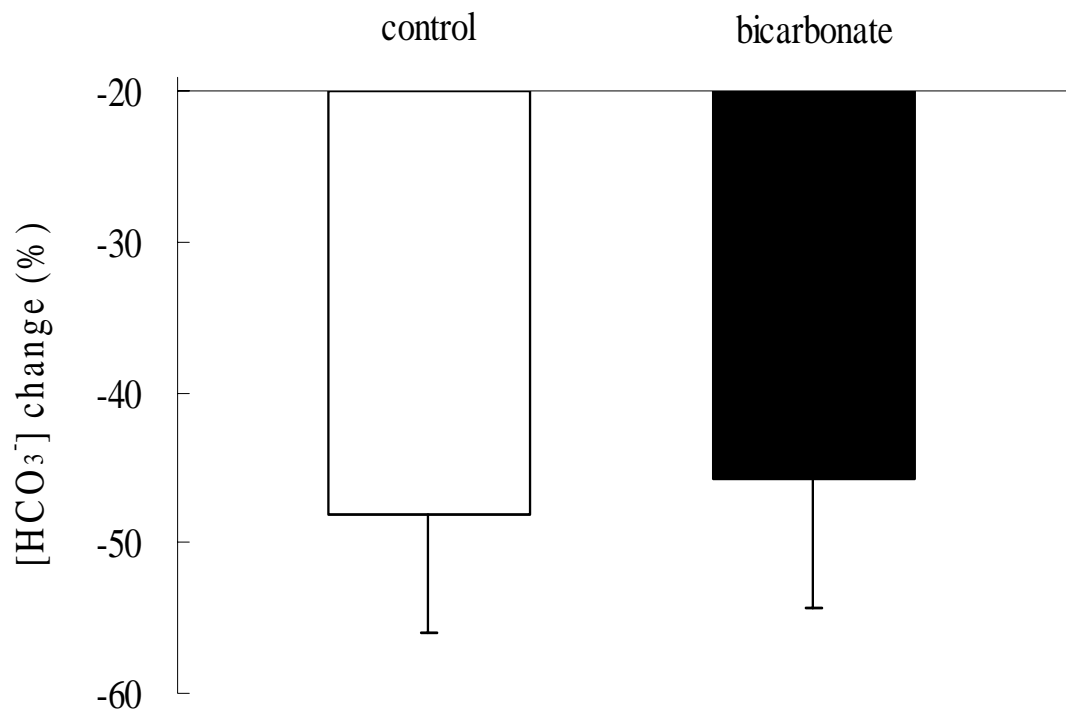


圖 4-7-13、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 HCO₃⁻ 濃度改變百分比

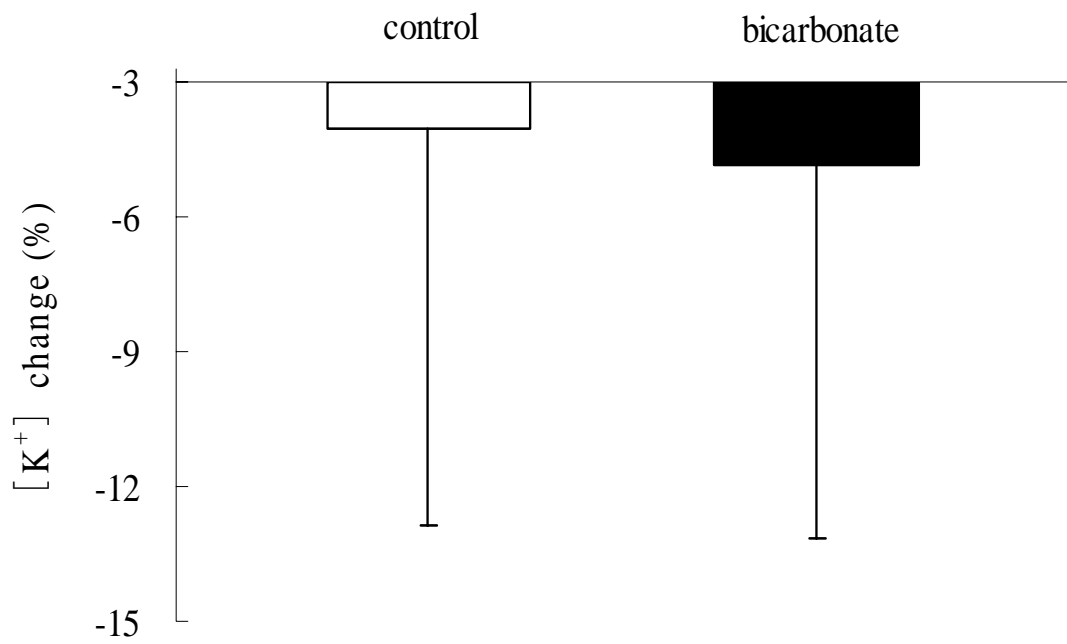


圖 4-7-14、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 K^+ 濃度改變百分比

