

國立臺灣體育運動大學競技運動學系
碩士學位論文

探討跆拳道選手於各種不同訓練模式和模擬比賽
準備期間及每回合休息間之腦波變化與運動表現
之相關性

INVESTIGATION OF THE BRAINWAVE CHANGES OF
TAEKWONDO ATHLETES IN DIFFERENT TRAINING
MODELS AND DURING THE PREPARATION AND EACH
REST TIME OF SIMULATED CONTEST



研究生：孫愛奇 撰

指導教授：方世華 教授

中華民國 102 年 7 月

探討跆拳道選手腦波變化於各種不同訓練模式和模擬比賽準備期間及每回合休息間之腦波變化與運動表現之相關性

中文摘要

跆拳道運動長久為我國奧運會奪牌重點項目之一，但國際體壇競爭激烈，在世界各國列強實力迅速攀升以及跆拳道規則不斷改變下，2004年雅典奧運跆拳道為我國摘下2面金牌的輝煌戰績已然走入歷史。為促進跆拳道運動於國際比賽之運動成績表現，本研究透過觀察跆拳道選手於技術訓練、體能訓練、戰術訓練三種不同訓練模式及模擬比賽中每回合開始前之腦電波狀態。本論文以國立臺灣體育運動大學跆拳道代表隊12名男性跆拳道選手作為研究對象，12名選手皆具國際性比賽或全國性比賽前三名獲獎經驗。利用神念科技(Neurosky)及大寶科技公司共同研發Zig-bee多人腦波儀器收集選手在三種訓練模式及模擬比賽前準備期間及比賽中每回合休息間開始前腦波數據。結果顯示：(一)技術訓練：受試者在踢擊過程中 γ 波活性較休息過程顯著降低。(二)體能訓練：在進行跑步運動時，受試者心跳率達每分鐘110-150下期間， β 波明顯較休息狀態活躍。(三)戰術訓練：觀看自己或同量級對手之比賽影片並有教練協同指導分析比賽影片中之優缺點，受試者在觀看比賽影片時 γ 波活性比休息狀態及

觀看卡通影片時顯著上升。(四)模擬比賽：勝負兩方於比賽前準備期間腦波並無差異，於第 2 回合比賽開始前 30 秒，勝方 δ 波較負方活躍， α 及 γ 波較負方顯著下降。本論文結果顯示跆拳道運動在不同訓練模式下，大腦會呈現不同活動狀態，另外模擬比賽的結果也顯示跆拳道比賽中第 1 回合休息期間教練擬定戰術計畫與選手執行快速決策之能力有可能是影響比賽勝負的關鍵。

關鍵字：跆拳道、腦電波、訓練模式、模擬比賽

Investigation of the brainwave changes of Taekwondo athletes in different training models and during the preparation and each rest time of simulated contest

Abstract

Taekwondo is one of our national medal-winning sports in Olympics. However, due to the competitive atmosphere in international sport field, the glory in 2004 Olympics in Athens has come to an end. As a result, the relationship between three types of training, namely physical, tactical and technical training, and the corresponding brain wave before the game was investigated in order to shed some light on the method for improving sport performance in international games.

Twelve elite male Taekwondo athletes from National Taiwan University of Physical Education and Sport were studied. We used zigbee multi-brain-instrument developed by Neurosky and Alchemytech to collect the brainwave in three kinds of training during the preparation period before the game.

The result showed that 1. Technical training: subject's γ wave is more prominent in kicking than in resting. 2. Physical training: subject's β wave is more prominent in running (heartbeat at about 110-150 bpm) than in resting. 3. Tactical

training: subject's γ wave is more prominent in analyzing the game video than watching the cartoon video. 4. Simulating the game: No significant difference between the two contestants was found during the preparation period before the game. However, The δ wave of the winner was always more prominent than that of the loser at the moment of 30 seconds before the beginning of the second round. In addition, the α wave and γ wave of the winner were significantly lower than that of the loser.

This research showed that different patterns of brain wave were elicited for different types of training. The most important signature for winning is the brainwave of the resting and tactic analysis after the first round. The planning of the coach and the execution of the athlete were significantly correlated to the game result.

Key words: Brain wave 、 EEG 、 Taekwondo 、 training models 、 simulated contest

中文摘要	I
ABSTRACT	III
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第壹章緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究問題	5
第四節 研究限制	5
第五節 研究假設	5
第貳章文獻探討	6
第一節 大腦基本構造及腦電圖	6
第二節 腦電波頻率與相關運動表現	9
第三節 腦電波、冥想 (Meditation)、專注 (Attention)	17
第參章 研究方法與步驟	20
第一節 研究對象	20
第二節 實驗設計	20
第三節 研究工具	23
第四節 統計方法	25
第肆章 結果	26
第一節 休息狀態與左右腳踢擊動作腦波活動差異	26
第二節 休息狀態與跑步運動中各心跳率腦波活動狀態 差異	26

第三節 觀看比賽影片腦波活動狀態差異	27
第四節 模擬比賽前及每回合休息期間勝負兩方選手腦 波頻率變化	27
第伍章 討論	28
第一節 技術訓練與腦波活動狀態	28
第二節 體能訓練與腦波活動狀態	30
第三節 戰術訓練與腦波活動狀態	32
第四節 模擬比賽前準備期間及每回合中間休息期間勝 負雙方腦波變化之差異	33
第陸章 討論與建議	36
參考文獻	38
附錄一 中區區域性研究倫理中心研究倫理審查委員 會研究同意書	52
附錄二 受試者同意書	53

圖目錄

圖 2	腦電波各階段頻率波形(α 、 β 、 δ 、 θ 、 γ)	59
圖 3-1	技術訓練腦電波紀錄流程圖	60
圖 3-2	體能訓練腦電波紀錄流程圖	60
圖 3-3	戰術訓練腦電波紀錄流程圖	61
圖 3-4	模擬比賽腦電波紀錄流程圖	61
圖 3-5	腦波耳機技術傳遞信號過程	62

表目錄

表 3-1	受試者基本資料	63
表 4-1	休息與左右腳踢擊之腦電波頻率變化	63
表 4-2	休息與跑步過程中不同心跳率之腦電波頻率 變化	63
表 4-3	休息與觀看比賽及卡通影片腦電波頻率變化	64
表 4-4	模擬比賽前及每回合休息期間勝負兩方選手 腦波頻率變化	64

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

跆拳道起源於韓國，西元 1966 年跆拳道自韓國引進臺灣並將其命名為苜拳道，做為當時三軍戰技訓練之課程。1968 年國防部將苜拳道更名為跆拳道，在一些軍官退休後將跆拳道帶入民間推廣，日後在跆拳道協會及各基層教練積極推廣下，奠定跆拳道發展的基礎。政府於早期就開始聘請韓國教練來臺灣指導國家隊的選手，因此當時臺灣參加國際比賽中獲獎無數，1988 年漢城奧運及 1992 年巴塞隆納奧運示範賽中共獲得 5 金 4 銅之佳績，2000 年雪梨奧運跆拳道列入正式比賽項目後，跆拳道也為我國摘下 2 面銅牌，2004 年雅典奧運不僅為我國突破 72 年來的零金魔咒，且一舉獲得 2 金 1 銀，此時可堪稱為臺灣跆拳道發展之黃金時期。隨著跆拳道列入奧運正式項目後，世界各國開始重視此運動項目發展，國際賽會中參賽隊伍日以劇增，另外，為增加跆拳道比賽之公平性及可看性以確保續留奧運正式項目中，世界跆拳道聯盟（The World Taekwondo Federation, WTF）不斷修改比賽規則，並於 2010 年亞洲錦標賽開始採用電子護具進行正式國際賽會，比賽不再由裁判主觀意識作為主導勝負的重要因素之一。但由於電子護具感應得分方式與裁判肉眼判斷得分方式不相一致，因此，跆拳道技術層面於此時出現極大轉折點。

由 2008 年北京奧運 2 面銅牌及 2012 年倫敦奧運 1 面銅牌，顯見臺灣跆拳道無論在技術或體能方面之優勢皆不復以往輝煌時期。雖然跆拳道目前仍是我國在奧運得牌之重點項目，但國際體壇競爭激烈，世界各體育運動組織及學者為幫助運動員屢創佳績、追求卓越，不斷鑽研多元化之運動科學，包括生理、心理、力學及營養學等相關科學，以期望能實際改善運動技能與選手成績(黃雅琳，2008)，將訓練與運動科學結合，其中腦造影技術在科技進步下也逐漸被應用在運動領域上，其目的主要是為探討運動員在執行動作或訓練中與大腦何種狀態連結能達到最理想的運動表現，我國若想突破現狀，更需因順應時代趨勢將訓練與運動科學中各種領域結合，得以期望在之後重返世界列強。

以往在閉鎖精準性運動如射擊、射箭、高爾夫球這類運動均需要準確度及穩定性以達到理想運動成績表現，閉鎖性運動在比賽情境及節奏較為選手自己所能控制，因此在練習過程中可透過模擬比賽情境來組織和執行動作技能，達到一致性(consistency)的技能表現(洪聰敏，2005)。閉鎖性運動選手若想達到理想運動成績，比賽中必須維持穩定的專注力，並且不能有太多情緒起伏，學者表示在比賽中運動技能執行前的幾秒鐘，選手的心理狀態也許是影響技能表現的重要關鍵(Salazar et al., 1990)。科技進步所賜，透過腦部影像掃描工具如腦電波儀(electroencephalogram, EEG)、腦磁波儀(magnetoencephalography, MEG)、正子輻射斷層掃描(positron emission tomography, PET)、單光子電腦斷層掃描(single photon emission computed tomography, SPECT)以及功能性核磁共振造影掃描(functional magnetic resonance

imaging fMRI) 等儀器，(劉貞勇、邱文信，2012)，以非入侵之方式透視了人腦結構及其活動功能。隨著科技日新月異，測量腦部活動儀器也不斷精進，進而將腦造影技術漸漸擴展至各科學領域，其中包含運動研究領域。運動領域比較常用的研究工具是腦電波儀，因為腦波儀不具入侵性，與其他腦造影儀器相比便宜很多，攜帶及使用上也比較方便。Decety (1996) 研究發現當個體意象某些動作時，許多大腦的區塊都會變得較為活躍。另外學者表示選手在感覺時間靜止、專注、無雜念完全沉靜在運動中的狀態時能有較佳的運動表現 (Williams, Krane, 1998)，而研究腦電波主要為探討運動員在動作執行或訓練過程中如何與大腦連結達到較理想的專注狀態以獲得高峰期或理想的表現，在競賽時能提供具有優勢的競爭力。運動科學研究者利用腦造影技術以探討如靜坐冥想的心靈運動類以及射擊、射箭、高爾夫等閉鎖性運動種類，觀察其中腦電波與運動表現相關之狀態及其相關性。在眾多腦造影儀器中，運動領域較常使用腦電波儀 (以下簡稱 EEG) 做為研究工具，因 EEG 與其他腦造影工具相比較下除了不具侵入性外，在使用上較為方便攜帶，費用也較為便宜。學者大多利用 EEG 來比較閉鎖性運動時，優秀運動員與一般運動員出手前腦中各部位的腦電波功率變化，並且也能依照不同之研究方法將其研究分為腦波側化、腦波時間穩定性及腦波相關性進行探討 (洪聰敏、石恆星，2009)。但跆拳道屬開放性運動類，比賽中動作需隨外在情境變化作相應變化的技能，在比賽中很難有效預測對未來的動向而做出即時的反應。以往的研究因為受到儀器的限制，大多都能只針對閉鎖精準性運動像射箭射擊高爾夫或者是一

些心靈運動如瑜珈，禪修這類等靜態活動，對於如跆拳道這類開放性運動，比賽時幾乎無法預測對方及自己下一秒動作的反應，不同於閉鎖性運動有規律性且穩定的動作執行。因此想透過腦造影工具來探討大腦與開放性運動在訓練期間及比賽相關運動表現較為困難。神念科技（Neurosky）公司與美國、克羅埃西亞奧運代表隊及北京體育大學的共同合作下，研發出與運動員運動表現相關聯的腦波儀器，將儀器訊號傳輸改良為無線藍芽傳輸，將儀器帶出實驗室外，使運動員在訓練場地透過腦波活動觀察選手在訓練中動作執行前專注力的狀態、亦或某些特定選手是否容易出現較焦慮或緊張之情形，以做為教練在針對個體差異時擬定訓練計畫之參考與評估。本研究希望藉由此項技術了解跆拳道選手在各種訓練模式期間以及比賽前腦電波活動狀態與運動表現相關性，探討大腦活動與開放性運動間之關聯，作為日後教練了解選手在練習及比賽時專注力或焦慮表現之參考，並且適時給予選手心理舒壓及加強專注力之訓練。

第二節 研究目的

本篇研究目的主要在於了解跆拳道選手各種訓練模式期間、比賽前及比賽中每回合休息間腦波活動狀態及與運動表現之相關性，作為擬定跆拳道訓練模式及比賽計劃策略之參考，進而改善運動技能及提升選手運動表現。

第三節 研究問題

- 一、了解選手在體能訓練、技術訓練、戰術訓練期間腦電波活動狀態及與訓練之相關性。
- 二、了解選手在賽前準備期間及比賽中每回合休息間腦電波活動狀態及與運動表現之相關性。

