

中國醫藥大學醫學院

醫學研究所

臨床組物理治療學門

碩士論文

知覺干擾與反應衝突對 P300 的影響

Effect of Perceptual Interference and Response

Conflict on P300

研究生：黃宇詒

指導教授：陳芬芬 博士

中華民國九十六年七月

誌謝

兩年前，懷著興奮的心情，再度走入中國醫藥大學校園，猶如新鮮人一般，展開人生另一階段的學習歷程，在繁重的課業之餘，還要能兼顧實驗的進度，如果不是有許多人在背後支持與協助，實在不敢奢望能順利完成學業，這當中實在有太多的人要感謝~

首先，要感謝指導教授陳芬芬老師，從一開始的題目擬定，到論文寫作過程中遭遇的困難及瓶頸，都在老師不厭其煩的指導以及給我最大的包容之下，逐一克服。從老師身上，讓我學習到了做研究該有的認真態度及方法，以及學者求學問的榜樣。感謝口試委員黃英修教授及李信達主任，提供寶貴的建議與指正，使論文能更臻完善。

雅茹、易賢、酉辰、鈺玲和曉蕙，還有我們物治系的學弟妹們，如果沒有你們的支援，在我最分身乏術的日子裡，能時時給予我充足的人力資源，使我在有限的時間內做完進度。你們實在是我最棒的學習夥伴，謝謝你們。

還有感謝親愛的爸媽，以最實際的行動給我支持與鼓勵，你們一直對子女毫不保留的付出，是我終身難以報答的，能夠完成人生另一階段的學習，總算是不辜負你們的期望。

這兩年來，一路奮鬥，彼此互相鼓勵，互相幫助的同學們，感謝你們，讓我在學習的旅程上不曾感到寂寞孤單。還有太多太多工作上的同仁、生活中的朋友，只要我有需要，都能得到你們的幫助。

承受了那麼多人的幫助，也期望將來能有更多的回饋！

宇詵 謹誌

July, 2007

目錄

誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	v
圖目錄	vi
中文摘要	vii
Abstract	viii
第一章 緒論	9
第一節 研究背景與動機	9
第二節 研究目的	14
第二章 文獻回顧	16
第一節 事件相關腦電位的由來	16
第二節 ERP 與認知科學	17
第三節 ERP 的基本概念	20
第三章 研究方法	34
第一節 研究設計	34
第二節 研究架構	38
第三節 研究假說	39
第四節 腦波紀錄、資料處理與統計分析	40
第四章 研究結果	48
第一節 實驗一	48
第二節 實驗二	61
第五章 討論	68
第一節 實驗一	68
第二節 實驗二	71
第六章 結論	73
第七章 研究建議	74
參考文獻	75

表目錄

表 1：空間符碼的四種實驗情境中反應時間、動作時間、正確率·····	48
表 2：實驗一，反應時間的變異分析表·····	49
表 3：實驗一，動作時間的變異分析表·····	51
表 4：實驗一，正確率的變異分析表·····	52
表 5、空間符碼的四種實驗情況，刺激評估與反應選擇的表現·····	54
表 6：實驗一，P300 潛伏期的變異分析表·····	57
表 7：實驗一中，反應選擇期的變異分析表·····	59
表 8：在匹配與不匹配的情況下的平均反應時間、動作時間和正確率·····	61
表 9：實驗二中，反應時間的變異分析表·····	62
表 10：實驗二中，動作時間的變異分析表·····	63
表 11：實驗二中，正確率的變異分析表·····	64
表 12：語言性符碼的實驗在匹配與不匹配時的刺激評估期與反應選擇期·····	65
表 13：實驗二中，P300 潛伏期的變異分析表·····	66
表 14：實驗二中，反應選擇期的變異分析表·····	66

圖目錄

圖 2-1：認知神經科學的研究架構與取向	18
圖 2-2：國際 10-20 腦電紀錄系統	21
圖 2-3：Sternberg 的資訊理論	30
圖 2-4：不同手反應時的準備電位對 ERP 的作用	32
圖 2-5：側化準備電位對 P300 波型的影響	33
圖 3-1：受試者實際進行實驗的情況	37
圖 3-2：研究架構	38
圖 3-3：研究假說	39
圖 3-4：國際 10-20 電極安置圖	40
圖 3-5：實驗一的步驟圖示	41
圖 3-6：實驗二的步驟圖示	42
圖 4-1：實驗一，二因素對反應時間的交互作用	50
圖 4-2、四種實驗狀況下的平均反應時間與動作時間	53
圖 4-3：一致與不一致刺激的 ERP 波形比較	54
圖 4-4：匹配與不匹配刺激的 ERP 波形比較	55
圖 4-5、四種情況時 P300 潛伏期與反應選擇期	55
圖 4-6：一致與不一致性刺激時各處電極的相關電位比較	56
圖 4-7：匹配與不匹配情況時各處電極的相關電位比較	56
圖 4-8：刺激一致性與反應匹配性兩因素對於 P300 潛伏期交互作用	58
圖 4-9：刺激一致性與反應匹配性兩因素對於反應選擇期的作用	60
圖 4-10：實驗二行為數據的匹配性比較	62
圖 4-11：實驗二，匹配與不匹配時各處電極的相關電位比較	65
圖 4-12：實驗二 ERP 數據的匹配性比較	67

中文摘要

以事件相關腦電位 (Event-related potential, ERP) 結合反應時間的時間測量法 (chronometry), 適用於研究大腦刺激的區辨以及反應選擇的機制。ERP 中的 P300 潛伏期常被用作評估刺激的指標。本研究的目的是在探討一致與非一致的視覺刺激 (congruence & incongruence visual stimuli) 和匹配與不匹配的反應要求 (compatible & incompatible reaction time task demand) 對於事件相關腦電位 (event-related potential, ERP) 的影響。研究假定, 刺激一致性影響刺激評估期, 反應匹配性影響反應選擇期。

此時間測量模式利用 P300 將反應時間再分成兩區段, 前半段的 P300 潛伏期視為刺激評估期 (stimulus evaluation); 後半段自 P300 波峰至動作反應之起始點, 則視為反應選擇期 (response selection)。實驗分二個部份, 受試者將在不同組合的實驗情境下交互使用左手或右手作反應, 利用一致或非一致的刺激來影響辨識的反應; 搭配匹配或不匹配的反應條件要求來影響反應選擇的時間。實驗一採用「箭頭」的空間性刺激符碼, 實驗二採用「左右」的語言性刺激符碼。實驗一反應時間的結果顯示, 刺激一致性與反應匹配性效果顯著, 且交互作用明顯, 這說明二因素並非分別作用在認知過程的不同階段。事件相關電位的結果顯示, 匹配性並不影響反應選擇期, 而 P300 潛伏期的匹配性效果是因刺激型態而異, 當一致性刺激時, 匹配效果顯著, 不一致刺激則否。實驗二的結果, 不匹配的文字刺激顯著的增加行為表現的反應時間, 和事件相關電位的反應選擇時間; 但 P300 潛伏期不受影響。

空間性箭頭刺激與文字性刺激, 對於一致性與匹配性的操控的資訊處理過程是不一樣的。大腦對於一致與不一致的刺激在知覺上或許有不同的解碼以及處理策略, 一致性的符碼 (code) 與動作記憶印象 (Engram) 之間似乎易形成特殊的鍵結 (Bonding)。整個訊息處理過程中匹配性與一致性彼此並非各自獨立、互不干擾。

關鍵字：反應時間, 匹配性, 一致性, P300 潛伏期

Abstract

Chronometry that combines ERP and reaction time was used to investigate the mechanism of stimulus discrimination and decision execution. The P300 latency is an index of stimulus classification speed. We investigate the effect of congruence visual stimuli and compatibility on ERP and reaction time. We hypothesized that congruency will affect stimulus evaluation and compatibility affect response selection.

The peak of P300 divided the reaction time into two section. P300 latency is the time for stimulus discrimination ; The time from the peak of P300 to the initiation of movement is response selection. Subjects will respond by both hands under different conditions. Ours experiment had two parts. Experiment one used spatial code-「 arrow 」, experiment two used verbal code- 「 right & left 」 .

The results of experiment one showed that congruency and compatibility have significant effect on reaction time, so is the interaction. The results indicated that the two factors do not affect in parallel at different stages in the cognitive process. ERP results showed that compatibility did not change response selection time, and the effect of compatibility on P300 latency is depended on the congruence of the stimuli. P300 latency shows significant compatibility effect under congruent stimuli. The results of experiment two show that compatibility significantly increased the reaction time, response selection time, but not the P300 latency.

Brain may code the congruent and incongruent stimuli in different ways during the perceptual process. It seems that a bond may exist between the codes of congruent signals and motor “Engrams” and may affect perception and action planning. This bonding may explain why the P300 latency is longer under incompatible condition while receiving congruency stimulus. Compatibility and congruency are not independent on each other.