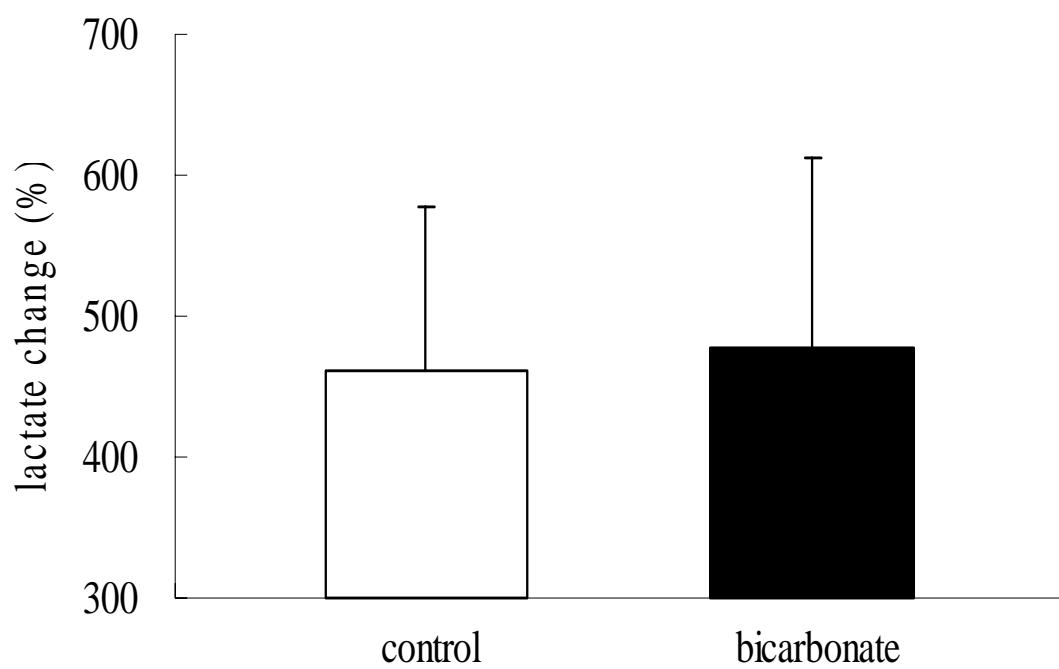


圖 4-7-15、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 lactate 濃度改變百分比

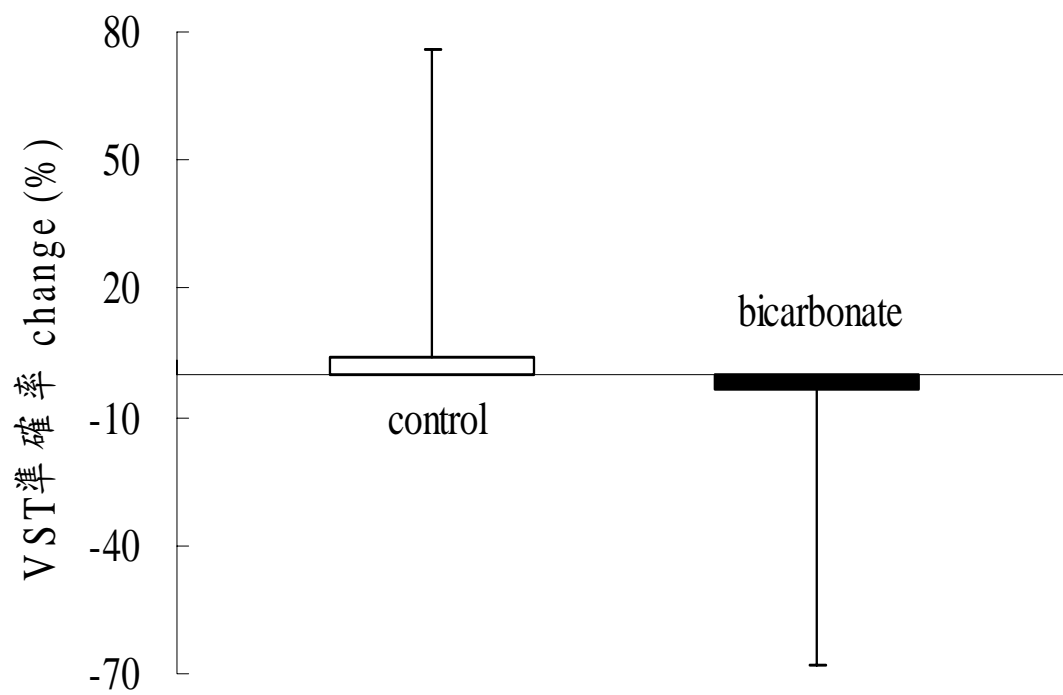