第四節 研究限制

本研究使用之腦波儀器在檢測過程中，如體能訓練時跑步速度過快，模擬比賽時需隨時保持移動及攻擊狀態，會因受震盪過大導致雜訊干擾無法採集有效腦波訊號，因此本研究設計以能採集有效腦波訊號作為優先考量。

第五節 研究假設

- 一、比較技術訓練與安靜狀態時腦波之差異。
- 二、比較體能訓練時，安靜狀態與不同心跳率腦波狀態之差異。
- 三、比較觀看跆拳道影片做為戰術訓練與看搞笑卡通影片時腦波狀態之差異。
- 四、比較模擬比賽時準備期間及各回合休息間，勝負兩方對戰選手腦波狀態之差異。

第貳章 文獻探討

本研究旨在了解跆拳道選手在各種訓練期間、賽前準備及比賽時各回合休息間腦電波變化狀態，因此本章將分為三部分進行相關文獻之探討。第一節簡述大腦之基本構造及腦電圖頻率；第二節探討腦電波各頻率所代表意義及與其他運動項目表現之相關性；第三節為腦電波與冥想及專注力等心靈運動類之關聯介紹。

第一節 大腦基本構造及腦電圖

大腦內的組成細胞稱為腦細胞，腦細胞又分為神經元及膠細胞，前者的功用是負責與身體其他部位做溝通連結，膠細胞則是負責支撐整個腦組織，使大腦能順利運轉。而神經元利用電流的方式傳遞訊息，由頂端的樹突負責接收及輸入訊息，樹突蒐集許多不同來源的信號後沿著長條狀的軸突產生一個新的化學信號，到達軸突末端傳至下一個神經元的樹突，每個神經元與其他神經元間信息的發送及接收都是透過高達數十萬個突觸來進行，當突觸越多時，傳遞信息的速度則越快速，身體有效執行的動作也更為細膩(楊玉齡，2008)。

人體透過眼睛、耳朵或皮膚等感覺器官來接收外在信息後以電波的形式來到大腦視丘，視丘位於大腦中央，負責過濾信息，然後將它們以更多的電波形式傳遞至皮質，皮質是佔大腦容量最多的部位，約占整個大腦四分之三的重量，形狀

呈皺褶，包裹在大腦頂端及四周，學者將大腦皮質分為四個區域，枕葉位於後腦負勺，責視覺感官；顳葉位於兩耳上方，與聽覺、語言理解、學習、記憶及情緒之反應都有重要關係；頂葉位於大腦頂部兩側，負責感覺整合及注意力的分配，額葉區域位於大腦前額，除了負責下達動作指令、產生語言外，會依照人類在執行動作時其目的與環境的考量來選擇適當的行為（楊玉齡，2008）。另外本研究使用之腦波儀器把唯一的傳感電極片位置設置在前額處，因學者認為大腦前額處的皮質產生了更高級的思維。人的情緒，精神狀態及專注狀態都受這個區域的控制。

德國精神科醫生 Hans Berger 在電鰻身上發現電氣活動，因此將此原理推論在人體身上，經不斷研究後終於在人體頭蓋骨中大腦皮質表面發現相同的電氣活動變化，他記錄、測量腦內微小的放電過程，並首次發表人體腦電波紀錄圖，將其命名為腦電波圖（electroencephalogram, EEG）（Haas, 2003），腦細胞產生之動作電位稱為腦波（brain waves），腦波易於穿過頭骨而由電極偵測出來，於頭皮上放置多個電極紀錄大腦皮質在短時間內從大腦內神經元傳遞信息的過程中增加的微小電流而產生的自發性電活動，時間通常約為 20 - 40 分鐘（Schomer & Silva, 2010）。20 世紀初科學家測量腦波的方式採用侵入式，將信號接收器植入大腦灰質，此方法雖然能擷取到強度較高的神經電流信號，但檢測時也可能會因為接收器在人體內受到其他生理干擾，導致信號強度減退，甚至消失，造成的副作用會造成身體組織受到傷害，甚至引起免疫反應（林三永，2011）。隨著時代進步，科學技術在應用上也不斷創新突破，為幫助因神經肌肉

損傷而行動不便的病人，20世紀末美國洛杉磯大學加州分校發展出大腦人機介面 (Brain Computer Interface, BCI)，此項技術可以不依靠周邊神經和肌肉等，以非入侵性的方式利用 BCI 系統反映出人體活動時大腦電波信號，達到與外界溝通、傳達消息等目的。在 EEG 作為非侵入式腦機介面已經得到深入的研究，其主因為 EEG 與其他腦造影儀器相比下擁有較優良的時間解析度、便攜性以及價格上較為便宜。唯一較嚴重問題是它對噪聲的敏感，容易因外在干擾造成過多雜訊。

大多數時間，腦電波皆呈不規則活動的狀態，因此腦電波活動根據其振盪波幅及週期來做紀錄，一次振盪的電流稱之為波幅，單位使用為微伏 (μV)，一秒內循環變化的週期數稱為頻率，單位使用為赫茲 (Hertz, Hz)。這些振盪在幾個特定的頻率範圍內、空間分布及大腦功能上，例如清醒與各種睡眠階段都呈現不同的狀態 (Whittingstall & Logothetis, 2009)。

腦電波基本上分為 alpha (α) 波、beta (β) 波、delta (δ) 波及 theta (θ) 波等四種頻率，在大腦中振盪電波信號都是非常微小的，正常的成年人頭皮測量到腦電波信號的振幅約為 $10 \mu\text{V} - 100 \mu\text{V}$ ，頻率約為 $1 - 20 \text{ Hz}$ (Aurlien et al., 2004)。最初腦電波發展在記錄數字和測量節奏上通常不超過 25 Hz ，所以低於或高於 $1 - 25 \text{ Hz}$ 之範圍內都無法被紀錄，因此關於 gamma (γ) 波的研究直到近期才漸漸備受重視 (Hughes, 2008)。腦電波頻率命名方式並非依照頻率強度，而是依照發現時間，利用希臘字母順序排列而命名分別為 α ($8 - 13 \text{ Hz}$)、 β ($13 - 30 \text{ Hz}$)、 δ ($0.5 - 4 \text{ Hz}$)、 θ ($4 - 7 \text{ Hz}$)、 γ ($31 - 50 \text{ Hz}$) (Kandel, Schwartz, & Jessell, 2000)， α 與 β

波是 Berger 於 1929 年第一次發表腦電波圖時便發現之兩種不同腦電波頻率 (Schomer & Silva, 2010)，1936 年 Walter 提出 δ 及 θ 的腦波形態，並且認為 θ 波活動是由丘腦 (thalamus) 所發出，而 γ 波最早的報告出自於學者在清醒的猴子視覺皮層植入電極紀錄到的電波活動 (Hughes, 1964)。這些腦電波頻率在一般的定義上， α 波在閉眼休息時活性最強，表示人的意識清醒但身體呈較放鬆狀態； β 波則是表示人體處於較忙碌，焦慮，思想較活躍或是高度集中精神時的狀態； γ 波主要由大腦額葉和頂葉聯合皮質區誘發，當大腦需處理較複雜的認知及情感功能時，腦神經網絡整合過程中會引起腦波出現短暫高振幅狀態，因此 γ 波被認為對知覺、語言處理、認知功能行為與情緒控制上具有重大影響力；而當人體及精神都處於深層放鬆無意識的狀態下時 θ 波會較為活躍，另外 θ 波也被認為與強化長期的記憶有重要相關性； δ 波與平穩的睡眠有較大的關係，平穩的睡眠能讓人體生理功能得到休息與修護，如細胞的代謝、加速生長活動等，而 δ 波在進入非常深層的睡眠時較為活躍，因此又稱為慢波睡眠。

第二節 腦電波頻率與相關運動表現

(一) α 波 (8 -13 Hz) (圖 2)

α 波出現大約在嬰兒時期 4 個月，最初為每秒 4 波的頻率，直到兒童 3 歲時 α 波開始穩定大約每秒 10 波的頻率 (Kolev, Başar-Eroglu, Aksu, & Başar, 1994)，而 α 波主要為視覺皮層在空閒狀態下會出現的腦電波頻率，呈現輕鬆的心

理狀態，尤其是在閉眼休息時，但並非因為疲勞或呈睡眠狀態，閉眼狀態時腦電波在枕葉區域 α 波為最強的電波信號，睜眼後則隨即減弱，因此 α 波表示人的意識清醒而身體較為放鬆，在這種狀態下消耗的身體能量較少，但腦部所獲得的能量相對的較高，運作上更為順暢及快速。另外學者透過瑜珈練習來觀察血液中皮質醇 (cortisol) 濃度及大腦前額葉 α 波活性的變化，瑜珈是一種必須集中意識，使身體在某姿勢下靜止維持一段時間，使身體四肢均衡發展的運動，而皮質醇濃度為一生理的壓力指標，濃度越高表示人體的壓力可能也相對的提高，研究結果顯示經過整個 50 分鐘的瑜珈運動後，受試者皮質醇濃度較運動前來的低，而額葉區域 α 波在過程中呈現增強的狀態，與皮質醇濃度呈現負相關 (Kamei et al., 2000)，顯現出大腦活動與身體其他生理指標具有其重要的相關性。

腦電波紀錄顯示，大腦活動從左側轉移到右側的傾向意味著執行動作時會將與語言能力相關的左半腦轉移到與視覺空間相關的右半腦，以產生「自動控制力」。在競技運動的環境中較常用 α 波做為評量注意力指標的腦波頻率，以射擊選手為例，較一致性的發現是射擊性表現的準確度與左腦 α 波頻率有關，在扣板機與放箭前幾秒鐘，左半腦的 α 波活動有增加的現象。 α 波活動增強代表選手能控制自身專注能力，降低左腦的認知活動 (季力康等人，2012)。因受限儀器及場地限制的關係，以往在腦電圖與優秀運動員相關之研究大多都將焦點擺在閉鎖性運動項目，探討在執行精準動作過程中腦電波與一般選手不同之處。曾有學者指出射擊精準度與 α 波增強狀態具有相關性 (Shelley-Tremblay, Shugrue, &

Kline, 2006)，由於 α 波可以作為放鬆的指標，當頻率增強時可以視為該大腦部位的放鬆，反之如果頻率降低表是該大腦部位正處於活躍的狀態 (洪聰敏、石桓星，2009)，因此綜觀近 30 幾年來，多數閉鎖性精準運動，例如射擊扣板機、射箭拉弓及高爾夫球推桿的動作執行上，都將研究方針指向腦電圖 α 波活性的變化，其中較為典型之研究為 Hatfield (1984) 研究 17 位國際級來福槍射擊選手，記錄他們在扣板機前 7.5 秒腦電波狀態，發現在接近扣板機時大腦左顳葉區域 α 波活性增加，右顳葉區域則穩定不變，研究結果顯示負責處理視覺及空間能力的右腦是影響射擊精準度之重要因素，這項研究亦成為運動影響腦電波偏側化之理論的一個重要開端 (Hatfield, Landers, & Ray, 1984)。除射擊、射箭運動外，學者研究高爾夫球選手專注力模式與腦電圖間之關聯性，根據 Hatfield (1984) 從射擊選手在運動表現及右腦模式來推測高爾夫球員越接近推桿動作時左腦 α 活性會下降，而右腦將保持相對穩定。而運動表現方面右腦 α 波活性會與精準度有關係，即右腦 α 波強度增加，擊球精準度也會相對提高，表示個體執行動作的自動化能力提升。研究記錄高爾夫球選手在推桿前 8 秒腦電波變化後，發現右腦顳葉區域 α 波功率隨著越接近推桿時間越有顯著下降的趨勢且精準度較差。而當精準度較佳時右腦 α 波也隨之增加。左腦運動皮層區域 α 波則在推桿後一段時間內增加，顯見左右腦顳葉區域 α 波在執行動作過程中的變化能表示注意力的轉移現象 (Crews & Landers, 1993)。依此邏輯，Haufler (2000) 在新手與專家級之射擊選手間比較兩者在射擊扣板機前左、右腦腦電波之差異，結果顯示兩者顯著差異出現在左腦顳葉區

域，另外新手右腦腦電波 α 活性也顯著低於專家級選手 (Haufler, Spalding, Santa Maria, & Hatfield, 2000)，由於新手缺乏對特定任務的認知策略，因此推論新手在執行任務時其大腦分配資源的效率不高。從以上幾個較古典研究可以大概推測出精準性運動在越接近出手點時，左半腦活動會有逐漸放鬆之現象產生，在比較菁英運動員與一般未經訓練的受試者執行特定動時，觀察腦電波結果多為菁英運動員在 α 波的活性皆比一般受試者活躍，因此 α 波被視為與提升技能水準有相關性。