Key words: Reaction time, congruence, compatibility, P300 latency

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

事件相關電位 (event-related potential, ERP) 具備優越的時間解析能力，在新近的神經科學工具中，可說是最符合這些需求的工具。ERP 是腦電圖 (electroencephalogram, EEG) 的延伸應用，透過刺激或事件在 EEG 的連續紀錄上的時間鎖定 (time lock)，排除大腦自發的和隨機的雜訊，而得到由刺激或事件誘發的活動電位，能夠提供腦部即時的活動訊息，包括腦波成分的時間、正負極性、區位分佈等訊息。

已經有許多的研究中運用反應時間 (response time) 所提供的訊息來探討心智活動，而當搭配上事件相關電位 (event-related potential, ERP) 的技術與測量則更加完善這種測驗工具。其中特別是 P300 單元的潛伏期，更是定義成代表大腦認知功能系統中的刺激評估階段所花的時間 (stimulus evaluation time)，而先前大多認為刺激評估階段 (stimulus evaluation)、反應抉擇階段 (response selection)、反應執行過程 (response execution) 之間是互相獨立的。但是有研究顯示某些會增長反應時間的因素造成 P300 潛伏期的敏感性降低 (Verleger, 1997)，只是在這些實驗中並沒有明確的界定反應抉擇階段 (response selection) 與反應執行過程 (response execution)，也沒能有系統的操控實驗中的反應參數以求將 P300 潛伏期能獨立於反應執行。

P300 是事件相關電位 (ERP) 中峰潛伏基位在 300ms 左右的晚期正向波，為信號處理特有電位，是腦誘發電位研究中的一個重要發現。目前醫學界很關心這一指標。自 Sutton 于 1965 年首次發現 P300 以來 (Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965)，人們對其進行了大量研究，最初發現它與認知過程有關。因為在與認知功能損害有關的疾病中，P300 的波幅和潛伏期發生相應的改變，在心理測試中，

P300 的改變比其他心理檢測指標早應用于臨床，作為認知功能損害的一個輔助手段。為了使 P300 的檢測在臨床工作中發揮更大作用，如進行腦損傷用力的定位診斷和大腦某些高級功能的研究，人們建立了各種動物模型使用了視、聽、體感等刺激方式，對 P300 的神經起源進行探討。

以往 P300 潛伏期基於以下被觀察到的現象而被認為是獨立於反應抉擇和反應執行。當刺激評估需求 (stimulus evaluation demands) 增加時，反應時間與 P300 潛伏期所花的時間都增加了，但是當反應處理程序需求 (response processing demands) 提高時，唯一會被探測到延長的卻是反應時間。在一個分辨同意字 (synonyms identification) 的實驗中能觀察到這個現象 (Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977)，實驗中設計了不同難度的語意分類 (semantic categorization) 和速度-正確率指示 (speed and accuracy instruction)。結果顯示，當難度提升時 P300 潛伏期和反應時間增加；而雖然要求速度的指令能降低反應時間，但是對 P300 潛伏期卻沒有影響。類似的效果也能在 Stroop task 中見到，實驗中代表顏色的文字未必與其呈現的顏色一致 (congruency) (用紅色顯示的“紅”字，以及用黑色顯示的“紅”字)。當受試者被要求對不一致的刺激有回應時，受試者的反應時間會延長但是 P3 潛伏期不會增加 (Duncan, Johnson, & Lambie, 1981)。

在另一個操控聲音訊號與刺激和反應是否匹配 (compatibility) 的實驗中也能見到相同結果，也就是當聲音訊號和反應不匹配時，受試者的反應時間是增加的；P300 潛伏期雖然會受到聲音訊號的影響而增加但是受到反應不匹配的影響而增加的量卻小了許多 (Duncan et al., 1981; Magliero, Bashore, Coles, & Donchin, 1984)。其它反應相關的操控參數像是手的擺置 (hand placement) 或是手的移動方向 (movement direction) 則不會對 P300 潛伏期造成影響 (Fiori, Ragot, & Renault, 1992; Leuthold & Sommer, 1998)。

先前的這些研究中，反應時間 (response time) 的部份各以不同的方式測量，但是關於反應時間的單元結構卻都沒有明確的提及。反應時間這個名詞，早

期廣義來說能包含了刺激評估、反應抉擇和反應執行這三個單元。近年來隨著心智相關領域的研究針對時刻測定的測時法 (chronometry) 進行分析，目前已經普遍地認定反應時間 (response time, RT) 代表了我們的大腦心智進行刺激評估和選擇適當反應所需的時間。而動作時間 (movement time, MT) 則是指執行動作反應所需要的時間。

如今已經可以靠包含著起始按鍵 (home button) 和反應按鍵 (response button) 的儀器設備來區別時段並紀錄數據。反應時間定義成從接受到刺激開始直到受試者的手離開起始按鍵 (home button); 動作時間 (movement time, MT) 就是指從離該起始鍵直到按下反應鍵的這段時間 (Jensen & Munro, 1979)。因為反應時間主要被接受到的刺激時提供的訊息所影響，所以反應時間主要被認為取決於認知程序的因素；動作時間因為不被接受到的刺激時提供的訊息所影響，所以動作時間被認定反映出執行反應時感覺動作單元 (sensori-motor) 處理過程的速度，所以在不同的按鍵距離或是按鍵大小時就有可能影響動作時間。

在有確實區分反應時間與動作時間的實驗中，實驗數據顯示當提升反應程序的需求 (response processing demands) 時，反應時間會增加但是動作時間並不會延長 (Houlihan, Campbell, & Stelmack, 1994)。

這些顯示 P300 潛伏期是與反應處理程序時間 (response processing time) 互相獨立的研究中，其實對於反應執行的需求 (response execution demands) 是極小的，往往只是要求受試者的手離開按鍵而已，也沒有額外的移動要求。實驗的設計主要也是操弄反應時間的部份而不是動作時間的部份。所以事實上，很少的事件相關腦電位實驗有切確的區分反應時間與動作時間。因為會影響反應時間的因素並沒有影響 P300 潛伏期，所以普遍的假設是 P300 潛伏期反映的是刺激區辨評估階段而且與反應動作執行階段互相獨立。

在 Cynthia Doucet 與 Robert M. Stelmack 一系列相似語意 (semantic similarity)、簡單與選擇反應時間 (simple and choice reaction time) 的實驗中，發現實驗的難度會影響 P300 潛伏期以及反應時間，但是不會影響動作

時間(Cynthia Doucet & Robert M. Stelmack, 1999)。而在下一系列操控刺激的一致性或反應的匹配性的實驗中，顯示刺激分析評估的需求 (stimulus analysis demands) 上升時同時會增加 P300 潛伏期和反應時間 (RT)，但是當反應不匹配時會影響的只有反應時間的上昇(Houlihan et al., 1994)。

在 Cynthia Doucet 的研究中探討反應執行與 P300 潛伏期間的關係以及探索刺激的一致性與反應的匹配性之間的交互作用(Cynthia Doucet & Robert M. Stelmack, 1999)。他們設計刺激－反應匹配模組 (stimulus－response compatibility paradigm) 來評估刺激的一致性和反應的匹配性對於 P300 潛伏期、反應時間、和動作時間的影響。參照 McCarthy 等人的設計，利用符號類的刺激來操控匹配性與一致性(McCarthy & Donchin, 1981)。雖然關於反應的匹配性對於 P300 潛伏期的影響並不盡相同，但在 Cynthia & Robert 這份實驗中顯示反應抉擇階段應該是與 P300 潛伏期互相獨立；但是當在刺激評估需求極低時，動作的執行就會影響到 P300 潛伏期。而只要提升一點點的刺激評估需求，就能夠屏蔽動作執行對 P300 潛伏期影響。

先前 Cynthia & Robert (1999)的研究中探討反應執行與 P300 潛伏期間的關係以及探索刺激的一致性與反應的匹配性之間的交互作用。但是他們並未對於反應選擇期有深一步的界定與探討。此外，他們有部分的數據顯示 P300 的潛伏期比反應時間還長，對於這結果他們解釋 P300 單元內可能含有準備動作電位 (readiness potential, RP) 的成分，因此造成這一部分的訊息處理與動作執行可能有牽涉到前期動作神經元 (premotor component)，所以針對這種情況我們利用交互使用左右手 (bimanual) 的方法，將使用左右手時的腦電位作疊加平均，以期能得到一組更為純淨的腦電波訊號供我們分析。

雖然以 Sternberg 的「加因素法」(additive factor method)，運用會造成反應時間延長的變項來標定認知過程中的不同階段以及確認各階段的獨特處，能夠將認知工作的反應時間分割成 (1) 刺激評估、(2) 反應選擇二階段。但事實上結合 ERP 與反應時間作為時間測量(chronometry)的研究多著墨於 P300