圖 4-7-16、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 VST 準確率改變百分比

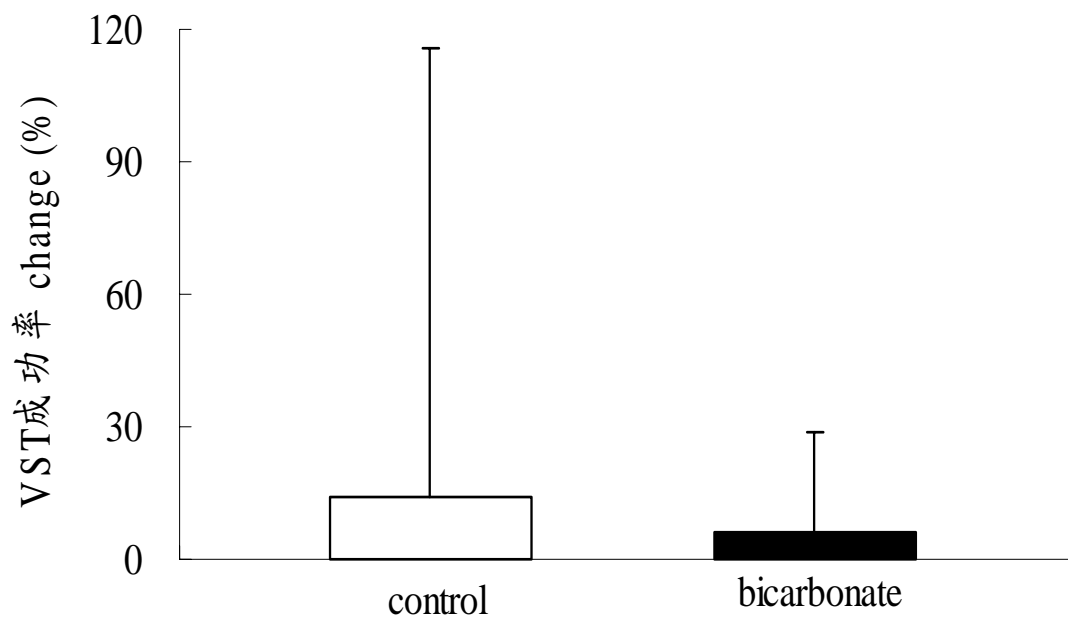


圖 4-7-17、男性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 VST 成功率改變百分比

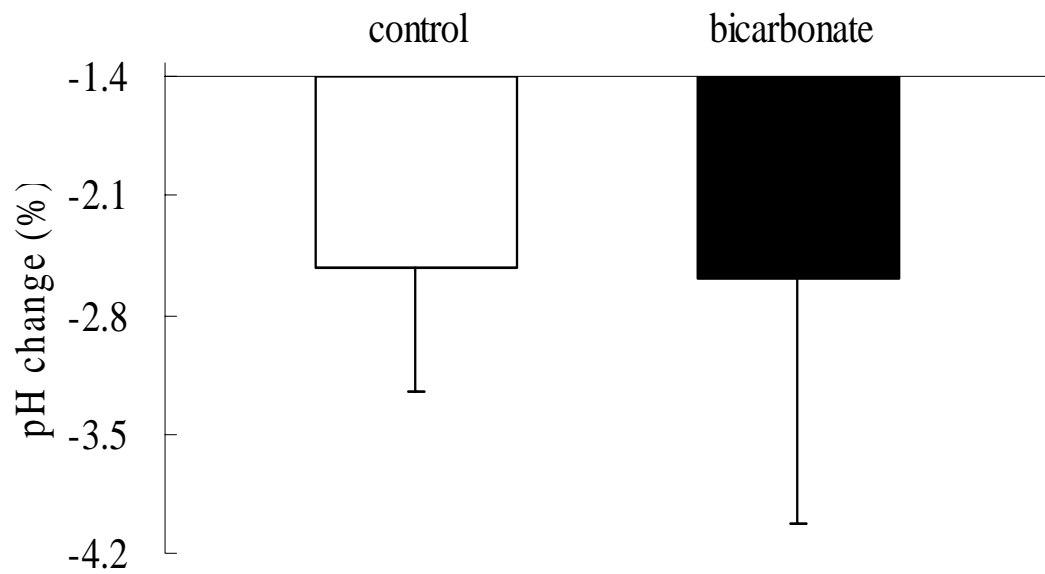