除上述研究瑜珈運動與一些需具備高度精熟技巧的運動員在執行動作過程中 α 波活性會有明顯變化外，另外有研究指出一般如跑步運動亦會使 α 波活性增加 (Crabbe, Smith, & Dishman, 2007; Fumoto et al., 2010; Hall, Ekkekakis, Van Landuyt, & Petruzzello, 2000; Schneider, Brümmer, Abel, Askew, & Strüder, 2009; 趙佩佑, 2011)。有研究比較長期運動習慣者在與鮮少運動者間腦波之差異後發現有運動習慣者 α 波活性較高。但由於腦波檢測經常受到器材之限制，大多只能比較運動前後腦波變化 (Crabbe & Dishman, 2004)，無法確切記錄到運動過程中腦電波，因此在各研究結果也會因實驗設計之運動強度而使腦波有所差異，例如在進行較高強度運動後休息一開始 α 波會顯著上升，但隨著休息時間漸長則觀察到 α 波會有下降趨勢；反觀低強度運動後 α 波維持上升現象可延續較久時間 (Schneider et al., 2009)。上述研究皆指出運動能增強大腦 α 波活性，因此 α 波活性增強亦被認為能反映出大腦放鬆及焦慮狀態的改善 (洪聰敏、石恒星, 2009; Schneider, Askew, Abel, Mierau, &

Strüder, 2010)

(二) β 波 (13 - 30 Hz) (圖 2)

大腦除了維持自身運作外，還需要操控對外防禦系統以隨時對外在環境做好因應措施，此時容易造成體內免疫能力的下降，人體身心能量消耗較快速，容易疲憊。一般在忙碌、焦慮、思想活躍及高度集中精神時會出現 β 波頻率，顯示身體呈現緊張狀態 (Baumeister, Barthel, Geiss, & Weiss, 2008)。本研究使用之 Zig-bee 多人腦波儀器材在分析數據時自動將 β 拆解成 low- β (13 -16.75 Hz)及 high- β (16.75 - 29.75 Hz)，有研究指出在精神分裂症患者和高度緊張的表演時，high- β 的頻率似乎特別活躍 (Ramos, Cerdán, Guevara, Amezcua, & Sanz, 2001)。有學者觀察大腦額中葉區域 β 波活性的增強與激動或是緊急的心理狀態有關係 (Kubitz & Mott, 1996)，研究指出 β 波活動出現在運動皮層區時與肌肉等張收縮有相關性，並在運動前及運動過程中會被抑制 (Baker, 2007)。有學者表示在進行急性運動 (acute exercise) 或是最大強度運動 (maximal exercise)， β 波活動會較運動前有明顯上升之趨勢 (Jakovljevic et al., 2012; Moraes et al., 2007; Youngstedt, Dishman, Cureton, & Peacock, 1993)，因此 β 波增加也被認為是大腦皮層活化的證據 (Kubitz & Mott, 1996; Youngstedt et al., 1993)。Crew (1993) 在研究高爾夫選手及新手之實驗亦紀錄 β 波之變化，並將 β 波分為 β I (13-20Hz) 及 β II (21-30Hz)，結果顯示在運動皮層區域 (電極位置約 C3、C4) 左腦 α 波活

性增加、 β I 活性下降皆達顯著差異，在 β II 則沒有明顯差異。而右腦方面 β II 的活動則有明顯的增加。顳葉區域 (T5、T6) 左右腦變化都未達顯著差異，由此可推測專家與新手在準備推桿前大腦活動並不相同，但適時的 β 波活動對提升注意力及認知行為都有一些關鍵性的幫助，另外 β II 活動增加可能與在執行動作時呈現之焦慮狀態有所聯繫。另外，在運動過程中，由於下丘腦調節的代謝產物增多，溫度亦被認為是影響腦波變化的關鍵之一，尤其是在 β 波活性方面 (Nielsen & Nybo, 2003)。

(三) θ 波 (4 - 7 Hz) (圖 2)

當人體及精神處於深層放鬆的狀態，此時意識中斷，使平時清醒時所具有社會性思想的過濾機制被隱藏，因而對於外界之訊息呈現高度的受暗示狀態 (Hyper-suggestibility)，也是一般俗稱的催眠狀態時， θ 波較為活躍。此外， θ 波與腦部邊緣系統有非常直接的關係，有助於強化長期的記憶，因此 θ 波也被喻為通往記憶與學習的閘門 (The gateway to learning and memory) (Hasselmo & Eichenbaum, 2005)。早期將 α 波頻率設定在 5.6 - 7.5 Hz，顯見 θ 波與 α 波之密切關聯性 (Cahn & Polich, 2006)。有研究將 36 位常常抱怨自我感覺疲勞的大學生隨機分為三組，分別各執行 6 週低強度運動、中強度運動、以及不運動的對照組後發現一般健康大學生在接受為期 6 週的低強度規律運動後，大腦頂葉及枕葉皮質區 θ 波有增加的趨勢，受試者也表示經過運動訓練後自我感覺身體狀況感覺較不容易感到疲勞，因此推論運動增強 θ 波有助於降低身體疲勞感 (Puetz,

Flowers, & O'Connor, 2008)。另外有研究指出在長期進行冥想訓練下，腦電波頻率會有放緩趨勢，因此冥想狀態下主要與 θ 波及 α 波的增強有關（Aftanas & Golosheykin, 2005; J, 2000; Jevning, Wallace, & Beidebach, 1992）。甚至一些研究指出在練習冥想過程中， θ 波強度會較 α 波高（L. I. Aftanas & Golocheikine, 2001, 2002; Corby, Roth, Zarcone, & Kopell, 1978; Fenwick et al., 1977; Hebert & Lehmann, 1977; Travis, Tecce, Arenander, & Wallace, 2002）。

Kirmizialsa (2006) 利用 GO / NOGO 任務及線索連續執行任務 (cued continuous performance task, CPT) 觀察 24 名對象額葉區域執行功能，研究結果顯示 θ 活動在 GO / NOGO 任務及 CPT 的反應抑制上有增強的趨勢，因此推測 θ 波可能與誘發反應抑制動作時具有相關連性，GO / NOGO 和 CPT 是兩種神經心理測試，旨在測量複雜注意力之功能，如誘發反應抑制和持續專注能力。GO / NOGO 任務是一個純測試反應抑制的實驗（Kaiser et al., 2003; Leimkuhler & Mesulam, 1985），CPT 是用以衡量維持專注能力及對誘發反應抑制之敏感度，現今已經用於評估大量臨床，如注意力缺失、精神分裂症和抑鬱症等相關疾病（Ballard, 1996; González-Garrido, Gómez-Velázquez, Fernández-Harmony, de Alba, & Ruiz-Sandoval, 2001; Seifert, Scheuerpflug, Zillesen, Fallgatter, & Warnke, 2003）

(四) δ 波 (0.5 - 4 Hz) (圖 2)

δ 波活動屬慢波頻率，與非速眼動睡眠 (non-rapid-eye-movement sleep, NREM) 品質有直接的關係。NREM 又分成四種階段，第一段及第二段與 α 波活動有較大關係，此時人體漸漸進入放鬆狀態，爾後在第三段和第四段的睡眠狀態人體呈無意識狀態，進入一種無夢且深層的睡眠狀態，因此 δ 波也被稱為慢波睡眠 (slow-wave sleep, SWS)。目前醫學研究指出患有睡眠障礙之疾病如老年癡呆、巴金森氏症 (Parkinson's disease, PD)、注意力缺陷多動症 (attention deficient hyperactivity disorder, ADHD) 之患者在經過藥物治療增強 delta 波活動後疾病症狀能得到改善 (Clarke, Barry, McCarthy, & Selikowitz, 2001)。另外也有學者指出研究健康受試者在經過連續幾天 δ 睡眠剝奪後皆出現肌肉疲勞的症狀，因此推測 δ 波活動與肌肉疼痛及疲勞具相關性 (Nezu, Nezu, & Geller, 2003)。Kirmizi-Alsan (2006) 的 CPT 任務研究中，除發現 θ 波與專注力有相關性外，亦發現到 δ 波活動則在需要維持一定效率之專注力的 CPT 任務中有增強的現象。

(五) γ 波 (31 - 50 Hz) (見圖 2)

γ 波與 β 波同屬快波頻率，主要由大腦額葉和頂葉聯合皮質區誘發，額葉及頂葉皮層是掌控人體情緒相關感知，當大腦需處理較複雜的認知及情感功能時，腦神經網絡整合過程中會誘導突觸變化引起腦波出現短暫高振幅狀態 (Paulsen & Sejnowski, 2000; Singer, 1999)。 γ 波在正常狀態下並不

會出現，往往需要特定活動來誘發反應，因此在近期研究上， γ 波漸漸被認為對選擇性注意力、知覺、語言處理、認知功能行為與情緒控制等認知及知覺活動有具有重大影響力 (Fries, Reynolds, Rorie, & Desimone, 2001; Rodriguez et al., 1999; Srinivasan, Russell, Edelman, & Tononi, 1999; Tallon-Baudry, Bertrand, Peronnet, & Pernier, 1998)。學者研究 8 名 34 - 64 歲間之佛教徒，具每天 8 個小時以上打坐和冥想訓練皆超過 15 年以上之經驗，與 10 名從未嘗試過打坐或者冥想者，年齡介於 22 - 24 歲間之健康大學生僅接受一個禮拜簡單冥想訓練後做比較。實驗過程中被要求完全放鬆進行打坐及冥想狀態，透過腦電波測量儀器於冥想前、冥想過程、冥想後進行腦部活動之檢測。結果發現，佛教徒大腦 α 波和 γ 波活動顯著高於對照組，佛教徒在開始冥想前， γ 波活動有較強趨勢，在冥想期間會急遽增加出現明顯差異，研究指出，這種高度 γ 波活動為目前研究報告中最高紀錄。另外佛教徒在左額葉區域也有較強的活動，左額葉區域為人類情緒以及快樂相關的區域，當此區域活動較為活躍時，增強正向思考，因此推測禪坐及冥想訓練能誘發增加左額葉區活動強度，影響腦部負責調節與快樂相關之情緒 (Lutz, Greischar, Rawlings, Ricard, & Davidson, 2004)。

第三節 腦電波、冥想 (Meditation)、專注 (Attention)

冥想 (亦翻譯為禪修) 意旨藉由練習身體及心靈上之自我調節，如誘導漸近式放鬆、逐步進入催眠狀態等，進而影

響心理活動將注意力集中特定任務上 (Vaitl et al., 2005)。學者發現當個體在意象某些特定動作時，大腦中許多區塊都會變得較為活躍 (Decety, 1996)。而利用冥想提升注意力的方式有很多種，依其共通特點分為兩種類型：正念訓練 (mindfulness)、集中冥想技術 (concentrative meditational techniques)。正念訓練涉及之專注力範圍較廣，在過程中允許任何想法、感情或感覺出現，但都保持特定注意力的立場。集中冥想技術則是只將注意力集中在特定的精神或感官活動上。大多數冥想技巧都在這兩個方法間做連續的訓練，以提升注意力 (Alan & Shapiro, 2006; J, 2000; Jevning, Wallace, & Beidebach, 1992)。雖然冥想意識與改變腦電波圖狀態間的相關研究證據還不夠牢固，但初步發現在冥想時腦電波整體頻率會下降，Aftanas 等人 (2001、2002、2003) 將參與瑜珈活動超過五年之禪修者與參與瑜珈運動未滿六個月的新手比較休息狀態時，發現長期參與瑜珈之禪修者在休息狀態腦電波呈現較慢頻率，而 θ 波 - α 波 (6 - 12 Hz) 強度也都較高， θ 波在左額葉區及中央區之電擊位置有顯著增強之差異，大腦左前額區域涉及到人類正向情緒趨近行為 (approach behavior) 及相關情緒如幸福快樂感，因此 θ 波活動可能與自我感覺快樂的思想呈正相關，與自我感覺消極呈負相關。

專注力方面，就運動項目而言，每一種運動在進行時都有其特別需要專注的地方，Nideffer (1976) 將注意力區別出闊度 (width) 及方向 (direction) 兩種方向以方便了解各種運動對不同注意力之需求。注意力的闊度 (窄、寬) 意指運動員需將專注力放在刺激物的多寡，如籃球、足球、跆拳道

拳道等較開放性運動項目之運動員，除需要把專注力放置球上，還需留心配合隊友及對方的走向等，跆拳道運動除了需要隨時觀察對手移動的距離及出腳時間差外，也需隨時配合教練的指令執行動作及保持不出場地界限的狀態，因此對於此類運動員則需要有較闊的專注力，反觀，閉鎖性運動如射擊、射箭、高爾夫球就要求運動員把注意力收窄起集中在標靶或是球上；而注意力的方向（內在、外在）則是指該將注意力集中於運動原本身的想法和感覺亦或集中於外在環境所發生的狀況上。Csikzsentmihalyi (1975) 指出當運動員將專注力及中於動作技術發揮時，及達到所謂順流狀態 (flow state)，當運動員處於順流狀態時，便會全神貫注於運動或比賽當中，不再受其他事物或相關負面情緒干擾。假設當運動員從事較不熟悉或具高危險性動作時，注意力通常都較能集中，此狀態下也較容易形成順流狀態；反觀當運動員從事較不具危險性動作或者是當運動員的技術動作以達到自動化階段時，對於維持運動技能執行所需之注意力則會逐漸降低。Kahneman (1973) 指出在大腦處理接收到之訊息時，刺激越是複雜則需動員大腦較多資源，運動員會依照過去練習所累積之經驗來分配大腦資源，因此他認為注意力是能被支配的。根據學者所提出將技能學習分為三個階段，第一階段為認知階段，大腦需較費力處理知覺線索，身體動作需受意識控制。第二階段為調整期，能處理較精密之感覺線索及有效率的執行動作。第三階段為自動期，為感官線索處理及執行動作以達到自動化階段，就運動技能發揮而言，在認知及注意力上都有逐漸自動化的趨勢 (洪聰敏，2005)。