潛伏期，而且以 P300 潛伏期顯示刺激評估幾乎是所有研究者的共識。相反的，對於反應選擇的探討，很少文獻直接由反應時間減去 P300 潛伏期來得到反應選擇的結果。而是間接由 P300 與反應時間兩者間無關，推論 P300 潛伏期與反應選擇無關(Christensen, Ford, & Pfefferbaum, 1996; McCarthy & Donchin, 1981)。或是一些作者用 LRP (lateralized readiness potential) 來作為反應選擇的指標(Valle-Inclan, 1996)。這些都是間接的推測，並不符合 Sternberg 的認知二個串聯式階段的說法。探究為何很少研究者 ERP 上直接測量所得的反應選擇時間作為測量的數據，最可能的原因在於，若要利用這一種測量法會需要較精準的 P300 潛伏期的測量，否則將大幅影響測量的結果。但是由於 P300 波為一個複合波，含有多個子成分。在反應時間的行為測量裡，由於運動前成份 (pre-motor component) 是一個影響 P300 潛伏期與波幅的重要因素。Cynthia Doucet 就曾提及動作對於 P300 潛伏期的影響，雖然她強調在較複雜的刺激與反應要求下，動作的影響相對為小；但是在她的研究內亦僅提及 P300 潛伏期與反應時間，並未探討反應選擇這個議題。我們認為這是她研究中的一個缺憾。

第二節 研究目的

本研究的目的有二，(一) 重新探討刺激評估與反應選擇是否為認知過程中獨立的串聯式的二階段。(二) 採用方法儘量消減因為前運動成分的腦波對於 P300 測量的影響。

以事件相關腦電位 (Event-related potential, ERP) 結合反應時間的時間測量法 (chronometry)，為一適用於研究大腦刺激的區辨以及反應選擇的機制。ERP 中的 P300 潛伏期常被用作評估刺激所需的時間指標。ERP 研究顯示，刺激評估 (stimulus evaluation) 與反應的要求 (execution demand) 分別影響反應決策機制的不同階段。

雖然有很多證據支持認知的過程為獨立的串聯式二階段，但是仍存在著一些相反的結果。於研究匹配性 (compatibility) 的研究中，有些實驗認為不匹配的刺激延遲了 P300 與反應時間，因此並不支持認知二階段互為獨立的說法；而有些研究則得到不同的結果，不匹配的刺激並不影響 P300。這些研究都使用了刺激－反應匹配性的實驗程序 (stimulus－response compatibility paradigm)，探究這些不一致結果存在的原因，可能是由於不同的實驗狀況與腦波紀錄的差異。

由於這一些爭議的存在，我們認為有需要將 P300 的記錄去除前動作成份 (pre-motor component) 的干擾，得到較純淨的 P300 之後，再重新分析與探討這個問題。

有關運動前成分 (pre-motor component) 則主要來自準備電位 (readiness potential)。有學者認為準備電位是由於隨意的手動作引起的前動作電位 (pre-movement potential) (Deecke, Grozinger, & Kornhuber, 1976)，這是一種具有側化性質 (lateralized) 且最大電位出現在動作肢體對側的運動皮質區 (C3, C4) 的一種慢波。由於左右手動作時其波的正負向是相反的，若將左右

手的 ERP 電位作疊加平均之後應可以消除大部分的前動作電位，因而去除掉 P300 中的前運動成分。

本系列實驗藉由電腦螢幕給予受試者不同組合的視覺圖片，在受試者判讀與反映時，會同時觀察腦波變化、反應快慢、和判斷正確率，以進行腦部認知相關電位和動作時間的分析。希望探討一致與非一致的視覺刺激 (congruence & incongruence visual stimuli) 和匹配與不匹配的反應要求 (compatible & incompatible reaction time task demand) 對於事件相關腦電位 (event-related potential, ERP) 的影響。



第二章 文獻回顧

第一節 事件相關腦電位的由來

1929 年，Hans Berger 首先發表腦的自發電位 (electroencephalogram, EEG, 即腦電圖)，報告心算可引起 EEG 的 α 節律減少。從此科學家對於 EEG 寄予厚望，力圖從中提取心理活動信息，以揭示腦的心理功能奧秘。之後的 30 年中，關於 EEG 與心理活動關係研究，以及從中提取心理活動信息的研究一直沒有中斷，可是由於受到當時科技水平的限制，收效甚微。直到 50 年代末，隨著計算機在生物學中的應用，特別是用於 EEG 分析而產生了事件相關電位 (event-related potential, ERP) 方法，才使腦波與心理因素關係的研究重起生機 (魏景漢, 2002)。

人腦只要沒有死亡，就會不斷產生 EEG。EEG 一般是由頭皮表面電及記錄得到的。它的諧波稱份相當複雜，看上去是一種連續而不規則的電位波動。健康成年人在清醒狀態下，頭皮表面紀錄的 EEG 為數微伏到 $75 \mu V$ 左右，但在病理狀態下 (癲癇發作) 可達 1 毫伏以上。腦的心理活動所產生的腦電信號通常比自發電位小，而且會被埋沒在自發電位中而難以觀察。僅從 EEG 也很難獲得關於複雜認知的起始時間、持續時間、時間順序等訊息。採用計算機疊加技術可將這種信號從自發電位中提取出來，這樣提取出來的訊號就是 ERP。它是刺激事件 (包括物理刺激和心理因素) 引起的即時腦電波形，時間分辨率可精確至微秒等級。由於 ERP 是藉由刺激誘發產生的，故又稱誘發電位 (evoked potential, EP)。

第二節 ERP 與認知科學

在學術研究領域，ERP 屬於心理生理學 (psychophysiology) 範疇。心理生理學的概念是 John Stern 在 20 世紀 60 年代提出的，它是以心理因素為自變量，以生理指標為因變量的學科，一般是以人為對象。生理心理學 (physiological psychology) 則是以生理變化為自變量，以心理因素為因變量的學科，一般以動物為對象。認知神經科學是在進十年才崛起的，目前頗受腦科學界關注，ERP 是其中的重要組成部分。

認知可分為認知過程 (時間過程) 和認知狀態。認知心理學是心理學吸取了信息處理科學的營養才形成的，信息處理研究的是過程，而不是狀態；因此，認知神經科學是側重研究認知過程神經機制的學科。ERP 具有高時間分辨率的優勢，還能搭配行為反應時間的資料進行認知過程研究。

認知神經科學 (cognitive neuroscience) 是神經科學近年來新興的領域，其主要的宗旨在於結合神經科學與認知科學的研究，以探討各種心智與認知功能的大腦神經機制為長程目標。近年來許多原來著重於行為 (或心理物理) 層面研究者，均紛紛轉移心力投注於大腦機制的研究即可為一強烈的佐證。在這個結合認知神經科學與神經科學的努力中，多位學者均提出或倡導一個認知神經科學的研究架構，以統整不同的研究取向與方法所提供對理解心智功能大腦機制的貢獻 (Kosslyn & Shin, 1992; Posner, 2004)。

這個認知科學的觀點分別由行為的研究 (behavior)、包括了神經解剖學與神經生理學的大腦的研究 (brain)、以及計算的分析與模擬 (computational analysis & simulation) 三個相互緊扣、影響的環節構成；認知神經科學三個環節之間的關係，如下圖所示：

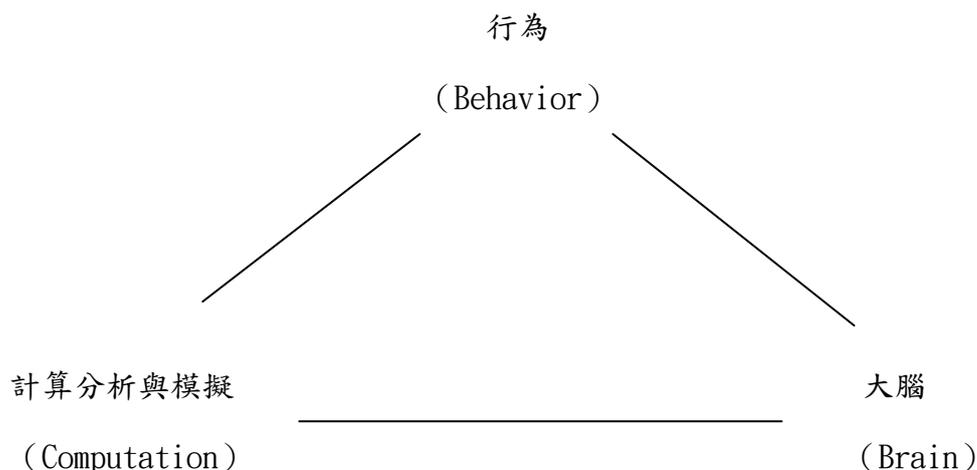


圖 2-1：認知神經科學的研究架構與取向

其中「行為」的部份指的是許多領域，如：心理學、語言學等。對於心智歷程相關的行為層次的研究，這新的研就通常涉及功能性的分析，即哪一種的刺激會得到哪一種的反應，並企圖藉由這種輸入與輸出的功能性關係之分析 (functional analysis)，推論內在歷程及表徵。眾多認知心理學的實證性研究。各種心理物理的研究均屬於這個範疇。