圖 4-7-18、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 pH 值改變百分比

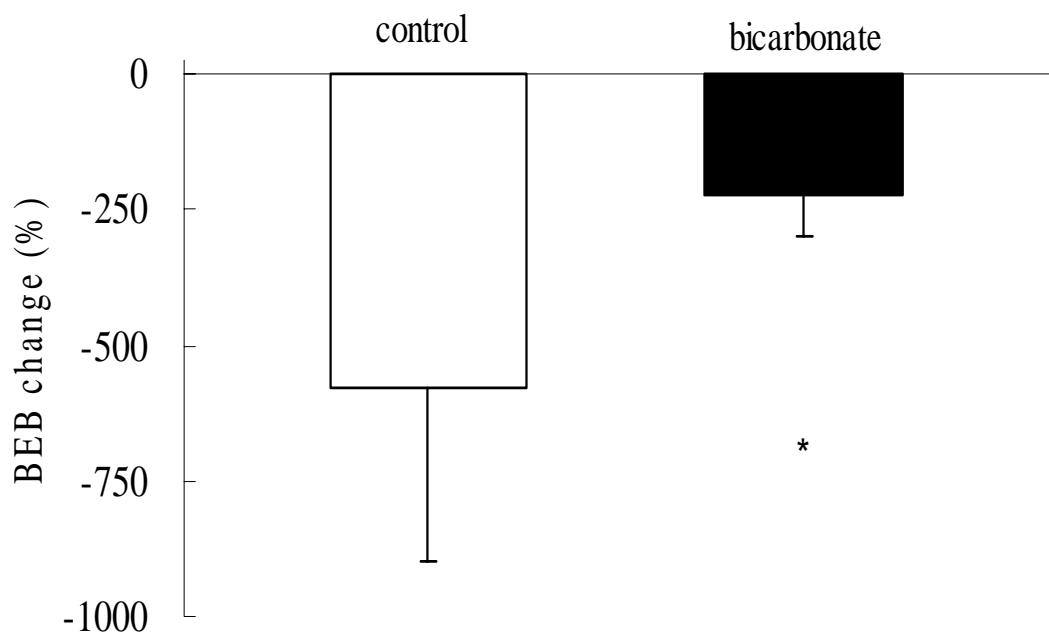


圖 4-7-19、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■)
模擬比賽前後 BEB 濃度改變百分比