第參章 研究方法與步驟

第一節 研究對象

本研究以國立臺灣體育運動大學跆拳道代表隊共 12 名男性作為實驗受試者，12 名受試者均具備全國各錦標賽（全國運動會、大專運動會、全國中等學校運動會、總統盃錦標賽，國家代表隊選拔等）前三名獲獎經驗。本研究計畫已通過中區人體試驗委員會審查，所有受試者須填寫基本資料（表 3-1）及簽署研究自願同意書（附錄一）。12 名受試者基本資料平均年齡 21.7 歲，平均身高 177.8 公分，平均體重 65 公斤，平均 Body Mass Index (BMI) 指數為 18.28。

第二節 實驗設計

本研究目的為了解跆拳道選手在技術訓練、體能訓練、戰術訓練模式下及模擬比賽前腦波活動狀態。為提高本研究可信度，每天進行一種模式訓練，每種訓練模式各記錄三次，共計三週。測驗結束後將三次結果進行統計分析，其中體能訓練及戰術訓練因受時間限制之考量，因此將受試者分為兩組進行測試。檢測時間均為早上 9:00 開始。各訓練模式檢測內容如下：

（一）技術訓練（圖 3-1）：

技術訓練測驗方法採用國立臺灣體育運動大學跆拳道代表對日常踢擊訓練模式之一。測驗從右腳開始準備進行踢擊，受試者被告知在聽到哨音響起同時需以最快速反應執行指定踢擊動作踢到速度靶。第一次為開始時安排不定時哨音，過程中不給予選手任何口語提示，直到完成指定動作後結束，記錄訓練過程中腦波狀態。踢擊動作採用三種跆拳道比賽中最常使用之主動與反擊動作，其中以下壓踢為上端動作，其他為皆為中端動作；每項動作在腦波記錄過程中照皆執行三次，待右腳完成全部動作後換左腳進行相同動作測驗後結束記錄。踢擊動作順序如下：

主動攻擊動作：旋踢、滑步旋踢、滑步側踩、下壓。

反擊攻擊動作：後腳反擊旋踢、前腳反擊旋踢、前腳側踩、前腳下壓。

(二) 體能訓練 (圖 3-2)：

本實驗以電動跑步機作為體能訓練檢測工具，心跳率使用 Polar 心跳測量錶記錄。為考量個體體能差異，測驗時間以心跳率作為受試者負荷強度依據。另外因受儀器限制，跑步速度過快時震盪過大，雜訊干擾無法記錄腦電波訊號，因此測驗時跑步速度固定，以調整坡度作為增加負荷強度之方法。熱身方式為受試者隨意調整速度慢跑 3 分鐘以達到熱身效果，此段時間不列入記錄。測驗方法採用漸增式中強度運動。本實驗以 70% - 85% 最大心跳率為中強度運動之定義 (趙佩佑, 2010)，最大心跳率計算方式採用 $208 - (0.7 * \text{年紀})$ (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001)，腦電波變化採全程式記錄，檢測開始後，每分鐘心跳率達 100 下後開始記錄約

30~60 秒，待心跳增加 10 下再開始記錄 30~60 秒，以此類推記錄至心跳率達 150 下後 30~60 秒結束測驗。

(三) 戰術訓練 (圖 3-3) :

腦電波記錄採分段式，分別記錄觀看自己或同量級對手比賽影片及卡通影片時腦電波之變化，腦電波記錄開始於影片播放，跆拳道一場比賽時間為 2 分鐘 3 回合共計 6 分鐘，因過程中連同教練一同討論比賽之內容故將記錄時間拉長至 10 分鐘以便教練在影片播放過程中能有較多指導時間，但若到達 10 分鐘比賽影片還未播放完畢時照常停止腦電波記錄，看完比賽影片後隨即播放搞笑卡通影片 6 分鐘來比較休息狀態及觀看兩種影片中選手腦電波狀態之差異。

(四) 模擬比賽 (圖 3-4) :

本次實驗安排受試者與國立臺灣體育運動大學跆拳道隊男子進行 11 場模擬比賽，護具採用 Daedo 電子護具，與目前國際與國內比賽使用之護具相同，裁判皆具有全國跆拳道 C 級裁判證，盼達到接近正式比賽之情境目標。模擬比賽時，兩方選手於上場前先配戴好頭套式腦波檢測器。對戰前 1 分鐘開始記錄兩方選手腦波狀態，待回合結束中間休息 1 分鐘時記錄腦波狀態，共計記錄 2 回合，待比賽結束後比較勝負方腦電波狀態之差異。

第三節 研究工具

腦波訊號收集 (圖 3-5) :

本研究使用之腦電波測量儀器為 NeuroSkyZigbee 多人同步腦波儀 (RS232-DTE-3.0, Alchemy Technology Co., Ltd., Taiwan)。傳統測量腦電波在安裝或使用過程複雜、價格皆非常昂貴，花費時間及精神力都較長，NeuroSky 公司依循國際 10-20 系統定位 (Klem, Lüders, Jasper, & Elger, 1999) 開發出腦波耳機技術，利用無線單點電極技術於前額處安裝一個傳感器，收集大腦發出的生物電信號，探測及分析大腦思維過程中產生的腦電波，將收集到的信號送入 ThinkGear™ 晶片，ThinkGear™ 負責過濾並去除原始信號中受環境干擾的噪音以及因肌肉或脈搏所產生的雜訊以提高腦電波量化後的準確度，將有用之信號放大後通過 NeuroSkyeSense™ 專利算法解讀，最後採用國際腦電圖學會 (International Organization of Societies for Electrophysiological Technology) 腦電圖頻率量化參數分成 δ (0.5 - 2.75 Hz)、 θ (3.5 - 6.75 Hz)、low- α (7.5 - 9.25 Hz)、high- α (10 - 11.75 Hz)、low- β (13 - 16.75 Hz)、high- β (18 - 29.75 Hz)、low- γ (31 - 39.75 Hz)、mid- γ (41 - 49.75 Hz) 等八個頻率波段後，透過無線藍芽及 Zigbee 無線傳輸硬體介面傳送至處理系統，即時輸出腦電波圖表至電腦端以人機介面顯示，傳輸過程如圖一 (Neurosky, 2009)。

神經系統科學領域的專家們已定義大腦中控制具體活動

的部位。如控制四肢的區域位於大腦的頂部。而負責視力的區域位於大腦的後部，而人的情緒，精神狀態及專注狀態都受大腦前額處的皮質，產生了更高級的思維。因此 NeuroSky 把傳感器的主要位置設置在了前額處。

ZigBee 是一種非常先進的短距離傳輸技術，其特色為低成本、低耗能、低功率、傳輸距離長、使用彈性大，能同時檢測多人腦電波狀態 (Choi & Zhou, 2010)，Zigbee 多人腦波儀器包含三種裝置或節點：協調器 (coordinator)、路由器 (router) 與終端裝置，室內傳輸約距離 15 - 30 公尺，並能藉由多點跳躍的連結，在點與點之間進行資料交換，讓受測距離能隨著路由器的多寡而增減，足以提供選手訓練的場地範圍內進行測量。

第四節 統計方法

本實驗檢測儀器通過 eSense™ 專利算法將腦電波解讀為 eSense™ 參數，顯示受試者當前的腦波狀態，透過 Excel 2007 系統以數據方式呈現於電腦上，經由人工計算以百分比 (%) 方式呈現檢測結果。統計系統皆採用 SPSS 12.0 for windows 套裝軟體配合個人電腦加以進行統計分析，所有數據資料以百分比平均數 ± 標準差之方式呈現。

- (一) 技術訓練：重複量數變異數分析 (Repeated Measure ANOVA)，比較休息狀態與左右腳踢擊間差異。
- (二) 戰術訓練：重複量數變異數分析 (Repeated Measure ANOVA)，比較休息狀態、觀看卡通影片與觀看比賽影片之差異。
- (三) 體能訓練：重複量數變異數分析 (Repeated Measure ANOVA)，比較休息狀態及不同心跳率之差異。
- (四) 模擬比賽：成對樣本 t 檢定 比較勝負兩方選手在賽前及各回合休息間之差異。

第肆章 結果

第一節 休息狀態與左右腳踢擊動作腦波活動狀態差異

為了解跆拳道選手在進行踢擊運動時，選手腦波狀態變化，本實驗安排受試者分別進行左腳踢擊及右腳踢擊的指定動作，然後記錄及蒐集踢擊過程中之腦波狀態，再比較休息狀態與左右腳踢擊的 5 段腦電波頻率 (δ 、 θ 、 α 、 β 、 γ)。

實驗結果發現，在進行左腳踢擊動作與休息狀態做比較時， γ 波顯著下降 ($p < 0.05$)，其他頻率波段皆無明顯改變；右腳在進行踢擊動作與休息狀態做比較下，發現 γ 波亦達顯著下降 ($p < 0.01$)，其他頻率波段則無明顯改變；比較左腳踢擊與右腳踢擊動作過程中腦波差異無顯著變化 (表 4-1)。

第二節 休息狀態與跑步運動中各心跳率腦波活動狀態差異

為進一步了解不同運動強度中各種腦波之變化，故本論文透過觀察受試者於跑步機進行慢跑運動，以每分鐘心跳代表達到之運動強度，並記錄受試者達到不同心跳率的運動強度時腦波活動狀態，再與休息狀態之腦波活動狀態做比較。

實驗結果發現，休息狀態與運動過程中，當受試者心跳率達到每分鐘 120、130、140、150 下時， β 波均與休息狀態比較時達顯著上升 ($p < 0.05$ ； $p < 0.01$ ； $p < 0.05$ ； $p <$

0.05) ， 其他頻率波段則無明顯變化 (表 4-2) 。

第三節 觀看比賽影片腦波活動狀態差異

本實驗安排受試者觀看跆拳道比賽影片，並且隨同教練在旁加以分析影片中選手對戰戰術，過程中記錄受試者腦波狀態，在觀看比賽影片結束後，隨即播放卡通影片並記錄其腦波活動狀態以了解選手在觀看比賽影片時腦波活動狀態。

實驗結果發現，當受試者在觀看比賽影片時 γ 波與休息狀態及觀看卡通影片比較時皆達顯著上升 ($p < 0.05$; $p < 0.05$) ， 其他頻率波皆無明顯改變。另外，比較休息狀態與觀看卡通影片時腦波活動狀態無顯著差異 (表 4-3) 。

第四節 模擬比賽前及每回合休息期間勝負兩方選手腦波頻率變化

為探討跆拳道選手在比賽前準備期間及比賽中每回合休息期間勝負兩方選手腦波變化之差異，本研究安排受試者與國立臺灣體育運動大學跆拳道隊隊員進行一次模擬比賽共計 11 個場次，分別蒐集三回合比賽前腦波訊號，於比賽結束後以勝負分為勝負兩組，分析勝負兩方腦波變化之差異。

研究結果雙方於比賽開始前 (等同第一回合開始前) 30 秒鐘腦波活動無顯著差異；第二回合比賽開始前 30 秒，勝方 δ 波較負方活躍達顯著上升 ($p < 0.05$) ， α 及 γ 波則勝方較負方達顯著下降 ($p < 0.05$, $p < 0.01$) ；第三回合開始前 30 秒雙方腦波活動無顯著差異 (表 4-4) 。

第五章 討論

因以往受限於腦波器材之緣故，大多數研究都只能針對閉鎖性運動（如射箭、高爾夫球等）及較靜態活動（如瑜珈、禪修等）做運動表現與腦波相關之探討。本實驗使用之腦波儀器有別以往腦波儀器型態，透過無線藍芽傳輸腦波活動狀態，使受試者能在較大的範圍中進行自由活動，並記錄跆拳道運動踢擊動作過程、體能訓練跑步運動中、觀看跆拳道比賽影片及模擬跆拳道比賽回合休息間之腦波活動。

第一節 技術訓練與腦波活動狀態

本實驗在跆拳道運動踢擊動作過程中，受試者在執行左、右腳踢擊動作與休息狀態下比較腦波活動狀態，發現 γ 波顯著降低。曾有學者提出 β 波的提升有助於適當保持注意力及較有效率化之注意力分配（Kiroy, Warsawskaya, & Voynov, 1996; Smit, Eling, & Coenen, 2004），本實驗在進行踢擊動作時觀察 β 波雖無明顯變化，卻發現同屬快波頻率的 γ 波活性比休息狀態明顯降低，此結果印證過去研究指出 β 波及 γ 波與大腦皮質的信息處理過程有所關聯的證據（Fell, Fernández, Klaver, Elger, & Fries, 2003），雖然運動能增加大腦皮質活化，但大腦在處理信息過可能會受心理因素如專注力和覺醒水準等影響其活性（Kamijo et al., 2004）。覺醒（arousal）亦指身體生理與心理的活躍狀態，其強度由低至