在「大腦」的部份主要指的是有關大腦及神經系統在結構 (解剖) 及功能 (生理) 層面的研究，許多從事神經科學的研究，從分子、單細胞紀錄的微觀層次，至大腦領域、迴路的系統研究均屬於這個範疇。

最後、在「計算」的範疇，則是企圖對複雜的歷程與結構之間所可能有的互動，從事計算性的分析乃至於系統性的模擬 (simulation) 及建構 (modeling) 的研究均屬於這個範疇。這種計算模擬也逐漸成為眾多研究者接受的新型態研究方法，因為傳統的實驗方法常因為許多因素的限制，無法對影響一個複雜且動態系統的所有因子同時做實驗性操弄，所以當要了解諸多因素如何共同影響一個系統的運作時，經常必須訴諸電腦模擬的手段，而一旦一個仔細建構且每一成份均能以量化方式界定的模型可以表現出與人類相當的資料，則我們傾向視這種計算模型提供了另一個實證的證據。

綜合來說，當代認知神經科學的觀點，提供了在研究心智功能與歷程上一個重要啟示，也就是說我們若要達到一個嚴格界定且真正了解的境界，必須在行為層次、大腦機制的層次，以及計算分析與模擬的層次同步努力才能夠有實質的貢獻，而這也是認知神經科學研究在近年來蓬勃發展，且吸引眾多研究者投入的主要動力。



第三節 ERP 的基本概念

1947 年 Dawson 首次報告用照相疊加技術紀錄人體誘發電位 (evoked potential, EP)。1951 年 Dawson 介紹誘發電位平均技術，開創了神經電生理學的新時代。目前用計算機對誘發電位進行平均，故誘發電位又稱平均誘發電位 (average evoked potential, AEP) (Dawson, 1951)。平均誘發電位是由刺激引起的，隨著它的應用日益廣泛，刺激種類不斷增加，科學工作者將各種刺激統稱為事件 (event)，誘發電位遂也被稱為事件相關電位 (event-related potential, ERP)。

ERP 的定義，廣義是指凡是外加一種特定的刺激作用於機體，在給予刺激或撤銷刺激時，在神經系統任何部位引起的電位變化。狹義來說，凡是外加一種特定的刺激，作用於感覺系統或腦的某一部位，在給予刺激或撤銷刺激時，在腦部區域所引起的電位變化。一般 ERP 僅指該狹義定義。

一次刺激誘發的 ERP 的波幅約為 $2\sim 10\mu V$ ，這比自發電位小得多，往往淹沒在 EEG 中，兩者之間的關係就像小信號與大噪音，因此無法測量或研究。但是 ERP 有兩個恆定，一個是波形恆定，另一個是潛伏期恆定。利用這兩個性質就可以利用疊加技術，將 ERP 從 EEG 中提取出來了。

為了從 EEG 中提取 ERP，需要對受試者施以多次重複刺激。將每回刺激產生的含有 ERP 的 EEG 加以疊加與平均。由於作為 ERP 背景的 EEG 波形與刺激之間無固定的關係，而其中所含的 ERP 波形在每次刺激後是相同的，且 ERP 波型與刺激間的時間間隔 (潛伏期) 是固定的，經過疊加，ERP 與疊加次數成比例的增大，而 EEG 則按隨機噪音方式相加。

一、ERP 的記錄系統

國際腦電圖學會在 1958 制定了各國統一的 10-20 國際腦電記錄系統，沿用至今。其原則是頭皮電極點之間的相對距離以 10% 與 20% 來表示，並採用下列兩條標誌線：

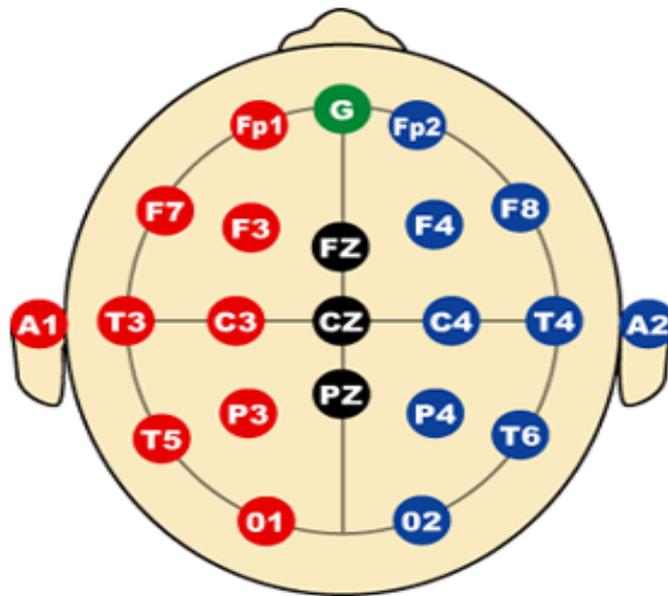


圖 2-2：國際 10-20 腦電紀錄系統

矢狀線：從鼻根至枕外凸隆的連線，又稱中線。從前往後標出 5 個紀錄點——Fpz、Fz、Cz、Pz、Oz。Fpz 之前與 Oz 之後各佔中線全長的 10%，其餘點間距皆佔 20%。

冠狀線：兩外耳道之間的連線。從左到右也標出 5 個點——T3、C3、Cz、C4、和 T4。T3 與 T4 外側各佔 10%，其餘點間距皆佔 20%。Cz 是矢狀線與冠狀線的交點，因而常做為基準點。

經過上述兩線的邊緣 4 點，以 Cz 為圓心畫圓，4 個點間各在元週上等距地取 2 個點，並在 Fz、C3、Pz、C4 間各取一個點。這樣 10-20 系統共由 21 枚有孝電極組成。

在 ERP 的研究中，命名法是以正波名為 P (Positive)，負波名為 N (Negative)，後面標出其潛伏期。例如 270 豪秒的正波記為 P270。

二、P300 的生理意義

P300 乃 1965 年由 Sutton 等所發現，當初是指在 300ms 左右出現的正波 (Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965)。P300 單個波一般可在 Oddball 實驗模式下出現。該實驗模式的要點是：對同一感覺通路的一系列刺激由兩種刺激組成，一種刺激出現的概率很大（如 85%），稱為標準刺激；另一種刺激出現的概率很小（如 15%），稱為偏差刺激。兩種刺激出現的順序是隨機的，對受試者來說偏差刺激具有偶然性。另受試者發現偏差刺激後儘快按鍵或是記憶出現數目。此時偏差刺激已成為目標刺激 (target stimuli)。如此可在偏差刺激後約 300ms 觀察到一個正波，此即 P300。研究發現，他在 Pz 點附近波幅最高；在非注意條件下或偏差刺激與被試者的任務無關時不能引起 P300，或只能引起很小的 P300；雙任務的實驗證明，在一定程度上 P300 的波幅與所投入的心理資源量呈正相關。P300 的潛伏期隨任務難度的增加而增加。

關於 P300 反映何種具體認知過程的問題，已提出了不少理論，目前尚存在不同意見。一種觀點認為，P300 代表知覺任務的結束，也就是代表某種刺激的資訊處理的抑制，當對所期盼的刺激做某種有意志的資訊處理時，相關的頂葉或內側顳葉部位被激活，會產生負性電位，一旦這一處理過程結束，則這些部位受到抑制，此時即產生 P300。另一個被心理生理學研究廣泛支持的假說是認為 P300 的潛伏期反映對刺激物的評價或分類所需要的時間；P300 的波幅反映工作記憶中表徵的更新。在哺乳類動物（貓、猴、鼠等）中也可以誘發出 P300。P300 是研究正常人和患者認知處理及大腦機制的重要且廣泛應用的電生理指標。