*：兩組間比較達顯著水準($p < 0.05$)

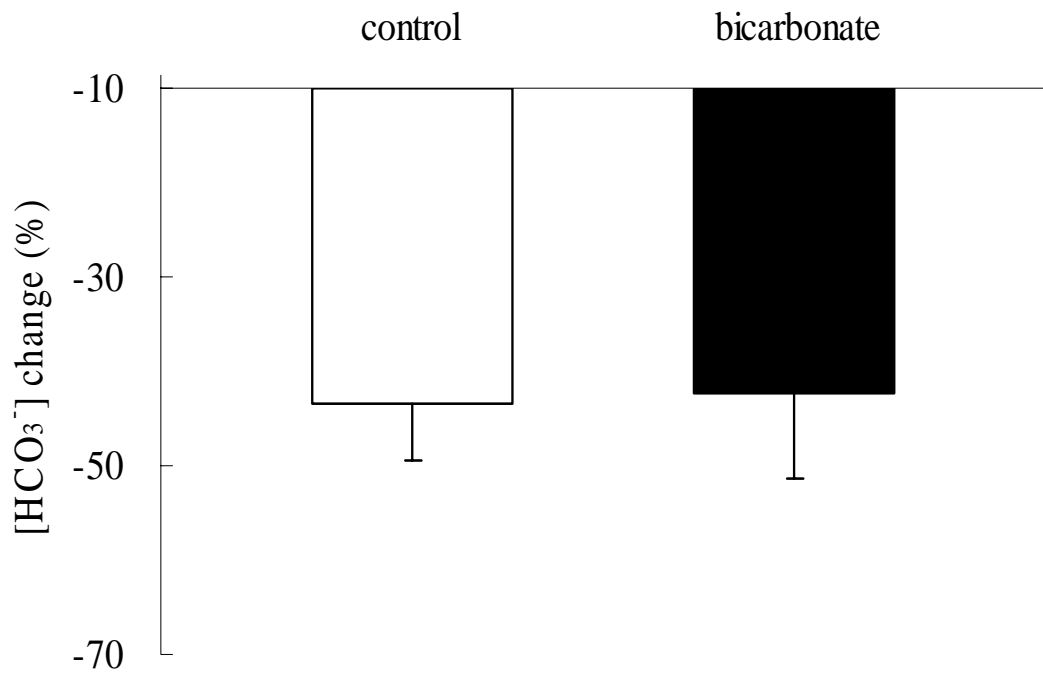


圖 4-7-20、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 HCO₃⁻ 濃度改變百分比

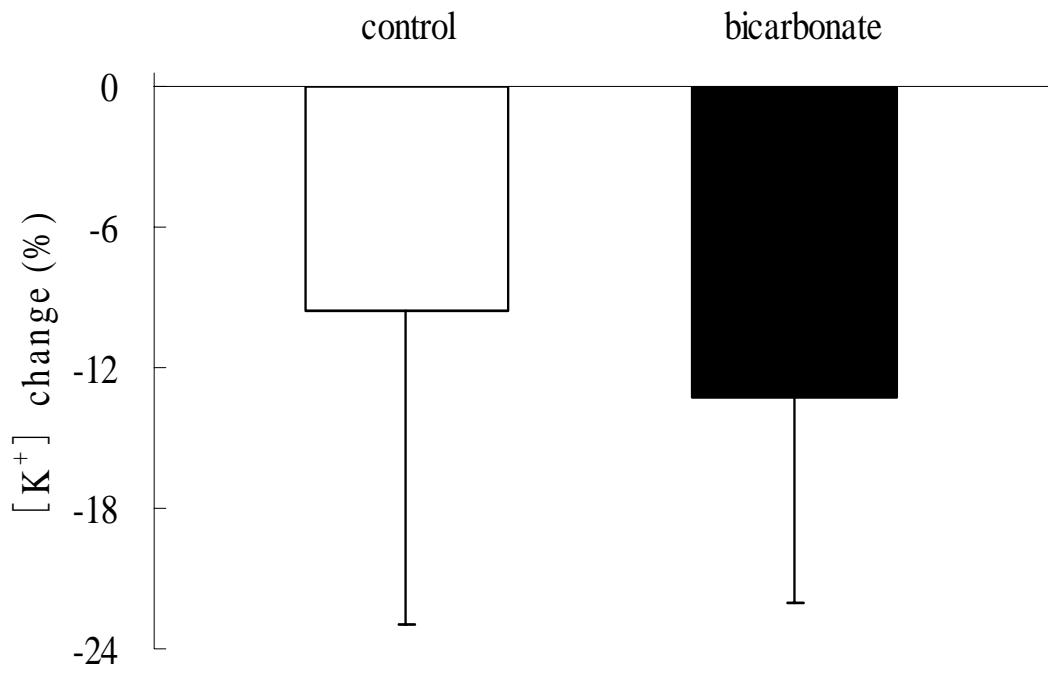