高呈一連續線，自沉睡到極度亢奮。有學者表示廣度注意力或是覺醒水準都有可能影響到腦波的頻率，因此認為大腦皮質會隨增加身體活動的覺醒而改變 (Tomporowski P & Ellis N, 1986)。廣度注意力意指運動員需要將注意力放置在較多的刺激物上，如跆拳道這類屬開放性運動，在比賽場上需要隨時觀察對手動向以及準備攻擊時間差外，還必須配合教練所下指令並且保持不出界的狀態，因此需要較為廣闊的注意力。在學習新的技巧性動作時，一般由大腦前額皮質區所控制，當經過反覆訓練後，則慢慢趨向自動化反應，由原本大腦皮質區所控制轉向小腦運動構造的控制，如此轉變可能有助於動作穩定性及訊息處理的速度，在認知及注意力上都有逐漸自動化的趨勢 (洪聰敏，2005)，而也有證據表示基本的感官刺激經過身體累積的經驗後，神經元的特異性功能是可變的 (de Souza, Yehia, Sato, & Callan, 2013)，就本實驗而言，12位受試者接受跆拳道訓練長達10年之久，從運動成績來看，12位選手在國內皆有全國前三名實力，因此推測12位受試者在執行踢擊動作時已減少技能注意力之分配，也長期接受此種聽到哨音後立即踢擊之訓練模式，因此無需過多注意力資源形成自動化執行動作，而大腦額葉區域及 γ 波與處理較高級及複雜的認知訊息較有關聯，因此可能由於受試者在經過長期跆拳道訓練下，技術水準皆達到自動化階段，造成 γ 波降低的現象產生。另外，以往閉鎖性如射擊、射箭、高爾夫球等運動及較靜態瑜珈運動時大多以探討顳葉區域 α 波做為運動相關表現之依據，由於本實驗使用器材將唯一電擊傳感片放置在前額FP1處，主要為觀察額葉區域腦波變化，因此在踢擊動作過程中並無發現到 α 波有明顯

變化，可能與觀察不同大腦區域的活動有關係。

第二節 體能訓練與腦波活動狀態

以往探討運動對腦波的立即性影響鮮少有研究針對運動過程中腦波變化的狀態。有學者為了解高強度運動對腦波變化的影響，以運動過程中暫停運動待檢測完腦波後再繼續運動的間歇方式來進行研究，但此種方法仍無法記錄到真正運動過程中之腦波活動狀態（趙佩佑，2011）。本實驗使用之收集腦波數據器材採用無線藍芽傳輸，能使受試者在較大的範圍內有更自由的活動，因此能夠記錄到運動過程中受試者腦波之變化狀態。

國外研究表示，大腦整體活性會隨著運動強度增加而有逐漸升高，額葉皮質區域的主要運動皮質區（primary motor cortex）則會有特別顯著的變化（Brümmer, Schneider, Strüder, & Askew, 2011）。Fumoto 等人（2010）觀察受試者進行 15 分鐘腳踏車測功儀運動後發現 α 波在運動加速過程中有明顯上升的現象。國內有類似研究使用攜帶式無線藍芽傳輸運動腦波器材（Encephalan-ES, Medicom, Russia），記錄受試者在完整運動過程中，進行 20 分鐘中強度快走運動時，發現額葉 α 波在開始增加運動強度的過程中，會隨著運動強度增加而有明顯上升之趨勢，在進入中強度運動（心跳速率為 70% - 75% 最大心跳率）後， α 波較休息狀態增強並且在運動過程中達穩定狀態不再有明顯變化（趙佩佑，2011）。本論文結果顯示，休息狀態與跑步運動心跳率達每分鐘 100 下時比較，結果顯示 α 波有上升之趨勢但未達顯著

差異，在心跳率接近及到達中強度運動後 α 波則有較穩定表現，這點與上述實驗結果較為相似。另外，過去研究發現運動對提升大腦額葉區域 α 波活性與本研究結果並不相同，本研究在 α 波段並無發現到顯著改變，過去也有研究表示運動後 α 波確實有增加的趨勢，但相較其他頻率之相對頻率來看， δ 、 θ 、 β 波的活動在運動後也會有所增加只是未達顯著差異。由於腦波表現存在個體差異 (Vogel, 2000)，且本實驗僅比較運動前與運動過程中腦波狀態差異，並無比較運動前與運動後恢復期腦波活動，加上實驗使用檢測儀器上的不同，或者是其他因素導致此結果，仍待進一步探討。

本實驗在進行體能訓練跑步運動時，發現心跳速率達每分鐘 110-150 下期間約到達中強度運動狀態 (70-85% 最大心跳率)， β 波較休息狀態時有明顯增強的現象，心跳速率在每分鐘 110 - 150 下期間 β 波則呈現穩定狀態。此結果與過去的研究發現進行高強度或是最大強度運動後 β 波會明顯上升的結果相同。有學者研究使用自行車測功儀進行約 70% 最大攝氧量的強度運動以及漸增式強度運動後，都發現 β 波都有明顯增強的現象 (Schneider, Brümmer, Abel, Askew, & Strüder, 2009; Youngstedt, Dishman, Cureton, & Peacock, 1993)。Youngstedt (1993) 等人也觀察到在急性運動後觀察腦波雖然與體溫及焦慮狀態無相關性的改變，但 β 波活性有增加的趨勢。由於本實驗受試者僅進行中強度運動，而過去的研究都是在停止運動後才立即進行腦波記錄蒐集，受試者在進行高強度運動時心跳速率已經超過 75-85% 最大心跳率，但停止運動心跳率會隨之減緩，因此可能是與本研究相同結果的原因。雖然運動會導致大腦局部的血流增加，但有

學者表示當大腦因缺氧而導致血流減少時，會觀察到 β 活性下降 (Kraaier, Van Huffelen, Wieneke, Van der Worp, & Bär, 1992)。因此這樣的結果可能會涉及到其他許多因素，所以運動對於腦波的真正影響，目前為止都還未有定論 (Moraes et al., 2007)。

第三節 戰術訓練與腦波活動狀態

本實驗讓受試者觀看自己亦或同量級選手之跆拳道比賽影片，且有教練在旁協助分析比賽影片內容，結果發現 γ 波比休息狀態顯著增強外，與觀看較輕鬆有音效之卡通影片對照下， γ 波也有明顯增強之現象。大腦前額葉皮質區域一直以來都是認知神經科學探討注意力調節歷程的重要指標，前額葉區域掌控注意力導向決策、整合環境空間訊息處理有密切關聯，而 γ 波主要由大腦額葉和頂葉聯合皮質區誘發，根據過去研究表示 γ 波會受注意力調節的影響而有所變化，感官刺激及選擇性注意力都會誘發 γ 波增強，亦有研究指出 γ 波活性能反應出聽覺及視覺皮層區在選擇性注意力之間的關聯 (Fries et al., 2001; Marshall, Mölle, & Bartsch, 1996; Plourde et al., 2008)。選擇性注意力意旨個體能選擇與學習有關的刺激加以注意，Fries 等人 (2001) 給予獼猴視覺刺激下，觀察其注意力及忽略相關刺激的腦波變化後發現獼猴在選擇性注意力的情況下 γ 波有增強的現象。有學者利用臉孔做為刺激目標，測驗前先讓受試者進行簡單的臉部辨識任務，測驗開始時同時給予兩種面孔，受試者須快速選擇何種是曾經看過的臉孔，同時觀察受試者自動性與非自動性的空

間專注能力，比較兩者間腦波差異，發現在自動性轉移專注力時 γ 波的活性明顯增加，而非自動性轉移時則無顯著差異 (Landau, Esterman, Robertson, Bentin, & Prinzmetal, 2007)，本實驗受試者在觀看比賽影片的同時，除需將選擇性注意力放在觀察影片中選手在比賽時之動作設計及反應動作時間差上，另外還須隨時注意教練給予的刺激及提示影片內選手在處理動作之優缺點。另外，上述實驗皆描述受試者在選擇性或自動性注意力皆會轉移至熟悉事物上，本實驗在觀看影片時請到本校跆拳道隊教練協助指導受試者觀看比賽影片，因此受試者 γ 波的提高反映出由於受試者已熟悉教練平日所指導之方式，故能將注意力自動轉移在教練所給予的聽覺刺激提示上，因此本實驗結果驗證過去研究提出無論在感官刺激或選擇性及自動性注意力都能使 γ 波增強之說法。

第四節 模擬比賽前準備期間及每回合中間休息 期間勝負雙方腦波變化之差異

本次實驗安排受試者與國立臺灣體育運動大學跆拳道隊男子進行模擬比賽，比較勝負雙方於每回合比賽前 30 秒腦波活動差異。

本次實驗與比賽開始前（等同於第 1 回合比賽開始前）30 秒並無發現勝負雙方腦波有明顯差異，由於跆拳道比賽屬身體碰撞類型運動項目，無法評估及預測比賽中會遇到何種狀況，不同於閉鎖性運動只需專注在自我動作技能的控制上，另外本實驗安排比賽之對手皆為熟悉隊友，有別於正式比賽中遇到他校或是運動成績較為優異選手之真實情境，因

此可能影響比賽前腦波變化之狀態，導致本次實驗勝負雙方在賽前腦波無差異的結果。

第 2 回合比賽前 30 秒則發現勝方 δ 波較負方活躍， α 及 γ 波則較負方下降，Kirmizi-Alsan 等人 (2006) 針對 24 名受試者進行的線索連續執行任務 (cued continuous performance task, CPT)，此種測驗旨在衡量持續專注能力及對誘發反應抑制之敏感度。Kirmizi-Alsan 實驗結果發現額葉區域 δ 波在需要維持一定效率的專注力時會有增強的現象，勝方於第 2 回合開始前 30 秒休息期間， δ 波較負方活躍達顯著差異，由於實戰中第 1 回合開始時，首先教練及選手都需判斷對手攻守模式以利於該回合結束後休息期間擬定下一回合的打法，因此勝方 δ 波較為活躍可能反應出選手在該回合結束時較能有效掌握場上攻守距離的判斷，並且能維持一定較有效率的注意力。另外，在第 2 回合比賽開始前 30 秒 α 及 γ 波方面勝方皆較負方下降。黃佩琳 (2012) 比較 6 名優秀大專跆拳道運動員及 6 名大專社團跆拳道運動員，利用跆拳道運動表現觀察工具分析比較專家與新手在控制、決策及執行能力之比例，研究結果發現比賽時專家能表現出較優異的控制能力，並做出適當決策。Thomas 等人 (1986) 曾表示比賽中決策品質與決策速度是影響運動表現的主要因素之一，運動表現需根據比賽當下情境在與過去經驗等條件做出戰術決策後，並與其運動技能結合後，展現出一連串運動行為。Anderson (1982) 認為在技能學習過程中會結合知識轉換，當知識達到程序化 (procedural knowledge) 能提高決策速度與準確性，使技能達到自動化。知識程序化意指某件事情或關於刺激和反應之間聯繫的知識，也是技能或行為程序

學習的基礎。本研究受試者雖然皆長期接受訓練及參與比賽，但勝負雙方由過去運動成績方面上比較，本次模擬比賽皆為以往運動成績較優異者取勝，大腦額葉區域及 γ 波通常負責處理較高級及複雜的認知訊息，因此從本實驗結果勝方 γ 波較負方下降的結果能推論出無論在技能自動化水準表現與快速決策能力上，勝方皆優於負方，負方需在比賽中花費更多時間進行比賽情境中複雜的認知訊息。而勝方 α 波較負方下降的結果也顯示第 1 回合比賽結束後負方身體仍呈現較放鬆狀態，身體覺醒水準較勝方低。

勝負兩方於第 3 回合開始前 30 秒腦波頻率並無差異，因此本實驗結果顯示跆拳道比賽當第 1 回合比賽結束雙方經過實際對戰身體碰觸後，第 2 回合比賽開始前，教練須迅速依照對手習性擬定戰術計畫下達指令，而選手除具備技能技術水準已達到自動化反應之條件，在經過教練給予之刺激提示後，能否依照教練指示快速做出決策之能力並且有效配合執行技能展現出之運動行為，有可能是影響整場比賽勝負的關鍵。

第陸章 結論與建議

本論文研究發現男性跆拳道運動選手在三種跆拳道訓練模式之運動過程中與運動前休息狀態比較下大腦會呈現不同活動狀態：(一)技術訓練：受試者在踢擊過程中 γ 波顯著下降，顯示受試者在經過長達十年以上跆拳道訓練以及接受哨音響起便立即踢動作的訓練模式下，其動作技能水準已達到自動化反應，無須過多注意力資源分配便可執行踢擊動作；(二)體能訓練：受試者在進行跑步運動時，當每分鐘心跳率達110-150下期間 β 波顯著上升，本實驗結果較類似過去針對高強度或急性運動後之腦波活動狀態較為類似，由於過去研究皆在停止高強度運動後才開始記錄腦波活動狀態，心跳率也會隨著停止運動後減緩，因此可能與本實驗在中強度運動過程中紀錄到的腦波活動相似，此外也有可能是由於運動使大腦局部的血流增加，導致 β 波上升；(三)戰術訓練：受試者在觀看自己或對手比賽影片配合教練在旁協助指導時，發現 γ 波顯著上升，因受試者在觀看比賽影片時須隨時注意影片中每一動作之細節，亦須隨時接收教練在旁給予之聽覺刺激提示影片中須注意之重點，因而誘發 γ 波增強；(四)模擬比賽：在本研究觀察跆拳道比賽勝負雙方腦波差異發現雙方僅於第2回合比賽開始前30秒，勝方 δ 波較負方活躍， α 及 γ 波較負方顯著下降。由於本實驗安排進行校內對抗比賽，因此對手皆為熟悉之隊友，與正式比賽所遇到他校或實力較為堅強之對手情況不同，因而導致雙方在比賽開始前30秒的腦波狀態沒有差異。另外本研究結果也顯示，在第一回