P300 的腦內源

近年實驗研究證實，P300 的腦內源不只一個，它不是一個單純的成分，而是一個大家族，與多種認知處理有關，這也是出現上述不同觀點的原因。

P300 的定義為當受試者辨識「目標刺激」時，在其頭皮紀錄的、潛伏期約為 300 毫秒的最大晚期正性波即是 P300。P300 的起源可規納成三類說法，第一類是皮質起源，最早認為主要源於頂下聯合區(Simson, Vaughan, & Ritter, 1977; Simson, Vaughn, & Ritter, 1977)，而對新奇刺激的 P300 則源於額葉前部(Knight & Godfrey, 1984)。第二類是皮質下起源，認為發自丘腦內側、中腦網狀結構的非特異性傳導系統(Yingling & Hosobuchi, 1984)。最後一類是邊緣系統起源，因為在顱腦手術中，將電極插入即將切除的海馬、海馬迴和杏仁核，可記錄到一個大電位，又稱內源性邊緣電位，它的極性會和頭皮 P300 相反、潛伏期一致(Stapleton & Halgren, 1987; Stapleton, Halgren, & Moreno, 1987; Stapleton, O' Reilly, & Halgren, 1987)。Okada 等人用超導量子干涉儀在顱區和枕區觀察視覺刺激誘發的磁場變化，也認為 P300 主要起源於海馬，此外腦磁圖 (MEG) 結果也支持這個結論(Okada, Kaufman, & Williamson, 1983)。

設置上誘發 P300 的經典刺激模式是 Oddball 實驗模式。在聽覺，標準刺激為 1000Hz 短純音，佔 80%；目標刺激為 2000Hz 短純音，佔 20%，並且隨機插入標準刺激的序列中。要得到滿意的 P300，需要把刺激疊加 40~60 次。應用最廣泛的是短音刺激 (tone)，還可用語言 (phonemic)、語意 (semantic) 刺激給聲。視覺刺激可採用單色光、符號、字母、單詞等，仍按照大小概率顯示於螢幕。體感覺刺激則常用不同強度、部位的刺激。

記錄電極常置於國際 10-20 系統的中線部位：Fz、Cz、Pz 和 Oz，參考電極則置於耳垂或乳突，地極為前額 (FPz)。常在眼睛旁邊紀錄眼電活動 (EOG) 已排除眨眼與眼球運動對 ERP 的干擾。

P300 的物理影響因素有四類。第一類為刺激通道，目前一致認為視覺 P300 的潛伏期最長，對聽覺與體感覺的 P300 則有爭議，如 Picton 等就報告體感覺

P300 較長(Picton, Skinner, Champagne, Kellett, & Maiste, 1987; Picton, Vajsar, Rodriguez, & Campbell, 1987), 而 Snyder 等人則認為聽覺 P300 較長。至於波幅的大小依次為視覺—聽覺—體感覺 P300(Snyder, 1980)。

目標刺激呈現的概率對 P300 波幅有顯著影響。Donchin 的實驗最為細緻，他設計的目標刺激概率由 0.1、0.2 到 0.9，結果當目標刺激概率越小，P300 的波幅就越大，而與音調高低無關。他認為當目標刺激 $\leq 30\%$ 時便可有發足夠大的 P300，而潛伏期不受概率影響(Kutas & Donchin, 1980)。

Jacobson 等採用 2、4、6、8 秒的刺激間隔 (ISI)，發現 ISI 越長則 P300 的波幅越大，潛伏期無變化(Jacobson & Yeh, 1985)。Polich 則報告 3.3 秒 ISI 比較 1.1 秒的潛伏期延長，5 秒者比 2 秒者趨向於產生一個較大較晚的 P300。將概率與 ISI 進行對比研究，結果表明在 2~3 秒的 ISI 之內，概率的影響明顯，而在 4~10 秒的長 ISI 內則無此影響。所以，在一定範圍內，ISI 越長則 P300 波幅越高(Polich, 1987a; Polich, 1987b; Polich, 1987c)。

一般認為刺激強度主要影響 P300 波幅，強度增強則波幅變大，而對潛伏期無影響(Johnson, Pfefferbaum, & Kopell, 1985)。

影響 P300 的生理因素

P300 的生理影響因素有三類。第一是年齡，與年齡相關的研究報告很多 (Polich, 1996)，多認為在 15~20 歲左右潛伏期最短，波幅最大。以此為界，在兒童年齡減小；在成人，隨年齡增大，則 P300 潛伏期逐漸延長而波幅逐漸減小。在吳宗耀 (1990) 的研究報告 21~87 歲正常人的 P300 潛伏期與年齡的回歸方程式為：潛伏期 (ms) = 273.5 + 0.97 × 年齡 (歲)，由此可推算出一個 50 歲正常年輕人的 P300 潛伏期約為 323ms。也有人認為中年以後的延長速率加快。P300 的年齡變化反映了大腦功能的發育成熟與衰老過程，P300 的年齡相關研究也為臨床提供了正常對照。

第二是性別，從男女之間 P300 對比研究認為，女性波幅稍大、潛伏期稍短於男性，但差別無統計學意義。僅見 Mullis 報告女性的視覺 P300 潛伏期短於男性 (Mullis, Holcomb, Diner, & Dykman, 1985)。

第三為其他類，Polich 報告體溫可影響 P300 潛伏期，體溫每變化 1°C，潛伏期變化一個標準差 (約 30ms)，體溫對波幅沒有影響。心跳次數也與 P300 潛伏期有關，但不如體溫的影響明顯。進食後 P300 波幅增大 (約 3~5 μ v)，潛伏期也略為縮短。觀察 P300 晝夜變化，肯定生理節律對 P300 沒有直接的影響 (Polich & Geisler, 1991; Polich, 1991; Polich, Brock, & Geisler, 1991)。但在進行 P300 量測時應儘量避免這些因素的影響。

影響 P300 的心理因素

任務—P300 的一個最重要特徵就是只有在受試者識別目標刺激並作出反應的主動狀態下才能產生；如是在閱讀等被動狀態下，P300 則非常小或消失。只要受試者注意識別，即使缺乏目標刺激，也可誘發出一個足夠顯著的 P300 波峰，這表明 P300 的產生取決於受試者的主動注意過程而非物理刺激本身。目標刺激缺失時，P300 潛伏期延長 44ms，波幅減小 $1.8 \mu\text{v}$ 。在默數、輕叩和按鍵等三種反應中，默數時的 P300 波幅反應較大，潛伏期較長，而輕叩與按鍵之間沒有差別(Polich et al., 1991)。

難度—採用多種方法改變對目標刺激的識別難度，例如在聽覺實驗中，改變目標與標準刺激的頻率(Picton et al., 1987; Picton, Vajsar et al., 1987)、強度差異(Polich, 1987b)，或設置多個目標刺激(Polich, 1987c)；在視覺實驗中改變刺激的線條長度(Pfefferbaum, Ford, Johnson, Wenegrat, & Kopell, 1983)、角度(Brecher, Porjesz, & Begleiter, 1987)、單詞分類(Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977)，或增加背景干擾(Magliero et al., 1984; McCarthy & Donchin, 1981)，結果均見當難度增加時，P300 潛伏期延長，波幅下降，而潛伏期的延長顯著且穩定。顯示 P300 潛伏期代表了反應速度，而波幅反應了心理負荷量。

三、P300 的心理意義

P300 對高級腦功能的評定

對注意的評定—Hillyard 等人認為在注意過程中，N100、P300 據有重要意義，反映了注意的早、晚期選擇模式。N100 代表刺激定勢 (stimulus set)，即對刺激的早期選擇；P300 代表反應定勢 (response set)，即感知信息處理的後續階段(Hillyard, Hink, Schwent, & Picton, 1973)。也有人認為 P300 潛伏期改變是反應了注意分配的結果，羅躍嘉等人測定 60 例正常青少年的聽覺 P300，並與數字廣度、倒背、數字符號和連線等認知測驗進行相關分析，結果顯示，P300 潛伏期與連線、倒背測驗有顯著相關，連線測驗反應大腦對數字與字母順序的交替和注意轉移，倒背反映了注意的穩定性和精神控制能力，因此，P300 與這些注意特徵相關(羅躍嘉, 1993)。Knight 等發現前額葉損害的病人對經典 oddball 實驗模式中目標刺激誘發的 P300 無變化，但當在該刺激序列中加入狗叫聲且病人的任務仍是對目標刺激反應時，結果未預料的新奇刺激(狗叫聲)產生的 P300 波幅降低，表明了更嚴格的條件下，P300 對注意損害的評定具有更高的靈敏性(Knight & Godfrey, 1984)。

對記憶的評定—在 P300 與短期記憶的相關研究中，發現當記憶的數字個數越多，P300 的潛伏期越短，在兒童這種變化更明顯(Polich, 1985)。Paller 等在登記、回憶、再認等分段記憶實驗中，觀察到能回憶起的單詞比不能回憶時產生更大的 P300，語言比非語言、肯定的決定比否定的決定所產生的 P300 較大(Paller, Kutas, & Mayes, 1987)。Johnson 等人在有意學習實驗中發現，隨後能再認的單詞所誘發的 P300 潛伏期顯著延長，波幅稍增大(Johnson et al., 1985)。研究認為 P300 與再認等記憶後續過程有關，因而與長期記憶也有關。在短期記憶損害的病人中，由短音誘發的 P300 與對照組無差別，但語音、語意誘發的 P300 其波幅顯著下降，潛伏期也比對照組延長 42ms。