圖 4-7-21、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 K^+ 濃度改變百分比

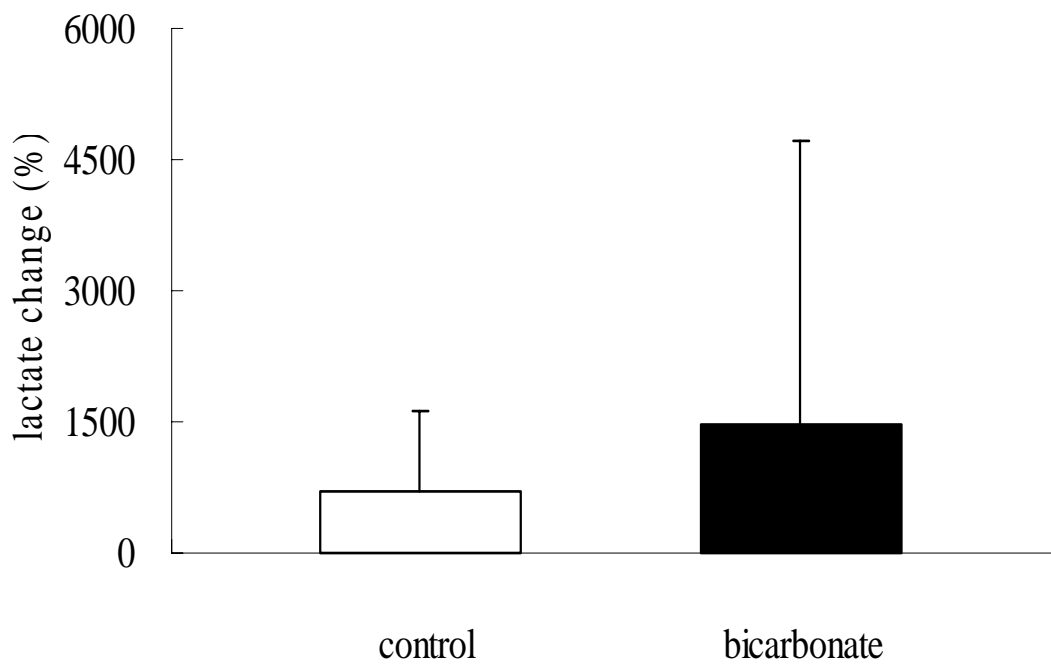


圖 4-7-22、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 lactate 濃度改變百分比

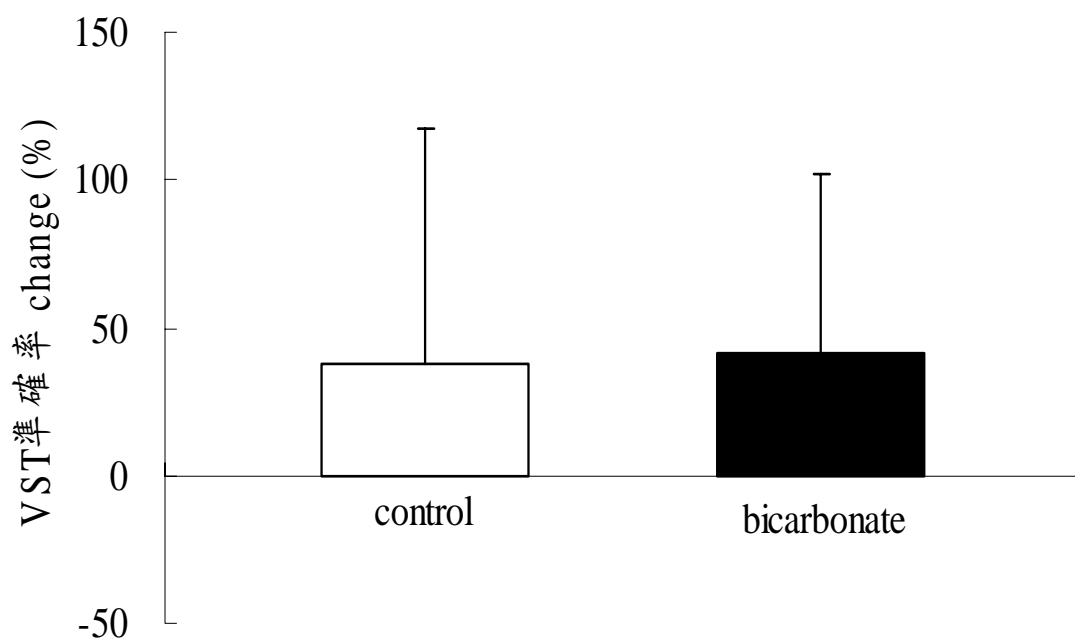