合比賽結束之後，勝方除了覺醒水準較負方高外，亦較能維持一定有效率的專注力，並且能做出快速且有效率之決策能力並連結技能水準自動化反應後，在比賽場上展現較優異運動行為。

由於本論文研究重點是針對”運動過程中”腦波活動的狀態，因此僅與運動前休息狀態做比較，並無探討運動後與運動過程中腦波活動差異；模擬比賽方面因受器材限制，還無法真正記錄到比賽中兩方對戰時之腦波活動狀態；另外，由於本實驗受試者全數為男性，對於是否會因性別有所差異之結果尚不得而知，因此，未來可進一步研究女性跆拳道運動員在運動過程中之腦波活動狀態，同時探討運動後恢復期間腦波活動狀態是否與運動前或過程中有所差異。

參考文獻

- 季力康、卓俊伶、洪聰敏、黃英哲、黃崇儒、廖主民、盧俊宏（譯）（民 101）**競技與健身運動心理學**（原作者：Weinberg, R. S., & Gould, D.）。臺北市：臺灣運動心理學會（原著出版年：1996）
- 林三永（2011），何謂腦波？**科學人雜誌**，民 100 年 8 月 26 日，取自：
<http://sa.ylib.com/CategoryList.aspx?Unit=easylearn&Cate=medicine&year=2011>
- 洪聰敏、石恒星（2009）。腦波在運動心理學研究之應用。**應用心理研究**，42，123-161。
- 洪聰敏（2005）。腦波與心跳在精準運動上之應用。**國民體育季刊**，146，24-30。
- 黃佩琳（2012）。**優秀跆拳道運動員的專門知識**（未出版碩士論文）。國立彰化師範大學，彰化市。
- 黃雅琳（2008）。**優秀跆拳道運動員之體能測驗結果對於運動傷害發生率的影響**（未出版碩士論文）。國立台灣體育大學，桃園縣。
- 楊玉齡（譯）（2008）。**大腦開竅手冊**（原作者：Sandra Aamodt & Sam Wang）。臺北市：天下文化。
- 劉貞勇、邱文信（2012）**腦部造影技術在運動領域之應用**。**中華體育季刊**，26(1)，71-78。
- 趙佩佑（2010）。**大學生於中強度運動前、運動期間及運動後之腦波變化**（未出版碩士論文）。國立高雄大學，高雄市。

- Aftanas, L., & Golosheykin, S. (2005). Impact of regular meditation practice on EEG activity at rest and during evoked negative emotions. *The International journal of neuroscience*, *115*(6), 893–909.
- Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, *310*(1), 57–60.
- Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2002). Non-linear dynamic complexity of the human EEG during meditation. *Neuroscience letters*, *330*(2), 143–146.
- Alan, B., & Shapiro, S. L. (2006). Mental balance and well-being: Building bridges between Buddhism and Western psychology. *American Psychologist*, *61*(7), 690–701.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, *89*, 369-402.
- Aurlien, H., Gjerde, I. O., Aarseth, J. H., Eldøen, G., Karlsen, B., Skeidsvoll, H., & Gilhus, N. E. (2004). EEG background activity described by a large computerized database. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *115*(3), 665–673.
- Baker, S. N. (2007). Oscillatory interactions between sensorimotor cortex and the periphery. *Current opinion*

- in neurobiology*, 17(6), 649–655.
- Ballard, J. C. (1996). Computerized assessment of sustained attention: interactive effects of task demand, noise, and anxiety. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 18(6), 864–882.
- Baumeister, J., Barthel, T., Geiss, K. R., & Weiss, M. (2008). Influence of phosphatidylserine on cognitive performance and cortical activity after induced stress. *Nutritional neuroscience*, 11(3), 103–110.
- Brümmer, V., Schneider, S., Strüder, H. K., & Askew, C. D. (2011). Primary motor cortex activity is elevated with incremental exercise intensity. *Neuroscience*, 181, 150–162. doi:10.1016/j.neuroscience.2011.02.006
- Cahn, B. R., & Polich, J. (2006). Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychological bulletin*, 132(2), 180–211.
- Choi, J. S., & Zhou, M. (2010). Performance analysis of ZigBee-based body sensor networks. In *2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC)* (pp. 2427 –2433). Presented at the 2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC).
- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2001). EEG-defined subtypes of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 112(11), 2098–2105.

- Corby, J. C., Roth, W. T., Zarccone, V. P., Jr, & Kopell, B. S. (1978). Psychophysiological correlates of the practice of Tantric Yoga meditation. *Archives of general psychiatry*, 35(5), 571–577.
- Crabbe, J. B., & Dishman, R. K. (2004). Brain electrocortical activity during and after exercise: a quantitative synthesis. *Psychophysiology*, 41(4), 563–574.
- Crabbe, J. B., Smith, J. C., & Dishman, R. K. (2007). Emotional & electroencephalographic responses during affective picture viewing after exercise. *Physiology & behavior*, 90(2-3), 394–404.
- Crews, D. J., & Landers, D. M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(1), 116–126.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety*. San Francisco: Jossey-Boss.
- De Souza, A. C. S., Yehia, H. C., Sato, M., & Callan, D. (2013). Brain activity underlying auditory perceptual learning during short period training: simultaneous fMRI and EEG recording. *BMC neuroscience*, 14, 8.
- Decety, J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural brain research*, 77(1-2), 45–52.
- Fell, J., Fernández, G., Klaver, P., Elger, C. E., & Fries, P. (2003). Is synchronized neuronal gamma activity relevant for selective attention? *Brain research. Brain*

- research reviews*, 42(3), 265–272.
- Fenwick, P. B., Donaldson, S., Gillis, L., Bushman, J., Fenton, G. W., Perry, I., ... Serafinowicz, H. (1977). Metabolic and EEG changes during transcendental meditation: an explanation. *Biological psychology*, 5(2), 101–118.
- Fries, P., Reynolds, J. H., Rorie, A. E., & Desimone, R. (2001). Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science (New York, N.Y.)*, 291(5508), 1560–1563.
- Fumoto, M., Oshima, T., Kamiya, K., Kikuchi, H., Seki, Y., Nakatani, Y., ... Arita, H. (2010). Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Behavioural brain research*, 213(1), 1–9. doi:10.1016/j.bbr.2010.04.017
- González-Garrido, A. A., Gómez-Velázquez, F. R., Fernández-Harmony, T., de Alba, J. L., & Ruiz-Sandoval, J. L. (2001). Event-related brain potentials during a continuous performance test (CPT) task in normal children. *Archives of medical research*, 32(3), 214–220.
- Haas, L. (2003). Hans Berger (1873–1941), Richard Caton (1842–1926), and electroencephalography. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 74(1), 9.
- Hall, E. E., Ekkekakis, P., Van Landuyt, L. M., & Petruzzello, S. J. (2000). Resting frontal asymmetry predicts self-selected walking speed but not affective responses

to a short walk. *Research quarterly for exercise and sport*, 71(1), 74–79.

Hasselmo, M. E., & Eichenbaum, H. B. (2005). Hippocampal mechanisms for the context-dependent retrieval of episodes. *Neural networks : the official journal of the International Neural Network Society*, 18(9), 1172–1190.

Hatfield, B. D., Landers, D. M., & Ray, W. J. (1984). Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen. *Journal of Sport Psychology*, 6(1), 42–59.

Haufler, A. J., Spalding, T. W., Santa Maria, D. L., & Hatfield, B. D. (2000). Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological psychology*, 53(2-3), 131–160.

Hebert, R., & Lehmann, D. (1977). Theta bursts: an EEG pattern in normal subjects practising the transcendental meditation technique. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 42(3), 397–405.

Hughes, J. R. (1964). Responses From the Visual Cortex of Unanesthetized Monkeys. In Carl C. Pfeiffer and John R. Smythies (Ed.), *International Review of Neurobiology* (Vol. Volume 7, pp. 99–152). Academic Press. Retrieved from

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0074774208602664>

Hughes, J. R. (2008). Gamma, fast, and ultrafast waves of the brain: their relationships with epilepsy and behavior. *Epilepsy & behavior: E&B*, 13(1), 25–31.

J, A. (2000). Meditation meets behavioural medicine. The story of experimental research on meditation. Text. Retrieved January 4, 2013, from <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/jcs/2000/0000007/f0020011/1057>

Jakovljevic, D. G., Moore, S., Hallsworth, K., Fattakhova, G., Thoma, C., & Trenell, M. I. (2012). Comparison of cardiac output determined by bioimpedance and bioreactance methods at rest and during exercise. *Journal of clinical monitoring and computing*, 26(2), 63–68.

Jevning, R., Wallace, R. K., & Beidebach, M. (1992). The physiology of meditation: a review. A wakeful hypometabolic integrated response. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 16(3), 415–424.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Kaiser, S., Unger, J., Kiefer, M., Markela, J., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2003). Executive control deficit in depression: event-related potentials in a Go/Nogo task. *Psychiatry research*, 122(3), 169–184.

- Kamei, T., Toriumi, Y., Kimura, H., Ohno, S., Kumano, H., & Kimura, K. (2000). Decrease in serum cortisol during yoga exercise is correlated with alpha wave activation. *Perceptual and motor skills*, 90(3 Pt 1), 1027–1032.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Kida, T., Higashiura, T., & Kuroiwa, K. (2004). Changes in arousal level by differential exercise intensity. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 115(12), 2693–2698.
- Kandel, E., Schwartz, J., & Jessell, T. (2000). *Principles of Neural Science* (4th ed.). McGraw-Hill Medical.
- Kirmizi-Alsan, E., Bayraktaroglu, Z., Gurvit, H., Keskin, Y. H., Emre, M., & Demiralp, T. (2006). Comparative analysis of event-related potentials during Go/NoGo and CPT: decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. *Brain research*, 1104(1), 114–128.
- Kiroy, V. N., Warsawskaya, L. V., & Voynov, V. B. (1996). EEG after prolonged mental activity. *The International journal of neuroscience*, 85(1-2), 31–43.
- Klem, G. H., Lüders, H. O., Jasper, H. H., & Elger, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and clinical neurophysiology. Supplement*, 52, 3–6.

- Kolev, V., Başar-Eroglu, C., Aksu, F., & Başar, E. (1994). EEG rhythmicities evoked by visual stimuli in three-year-old children. *The International journal of neuroscience*, 75(3-4), 257–270.
- Kraaier, V., Van Huffelen, A. C., Wieneke, G. H., Van der Worp, H. B., & Bär, P. R. (1992). Quantitative EEG changes due to cerebral vasoconstriction. Indomethacin versus hyperventilation-induced reduction in cerebral blood flow in normal subjects. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 82(3), 208–212.
- Kubitz, K. A., & Mott, A. A. (1996). EEG power spectral densities during and after cycle ergometer exercise. *Research quarterly for exercise and sport*, 67(1), 91–96.
- Landau, A. N., Esterman, M., Robertson, L. C., Bentin, S., & Prinzmetal, W. (2007). Different Effects of Voluntary and Involuntary Attention on EEG Activity in the Gamma Band. *The Journal of Neuroscience*, 27(44), 11986–11990.
- Leimkuhler, M. E., & Mesulam, M. M. (1985). Reversible go-no go deficits in a case of frontal lobe tumor. *Annals of neurology*, 18(5), 617–619.
- Lutz, A., Greischar, L. L., Rawlings, N. B., Ricard, M., & Davidson, R. J. (2004). Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(46),

16369–16373.

- Marshall, L., Mölle, M., & Bartsch, P. (1996). Event-related gamma band activity during passive and active oddball tasks. *Neuroreport*, *7*(9), 1517–1520.
- Moraes, H., Ferreira, C., Deslandes, A., Cagy, M., Pompeu, F., Ribeiro, P., & Piedade, R. (2007). Beta and alpha electroencephalographic activity changes after acute exercise. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, *65*(3A), 637–641.
- Nezu, A. M., Nezu, C. M., & Geller, P. A. (2003). *Handbook of Psychology, Health Psychology*. John Wiley & Sons.
- Nideffer, R. M. (1976). *The Inner Athletes*. New York: Crowell.
- Nielsen, B., & Nybo, L. (2003). Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *33*(1), 1–11.
- Paulsen, O., & Sejnowski, T. J. (2000). Natural patterns of activity and long-term synaptic plasticity. *Current opinion in neurobiology*, *10*(2), 172–179.
- Plourde, G., Garcia-Asensi, A., Backman, S., Deschamps, A., Chartrand, D., Fiset, P., & Picton, T. W. (2008). Attenuation of the 40-hertz auditory steady state response by propofol involves the cortical and subcortical generators. *Anesthesiology*, *108*(2), 233–242.
- Puetz, T. W., Flowers, S. S., & O'Connor, P. J. (2008). A

- randomized controlled trial of the effect of aerobic exercise training on feelings of energy and fatigue in sedentary young adults with persistent fatigue. *Psychotherapy and psychosomatics*, 77(3), 167–174.
- Ramos, J., Cerdán, L. F., Guevara, M. A., Amezcua, C., & Sanz, A. (2001). Abnormal EEG patterns in treatment-resistant schizophrenic patients. *The International journal of neuroscience*, 109(1-2), 47–59.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397(6718), 430–433. doi:10.1038/17120
- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., Crews, D. J., & Kubitz, K. A. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research quarterly for exercise and sport*, 61(4), 351–359.
- Schneider, S., Askew, C. D., Abel, T., Mierau, A., & Strüder, H. K. (2010). Brain and exercise: a first approach using electrotopomography. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(3), 600–607.
- Schneider, S., Askew, C. D., Diehl, J., Mierau, A., Kleinert, J., Abel, T., ... Strüder, H. K. (2009). EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities. *Physiology & Behavior*, 96(4–5), 709–716.