對大腦功能成熟性的早期評定—Shucard 等對嬰兒進行聽覺 ERP 測試，發現

1, 3, 6 個月大的嬰兒的 P300 潛伏期平均為 405.4ms，比成人 (326.6ms) 明顯長；波幅逐漸增高，分別為 5.08、12.73、20.53 μ v (Shucard, Shucard, & Thomas, 1987)。P300 是一種內源性成分，根據目前關於 P300 的理論，P300 潛伏期與認知處理過程中評估與分類的完成有關，其波幅則與工作記憶中表徵的背景更新有關。嬰兒的大腦認知功能發育尚不完善，完成認知所需的時間應該較長，相對的，其 P300 潛伏期較長。隨著嬰兒大腦的發育，不斷構築起新的神經功能迴路，使大腦功能逐漸完善，認知處理過程逐漸複雜，可供更新的背景表徵漸漸增加，導致 P300 波幅漸增。由此可理解為 P300 反映了嬰兒的大腦高級功能的發育過程。



四、P300 與知覺以及資訊理論

Shannon 發表的” 資訊理論” (information theory) 影響了認知科學的實證研究，Shannon 以機率模型來敘述資訊 (information)，他認為資訊處理 (information processing) 是一個” 縮減不確定性” 的過程(Shannon, C. E. 1998)。

Hick 與 Hyman 應用資訊理論於反應時間 (reaction time) 研究，他們認為反應時間的長短取決於認知工作中必須處理的資訊量，當認知工作的不確定性愈高，例如，選擇的項目愈多或刺激出現的機率愈低，所需要的認知處理時間愈長，因而，行為測量所測得的反應時間也愈長(Hick, 1952; Hyman, 1953)。

Pachella 運用「消減法」(subtraction method) (Pachella & Fisher, 1969)，於實驗過程中排除某一特定認知程序並觀察是否造成反應時間縮短，欲探討認知過程中有哪些階段。

Sternberg 運用「加成因素法」(additive factor method) 能將反應時間分解成 (1) 知覺編碼 (perceptual encoding)，亦即刺激評估 (stimulus evaluation)，與 (2) 反應選擇 (response selection) 兩個階段 (stage) (Sternberg & Gullick, 1990)。Sternberg 的「加成因素法」基於兩個假設，一是我們的心智活動應該是由一連串獨立的認知階段構成，二是完成整個任務總共需要的時間應該就等於各認知階段分別完成所需時間的總和。主要目的是運用會造成反應時間延長的變項來標定認知過程中的不同階段以及確認各階段的獨特處。典型的操作是採用兩個變項，若兩個變項作用於同一個認知過程的階段 (stages) 時，它們將產生交互作用，亦即其中一個變項的困難度增加時，相對於困難度較低的工作其反應時間更長。若兩個變項作用於不同的認知階段，則二因素之時間反應僅是簡單的加成關係 (圖 2-4)，也就是總反應時間等於兩個階段各自反應時間的總和。Sternberg 的「加成因素法」是由操控實驗變項來推論認知功能的兩個過程。

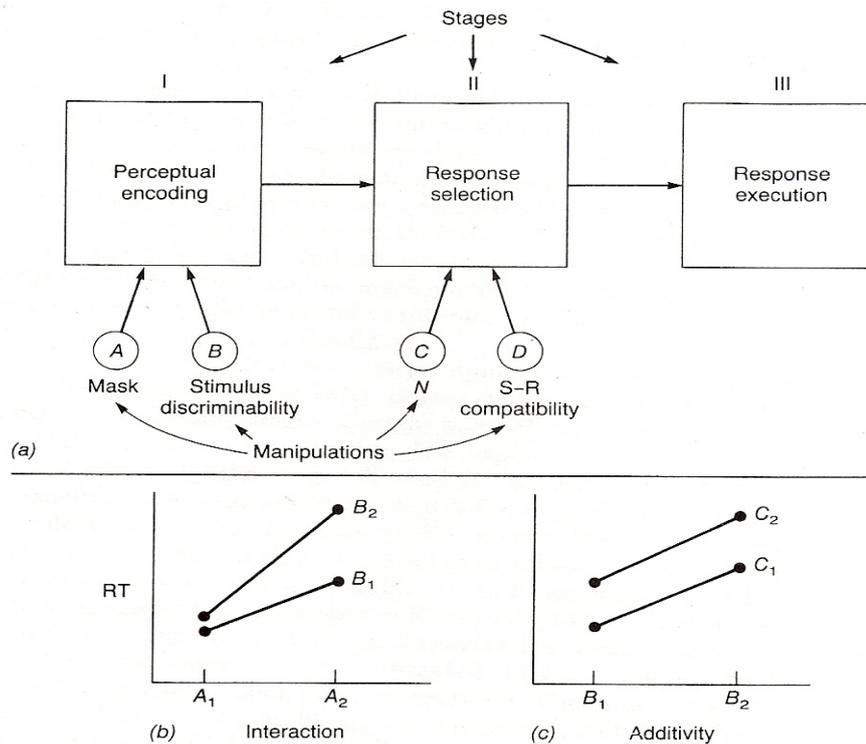


圖 2-3：Sternberg 的資訊理論

而 ERP 的研究更提供直接的證據，顯示認知過程中「知覺編碼」與「反應選擇」二階段的存在。McCarthy 和 Donchin 等人的研究以事件相關電位中晚成分的 P300 配合反應時間的時間測量法 (chronometry)，受試者要對看到的英文字彙「left」與「right」做出按下左邊鍵或右邊鍵的反應時間工作，並同時紀錄腦波。實驗中藉由改變刺激呈現的清晰度操控刺激評估的困難度；利用改變「匹配」與「不匹配」的反應要求來操控反應選擇的困難度。結果顯示視像的清晰度影響 P300 潛伏期，但是不影響刺激的評估。相反的，不匹配的反應要求增加刺激評估的時間，但不影響 P300 潛伏期(Paller, McCarthy, Roessler, Allison, & Wood, 1992; Squires, Donchin, Herning, & McCarthy, 1977)。此研究顯示了刺激的評估與反應選擇獨立的兩個階段，P300 潛伏期雖然會在刺激被屏蔽的情況下而延長，但是並未受到刺激－反應的匹配性的影響。這是因為匹配性影響了資訊處理過程中知覺分類期 (perceptual categorization) 之後的某一個階段。所以反應的選擇是發生於刺激評估之後的串聯式關係。

五、動作相關電位

Cynthia & Robert (1999)的研究中探討反應執行與 P300 潛伏期間的關係以及一致性與匹配性之間的交互作用。但是有部分的數據顯示 P300 的潛伏期比反應時間還長，他們推論 P300 單元內可能含有準備動作電位 (readiness potential, RP) 的成分，前期動作神經單位 (premotor component) 可能有牽涉到這一部分的訊息處理與動作執行。在眾多 ERP 單元中，以下幾種易受到動作活動影響。

關聯性負變化 (Contingent Negative Variation, CNV)

當受試者正等待某一事件的發生，特別是實驗中提醒預備作用的警示訊號出現後一直到主要視覺刺激出現之間，ERP 會出現負向的偏移 (Walter, Cooper, et al., 1964)。如果預備警示訊號與主要視覺刺激之間間隔夠久，則 CNV 會分解成兩個單元，一是代表提醒效果的感覺單位 (sensory component)；另一個是表示預期主要刺激出現的動作或準備電位 (motor or readiness potential) (Loveless, 1983)。

動作準備偏側電位 (Lateralized Readiness Potential, LRP)

準備電位 (RP)，源自於手部自主動作的動作前電位 (premovement potential)，為漸進性負向電位，Coles 等發現 RP 會在預備訊號後以及動作起始 (movement onset) 前出現並且有側化 (lateralized) 的現象，且越往對側腦，波幅 (amplitude) 越強 (Coles, 1989)。這負向電位被認為代表反應的啟動，側化的現象會被其他工作 (process) 和結構不對稱 (structural asymmetries) 干擾。對於同一件任務，分別各使用左手與右手回答，發現用左手回應時 C3 電極的電位減去 C4 電極的電位後會得到整體較為正向的電位波形；反之，使用右手回應時，C3 電極的電位減去 C4 電極的電位後卻是得到整體較為

負向的電位波形，而左手和右手進行反應時產生的正向波準備電位與負向波準備電位被認為是相當的（圖 2-3），所以可藉由疊加平均的方式將左手與右手的不對稱差異去除，而在波幅與波型上得到純淨的 P300 電位。