圖 4-7-23、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■)
模擬比賽前後 VST 準確率改變百分比

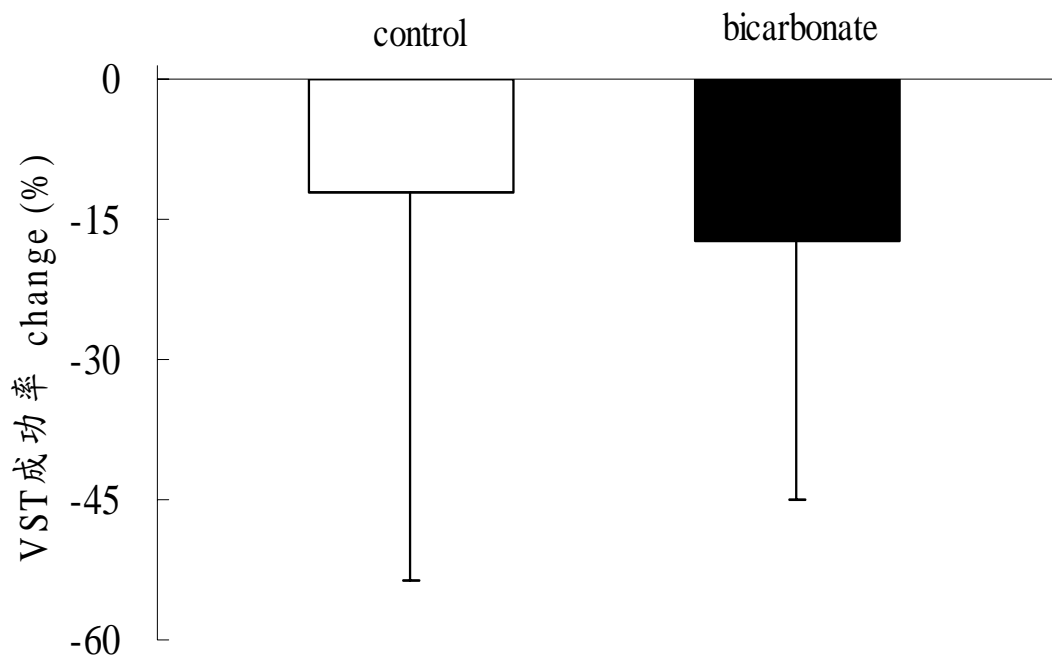


圖 4-7-24、女性 control trial (□) 與 bicarbonate trial (■) 模擬比賽前後 VST 成功率改變百分比