- Schneider, S., Brümmer, V., Abel, T., Askew, C. D., & Strüder, H. K. (2009). Changes in brain cortical activity measured by EEG are related to individual exercise preferences. *Physiology & Behavior*, *98*(4), 447–452.
- Schomer, D. L., & Silva, F. L. da (Eds.). (2010). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (Sixth.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Seifert, J., Scheuerpflug, P., Zillesen, K.-E., Fallgatter, A., & Warnke, A. (2003). Electrophysiological investigation of the effectiveness of methylphenidate in children with and without ADHD. *Journal of neural transmission* (Vienna, Austria: 1996), *110*(7), 821–829.
- Shelley-Tremblay, J. F., Shugrue, J. D., & Kline, J. P. (2006). Changes in EEG laterality index effects of social inhibition on putting in novice golfers. *Journal of Sport Behavior*. Retrieved from <http://www.highbeam.com/doc/1G1-154693748.html>
- Singer, W. (1999). Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations? *Neuron*, *24*(1), 49–65, 111–125.
- Smit, A. S., Eling, P. A. T. M., & Coenen, A. M. L. (2004). Mental effort causes vigilance decrease due to resource depletion. *Acta psychologica*, *115*(1), 35–42.
- Srinivasan, R., Russell, D. P., Edelman, G. M., & Tononi, G. (1999). Increased synchronization of neuromagnetic

- responses during conscious perception. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 19(13), 5435–5448.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., & Pernier, J. (1998). Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 18(11), 4244–4254.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156.
- Thomas, J. R., French, K. E., & Humphries, C. A. (1986). knowledge development and sport skill performance: Directions for motor behavior research. *Journal of Sport Psychology*, 8, 259-272.
- Tomporowski, P. D., Ellis, N. R. (1986) The effects of exercise on cognitive processes: A review. *Psychological Bulletin*, 99, 338-346.
- Travis, F., Tecce, J., Arenander, A., & Wallace, R. K. (2002). Patterns of EEG coherence, power, and contingent negative variation characterize the integration of transcendental and waking states. *Biological psychology*, 61(3), 293–319.
- Vaitl, D., Birbaumer, N., Gruzelier, J., Jamieson, G. A., Kotchoubey, B., Kübler, A., ... Weiss, T. (2005). Psychobiology of altered states of consciousness.

- Psychological bulletin*, 131(1), 98–127.
- Vogel, F. (2000). The human EEG: General aspects. In Genetics and the electroencephalogram(pp. 7-22). Berlin: Springer.
- Whittingstall, K., & Logothetis, N. K. (2009). Frequency-Band Coupling in Surface EEG Reflects Spiking Activity in Monkey Visual Cortex. *Neuron*, 64(2), 281–289.
- Williams, J.M., & Krane, V. (1998). Psychological characteristics of peak performance. In J.M. Williams (Ed.), *Applied Sport Psychology*. 158-170.
- Youngstedt, S. D., Dishman, R. K., Cureton, K. J., & Peacock, L. J. (1993). Does body temperature mediate anxiolytic effects of acute exercise? *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 74(2), 825–831.

附錄一

中區區域性研究倫理中心
研究倫理審查委員會

Tel: 886-4-2205-3366 ext: 2272 Fax: 886-4-2202-2732 台中市北區學士路 91 號

研究同意書

計畫名稱：探討跆拳道選手於各種不同訓練模式和模擬比賽準備期間及每回休息
期間之變化

計畫編號/本中心編號：cRREC-102-015

計畫主持人：國立臺灣體育運動大學競技運動學系方世華教授

通過日期：2013 年 04 月 09 日

核可有效日期：2013 年 04 月 09 日~2014 年 04 月 08 日

核可研究計畫書版本：第 1 版

核可參與者同意書版本：第 2 版

依照本委員會規定，凡研究期間超過一年之計畫，研究計畫每屆滿一年，送
本委員會進行期中審查。請於有效期限到期二個月前檢送期中報告至本會。

計畫在執行期間計畫內容若欲進行變更，須先向本委員會提出變更申請。若
研究參與者在研究期間發生嚴重不良事件，主持人須立即向本委員會提出書面說
明。

中區區域性研究倫理審查委員會 主任委員

宋鴻樟

中 華 民 國 一 〇 二 年 四 月 九 日

Central
RREC



附錄二、Zig-bee 多人腦波儀器研究參與同意書

計畫名稱：探討跆拳道選手於各種不同訓練模式和模擬比賽準備期間及每回休息期間之變化

計畫主持人姓名：方世華

計畫執行機構：國立台灣體育運動大學

預計執行的期限： 年 月 日

研究參與者的特徵簡述：由國立台灣體育運動大學跆拳道代表隊男性隊員共計 37 名,其中招募 12 位受試者,年紀約 20~22 歲,平均身高 175 公分,體重約 58~68 公斤之間。

■ 這個實驗在做什麼？

本實驗為探討跆拳道選手於技術訓練、體能訓練、戰術訓練及模擬比賽前及比賽中每回合休息時間期間腦電波的相關變化狀態。

■ 您參與實驗的過程為何？

我們會與您事先約定實驗時間，為每日早上九點開始實驗，且因本實驗需要長時間集中注意力及消耗體力，故請您盡可能在實驗前 2 小時進食早餐完畢。

步驟一：配戴頭戴式腦波儀器

我們會請您依照自己頭部的大小調整腦波儀的鬆緊度，並將電極點對準左前額葉位置，以利腦波訊號的接收。以上從步驟一到二，約需花費 3 分鐘。



步驟二：使用腦電波儀 (Electroencephalography, 簡稱 EEG) 測量腦波

腦波儀配戴完成後，我們會使用腦電波儀測量您的腦波，而這種儀器是在記錄大腦的電位活動，並非送出任何能量或物質到人體，因此是非侵入性的測量。

腦波測量圖



實驗結束後，我們會向您解釋這項實驗的目的，並以上從步驟一到二，大約需花費 8 分鐘。實驗結束後，我們將向您詳細解釋這項實驗的目的。

■ 您參與實驗可能得到的好處：

您的參與是為了探討本實驗假說，並不是醫療用途的腦電波檢測，亦不會為您帶來立即益處，但有可能幫助我們了解大腦執行作業活動時所產生的反應變化。在實驗完畢後，

我們很樂意與您討論大腦結構與相關的學習功能，可讓您增廣見聞。另外在每次實驗結束後，我們會提供一份點心或飲料給您做為運動後營養補充。

■您參與實驗可能受到的傷害風險或不適：

腦電波儀是記錄大腦的電位活動，本身並沒有送出任何能量或物質到人體，因此是非侵入性的測量。而本研究使用之腦波儀器材僅能提供大腦專注及放鬆時的相關指標，無法看出腦波有任何異常狀態。此腦波儀器已通過國家傳播委員會審定合格得以公開販售及使用，在製造、使用與安全上可靠，應該不會對您造成傷害。但如果您在實驗過程仍覺得不舒服，例如暈眩或體力不堪負荷，想要停止實驗，亦請隨時告訴我們的操作人員，操作人員將會立刻停止實驗。

■您因參與實驗而受到傷害所獲得的賠償：

本校衛生保健組除在實驗過程中隨時待命外，您若因參與本實驗而不幸造成傷害，我們也會負責醫療看診方面之費用。除此之外，我們無法再提供其他形式的賠償。因此，請您慎重考慮是否願意接受參與本實驗所需承擔的風險，請不要勉強自己參與。

■我們會如何處理您的腦波測量資料（以及其他哪些資料）？

另外，除了研究團隊外，其他人不會得到可辨識您個人身份的腦波測量資料（以及其他哪些資料）。未來研究出版時，亦不會揭露您的個人身份。若您對這項研究結果有興趣，我們很樂意未來研究出版時，提供一份相關報告給您。

我有興趣，請寄至 email or

address_____。

不用了，謝謝。

您同意您的腦波測量資料（以及其他哪些資料）未來根據以下哪種方式，可繼續使用這些資料，若您同意將資料提供給研究團隊，**我們將會將您提供的資料以代碼之方式加以保密，不會將個人基本資料對外公開：**

我不同意將資料提供給研究團隊（或他人、單位、影像資料庫）未來其他研究用，本次研究結束後，請刪除。

我同意將資料提供給研究團隊（或他人、單位、影像資料庫）未來 XX 研究方向或主題使用，但對於可辨識我個人身份的資料

未來每次使用，我將委託專責維護研究參與者權益的研究倫理審查委員會，以評估與決定是否需再度徵求我的同意。

未來每次使用，都請徵求我的同意。

■您一定要參與這個實驗嗎？

您可自由選擇是否參與這個實驗，且在實驗過程中，您隨時可拒絕繼續參與，不需要做任何賠償（或影響學期成績等）。若您退出本實驗，有關您的腦波測量資料（以及之前已蒐集且尚可辨識個人身份的資料），您是否希望刪除，不要列入這項實驗的後續資料分析？

是，請刪除，不要列入這項實驗的後續資料分析。

否，無須刪除，可列入這項實驗的後續資料分析。

■我們的聯絡資訊

如果您想詢問與我們實驗有關的問題，請與計畫共同主

持人孫愛奇（主持人是指導教授，研究生是共同主持人）聯絡，電話是 0987-807302，email 為 darkprdr@hotmail.com。除研究團隊外，如果您希望討論有關您參與實驗的權益，或想申訴或抱怨您參與這項實驗的相關事宜，因本實驗已由國立台灣體育運動大學競技運動學系委託中區區域性研究倫理中心就倫理面向審查通過，故您可與該委員會直接聯絡，電話是 04-22053366#2272，email：rrec@mail.cmu.edu.tw

研究參與者簽名處

如果您決定要參與這項實驗，請在下方□打勾：

- 我已經仔細閱讀過上面的說明或已經有人向我仔細說明過；
- 我已經有充分時間考慮是否參與實驗；
- 我知道如果我不想參與實驗，我可以不要參與；且如果我半途不想繼續參與實驗，可以不需要提供任何理由；
- 我有機會提出任何我想問的問題；
- 未來如果我有和參與這項實驗相關的問題，我知道研究團隊的聯絡資訊。

您的簽名：_____

聯絡電話：_____

日期：_____

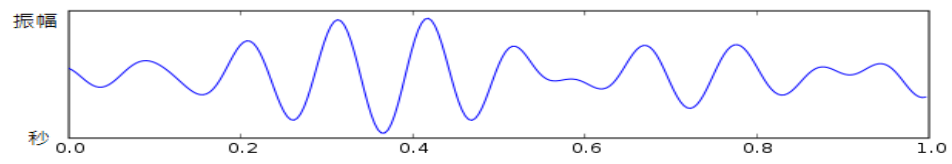
研究團隊簽名處

- 我已經向研究參與者仔細說明這項實驗的目的、過程、可

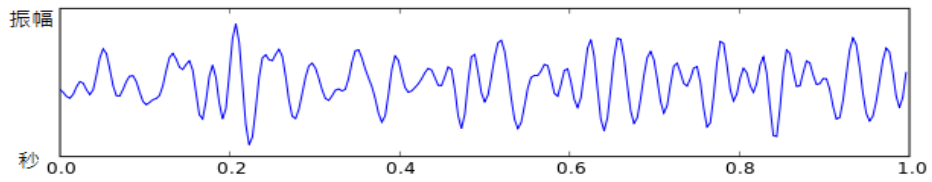
能的益處、潛在傷害或不舒服、以及補償資訊。

計畫主持人/共同主持人/研究人員簽名：

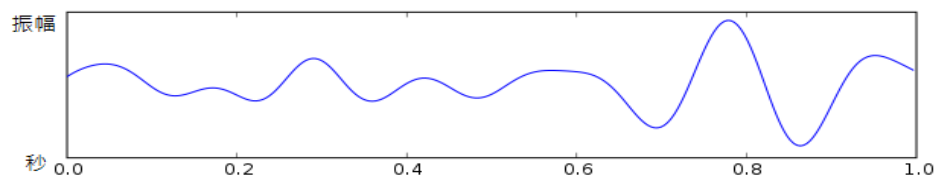
日期：-----



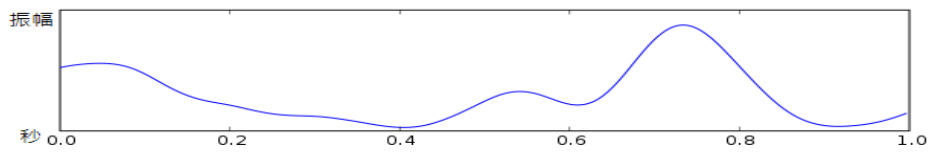
α 波



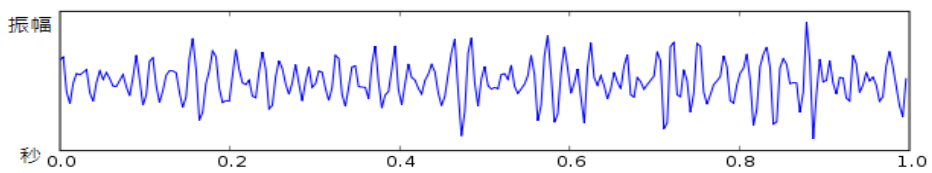
β 波



θ 波



δ 波



γ 波

圖 2 腦電波各階段頻率波形 (資料來自 Hugo Gamboa, 2005)