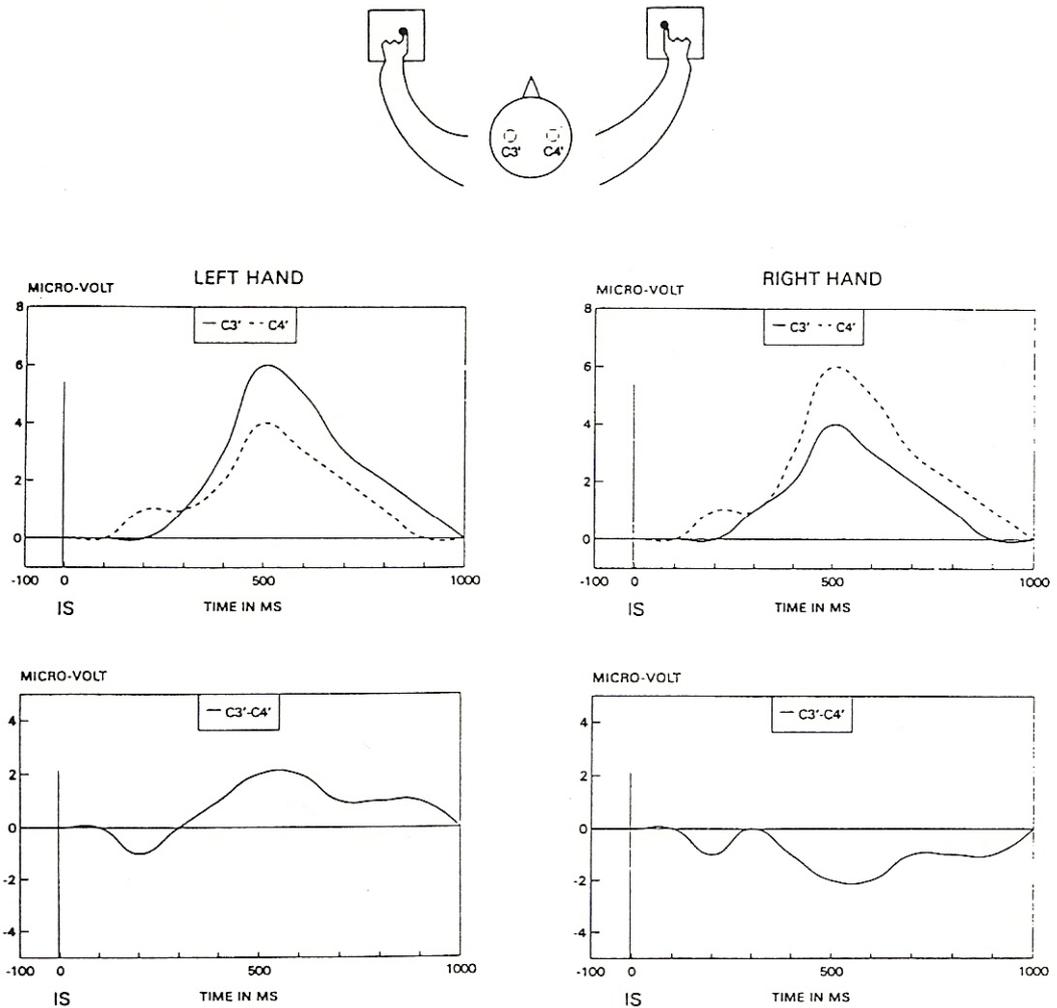


圖 2-4：不同手反應時的準備電位對 ERP 的作用

單側手動作的準備電位對於 P300 波型的影響

R. Ragot 等人的實驗也有提到類似的狀況(Ragot, Renault, & Remond, 1980)，他發現在需要動作反應的認知過程中，大腦會在皮質的相異兩處同時產生 P300 與動作電位，並於頭皮某處交匯。如圖 2-4，右手自主動作之負向的動作前單元（negative-going premotor component）（虛線）影響原本的 P300（虛

實線)，最後造成受影響的 P300（實線）向右側偏移。

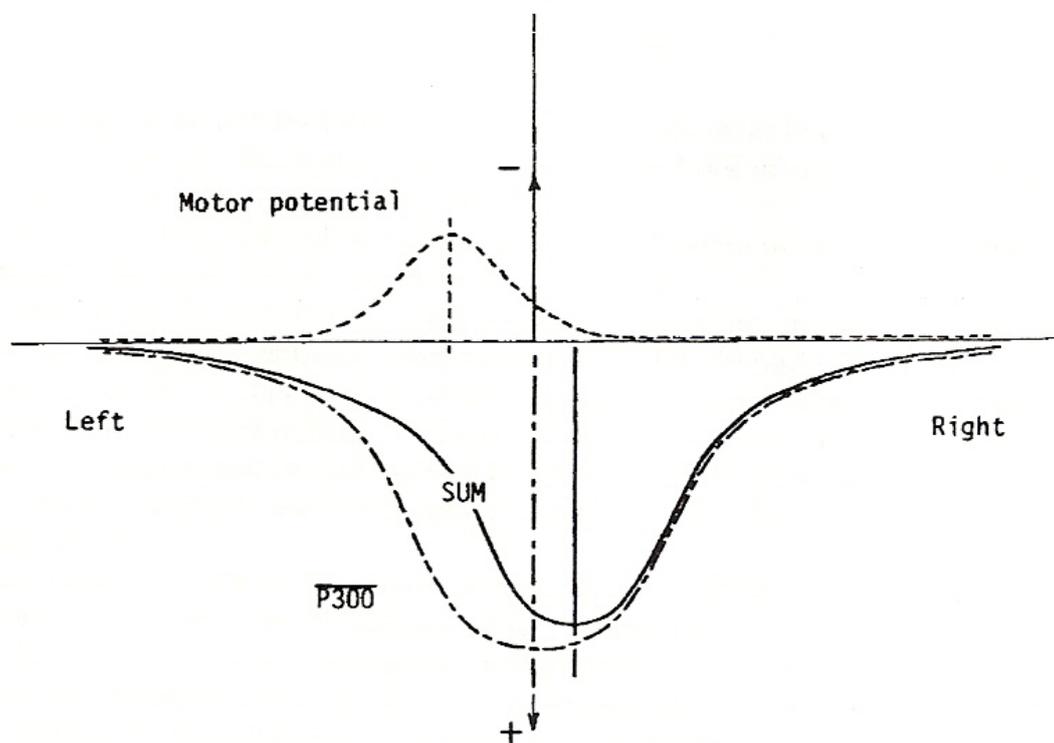


圖 2-5：側化準備電位對 P300 波型的影響

第三章 研究方法

第一節 研究設計

一、 研究對象

徵中國醫藥大學物理治療學系學生作為實驗受試者。受試者為視力正常或矯正後正常，且為慣用右手。年紀介於 19~23 歲之間志願者（第一階段的實驗共 9 位男性，4 位女性；第二階段實驗則 4 位男性；6 位女性）

二、 操控的刺激種類與研究變項

1. 一致性 (congruency)

影響刺激區辨與目標辨識的功能。一致性的刺激採用兩個水準 (levels)，一種是一致性 (congruent) 的箭頭圖形，



其中所有的箭頭方向都一致；

另外一種為側翼方向不同的不一致性刺激 (incongruent flanker stimuli)。



2. 匹配性 (compatibility)

指給予受試者一個先決條件的指示，而這個指示通常是與受試者本來的觀念常識互相衝突。因為會改變動作執行時的考量條件，故被認為會影響反應抉擇時所花的時間。

三、 刺激的呈現

1. 利用英文字的「same」與「opposite」的指示 (cues) 操控匹配性變項



匹配

不匹配

刺激呈現前的提示 (cue)

2. 一致性的實驗操控則是利用五個箭頭符號構成的圖片來表示 五個箭頭方向相同時代表的是一致性 (congruency) 的視覺刺激圖片



視覺目標刺激：一致性箭頭圖像

中間的箭頭方向與兩翼的箭頭符號相反時，代表的是不一致 (incongruence) 的視覺刺激



視覺目標刺激：不一致箭頭圖像

所有呈現在螢幕中間的圖形大小為視角 $4^\circ \times 2^\circ$

四、實驗程序

電極帽安置好後將開始進行實驗，請受試者坐於距電腦螢幕前 60 公分的椅子上，雙手置於桌上的反應按鍵盤上。開始後，螢幕將會於空白畫面上隨機出現「same」或「opposite」的英文字樣。之後，隨即出現下列 4 種圖形的其中一種：「<<<<<<」、「>>>>>>」、「<<><<」、「>><>>」。受試者被要求迅速以中間的箭頭為指示的方向，搭配早先「same」或「opposite」的條件指示，來判斷答案為左方或右方，然後做出按下「左鍵」或「右鍵」的反應。例如，當出現「opposite」，接著出現的是「<<><<」，則正確答案應判斷為左方，這時受試者要迅速按下代表左方的「左鍵」。