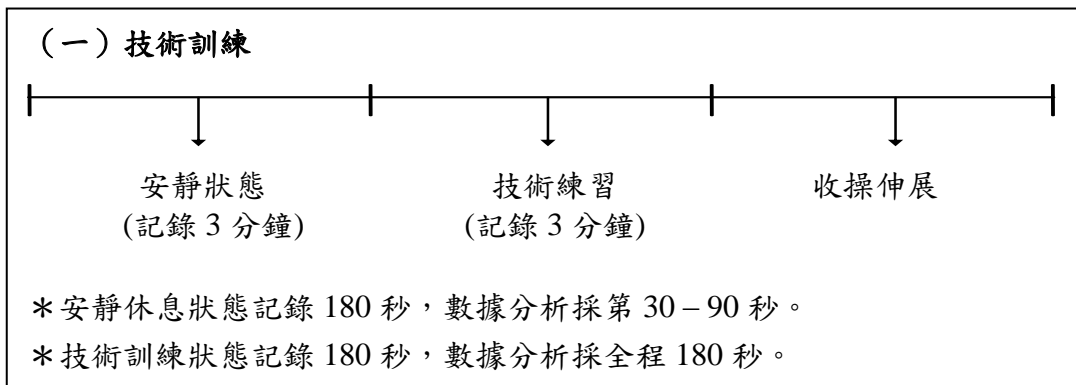


圖 3-1 技術訓練腦電波記錄流程

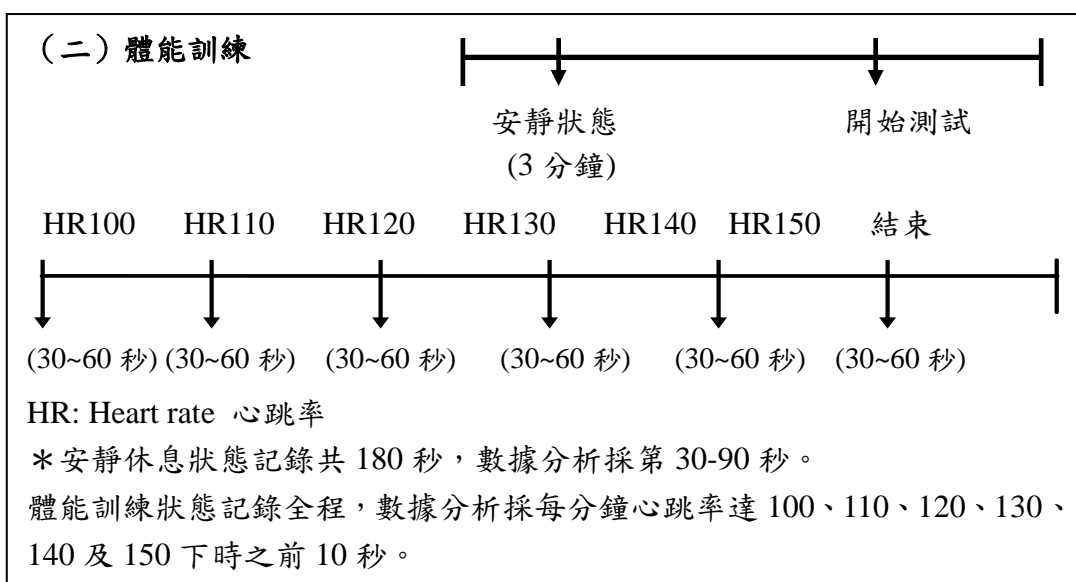


圖 3-2 體能訓練腦電波記錄

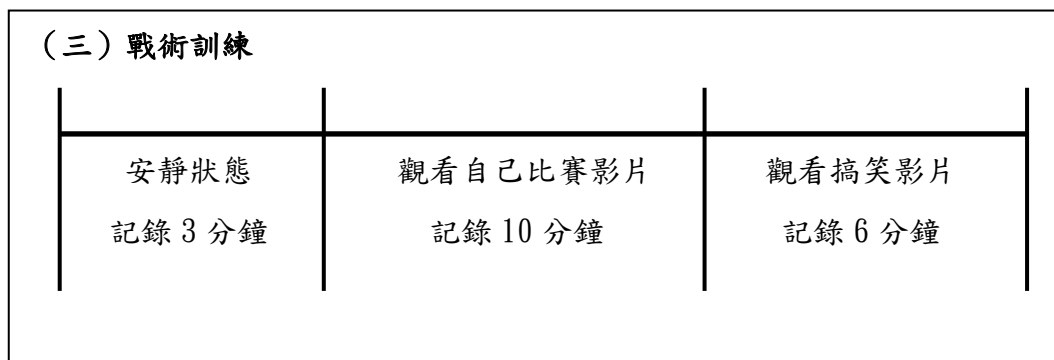


圖 3-3 戰術訓練腦電波記錄流程

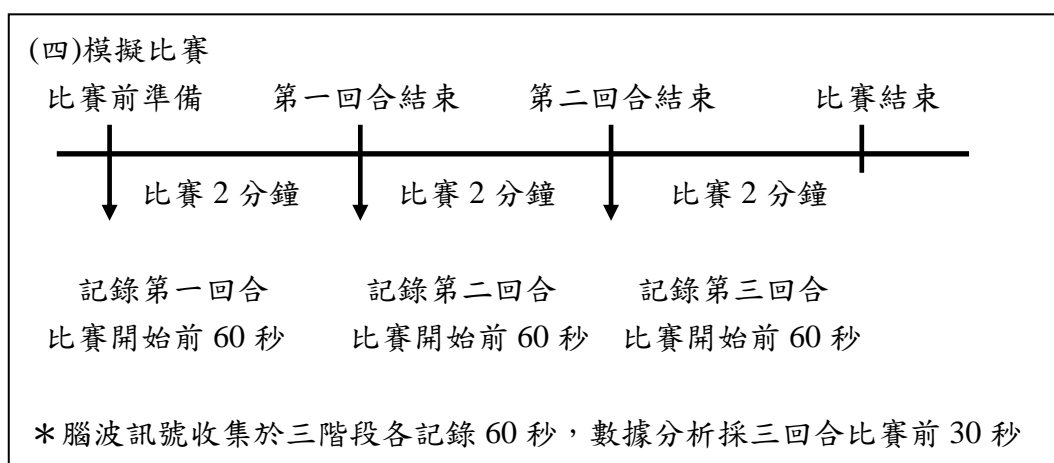


圖 3-4 模擬比賽腦電波紀錄流程

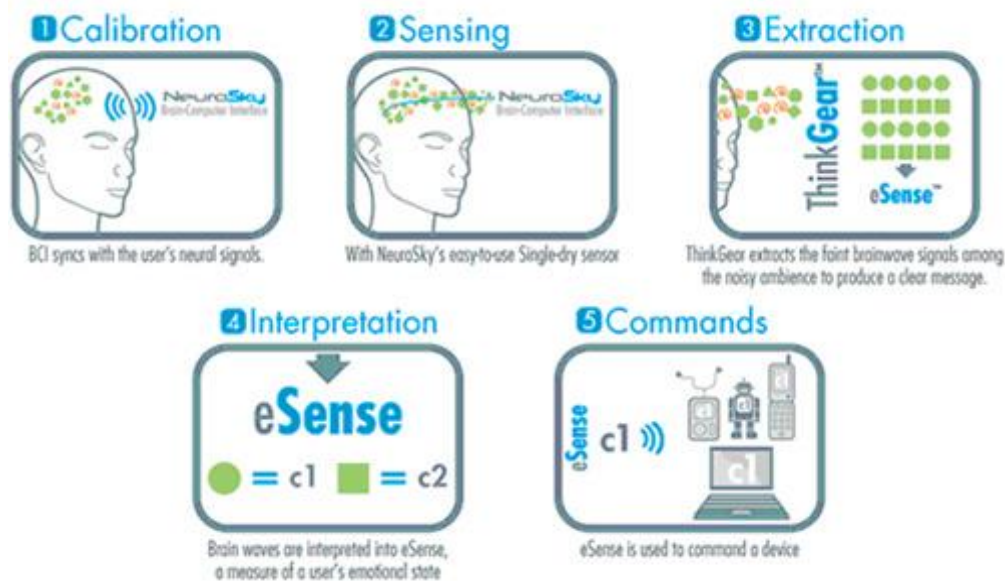


圖 3-5、腦波耳機技術傳遞信號過程（資料來自 Neurosky store, 2009）

圖中各階段說明：1.信號校準：將不同受試者的腦波信號進行解讀、計算及同步輸出，以達到其準確度。2.信號採集：使用 NeuroSky 單導幹電極技術，使腦電波信號收集簡易化且準確。3.信號提取：ThinkGear™從環境噪音及運動干擾中過濾出清晰腦電波信號後放大處理，傳遞清晰的腦電波信號。4.信息解讀：通過 eSense™專利算法將腦電波解讀為 eSense™參數，顯示受試者當前的腦波狀態。5.人機交互：將 eSense™參數呈現在電腦上，進而通過腦電波達到人機的互動效果。

3-1 表一、受試者基本資料

Participant characteristics	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Male (n=12)	21.7 ± 0.83	177.8 ± 3.54	65.0 ± 6.45	18.28 ± 1.80

Values are mean ± SD; BMI, body mass index.

4-2 表二、休息與左右腳踢擊之腦電波頻率變化

(%)	δ	θ	α	β	γ
休息狀態	64.52 ± 6.24	16.58 ± 1.75	7.89 ± 1.82	6.36 ± 2.25	4.65 ± 1.43
右腳	66.87 ± 2.78	15.49 ± 1.54	7.94 ± 0.57	6.62 ± 0.56	3.26 ± 0.76**
左腳	66.32 ± 3.02	15.47 ± 1.48	8.01 ± 0.69	6.72 ± 0.65	3.51 ± 0.60*

*表示與休息狀態比較達顯著差異, *p<.05, ** p<.01

4-3 表三、休息與跑步過程中不同心跳率之腦電波頻率變化

(%)	δ	θ	α	β	γ
休息狀態	68.47 ± 6.56	15.56 ± 1.69	7.71 ± 1.90	5.15 ± 2.17	3.10 ± 1.34
HR100	63.28 ± 5.57	18.82 ± 2.62	9.16 ± 1.75	6.73 ± 1.47	2.67 ± 1.78
HR110	65.14 ± 7.15	16.02 ± 3.30	8.88 ± 1.43	7.97 ± 2.61	2.64 ± 1.33
HR120	63.88 ± 6.02	16.62 ± 3.09	9.23 ± 1.68	8.41 ± 1.19*	2.55 ± 1.22
HR130	66.06 ± 5.06	14.99 ± 1.92	9.13 ± 1.47	8.63 ± 0.94**	2.58 ± 1.42
HR140	65.59 ± 5.11	15.35 ± 2.82	8.91 ± 1.24	8.38 ± 1.27*	2.38 ± 1.10
HR150	64.29 ± 4.68	15.92 ± 1.68	8.87 ± 1.67	8.37 ± 1.05*	2.70 ± 1.11

HR: Heart rate

*表示與休息狀態達顯著差異, *p<.05, **p<.01

4-4 表四、休息與觀看比賽影片或卡通影片之腦電波頻率變化

(%)	δ	θ	α	β	γ
休息狀態	64.77 ± 7.30	16.55 ± 3.05	8.03 ± 2.15	6.02 ± 1.91	4.58 ± 1.31
比賽影片	55.46 ± 7.91	16.51 ± 0.83	8.86 ± 1.36	8.23 ± 3.14	8.69 ± 3.42*
卡通影片	60.56 ± 8.64	17.89 ± 2.22	9.59 ± 2.79	8.18 ± 3.41	4.62 ± 1.90#

*表示與休息狀態達顯著差異, * p<.05

#表示與觀看比賽影片達顯著差異, # p<.05

4-5 表五、模擬比賽前及每回合休息期間勝負兩方選手腦波頻率變化

第一回合開始前 30 秒	δ	θ	α	β	γ
勝	71.86±3.71	14.31±2.50	6.72±0.63	5.05±1.41	2.06±0.82
負	74.84±3.18	12.37±1.51	6.12±1.36	4.57±1.17	2.10±0.98
第二回合開始前 30 秒	δ	θ	α	β	γ
勝	75.75±3.31*	11.99±1.78	5.80±0.99**	4.79±1.24	1.68±0.53*
負	72.18±3.88	13.18±2.83	7.12±0.87	5.11±0.80	2.41±0.79
第三回合開始前 30 秒	δ	θ	α	β	γ
勝	75.13±4.87	10.99±2.24	6.32±1.33	5.61±2.32	1.94±0.68
負	73.23±5.70	12.45±2.72	6.56±1.30	5.47±2.07	2.28±1.11

*表示與負方比較達顯著差異, *p<.05, ** p<.01