作為提示語的英文字呈現的時間為 300ms，接著是 200ms 的空檔（螢幕畫面全黑），然後是呈現 800ms 的箭頭圖形刺激，到下一回的提示語出現前會有 1200ms 的間隔。不同種類的刺激出現的順序是隨機的，但是每一種情境都會有 60 次（trials）測驗，故 8 種情境共有 480 次測驗，完成 480 次則算是一集區（block）。

實驗共有兩階段。第一階段實驗開始紀錄前有一組練習，第一階段實驗共做 6 集區，以此六組計分，受試者請儘可能又快又正確的做出判斷，並按下按鍵。反應的快慢與正確率均是評分項目。第二階段實驗設計相同於第一階段，但會將箭頭型圖片更換成寫著英文字「Left」或「Right」的圖片，規則與第一階段相同。整個實驗，當受試者每做完一個集區的測驗之後，有約 3 分鐘的休息，總共實驗時間約需 1 小時。



圖 3-1：受試者實際進行實驗的情況



第二節 研究架構

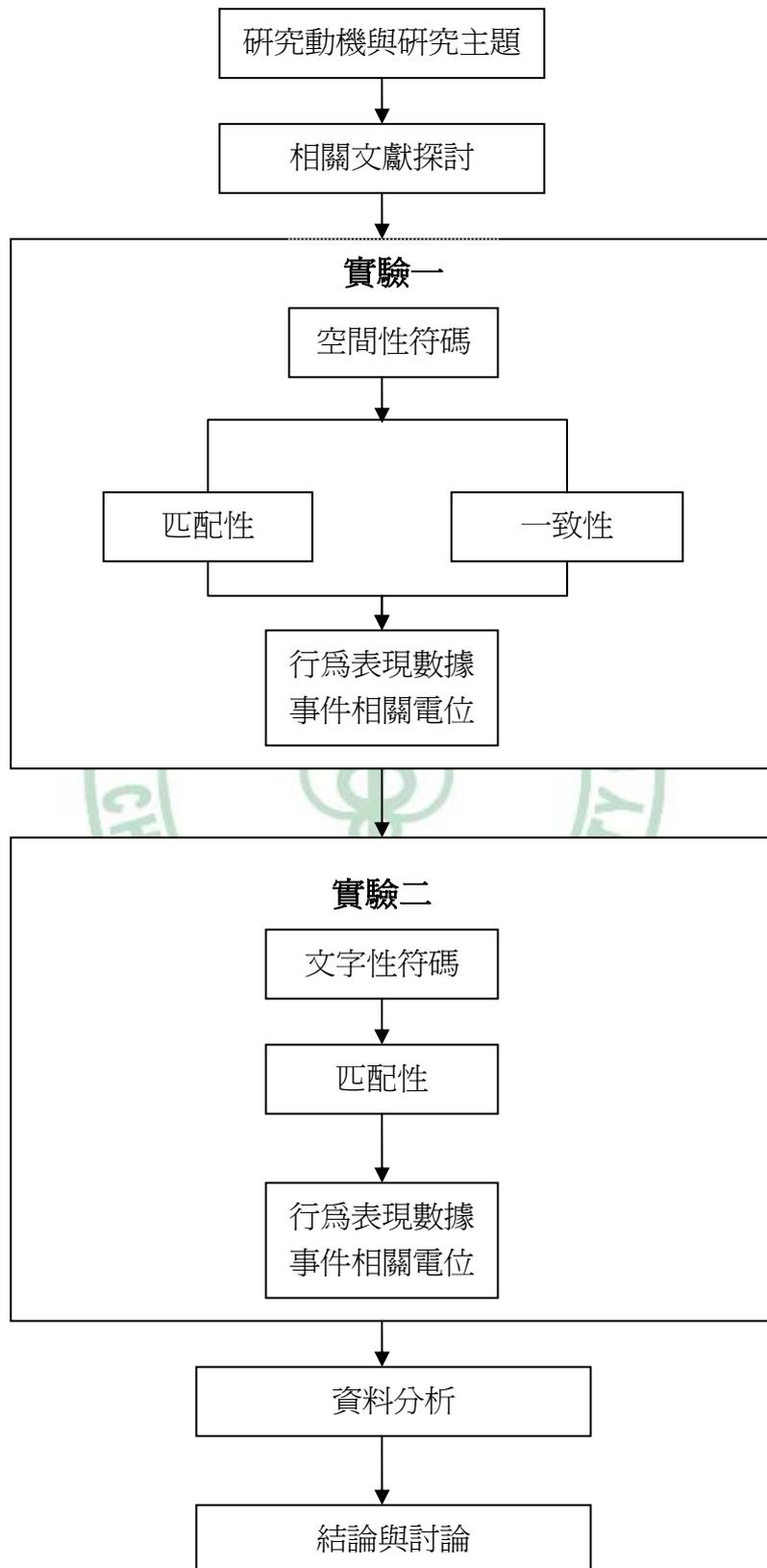


圖 3-2：研究架構

第三節 研究假說

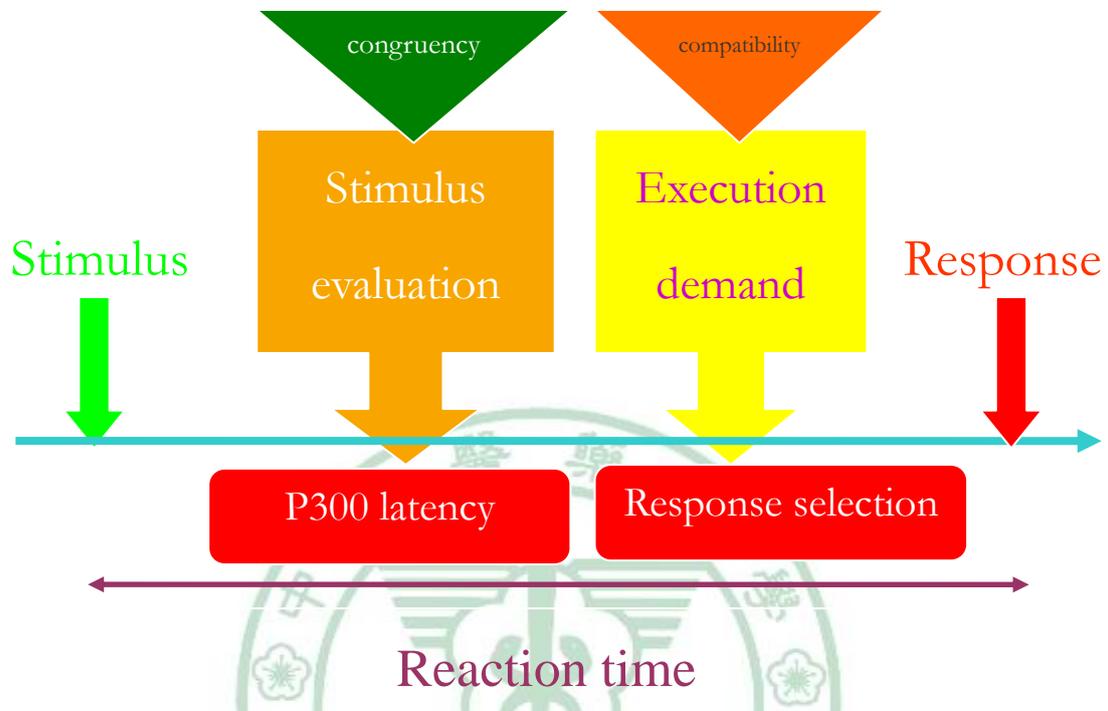


圖 3-3：研究假說

參考先前的實驗，我們假設整個認知過程是屬於一種互相獨立串聯式的二階段模式，當操控刺激的一致性時應該會改變 P300 潛伏期，而且調整反應匹配難度應該是改變受試者的反應選擇期。若是觀察受試者行為表的反應時間，根據 Sternberg 提出的加成因素法 (additive-factor method)，如果匹配性和一致性這兩項變因分別操弄認知訊息處理系統的不同階段，那這兩者合併的效果對反應時間是屬於附加性的。反之，當這兩者影響的是信息處理系統的同一段，則反映在這兩變項間於反映時間有交互作用的效果。

第四節 腦波記錄、資料處理與統計分析

腦波紀錄使用 Neuroscan 公司的 Nuamps 數位腦電波放大器。行為測量則採用 Stim2 軟體的刺激反應測量系統。採用該公司提供的 SCAN 4.3.3 版軟體進行實驗數據的剪輯處理。

一、事件相關電位紀錄 (Event-Related Potential)

實驗測試於電波隔離的實驗室裡進行。腦波紀錄電極，依照國際 10-20 電極安置系統，以 Quick-cap 電極帽將電極置於 Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, A1, A2。參考電極為置於雙耳後乳突的聯合電極，並紀錄垂直眼動電極 (EOG)。電波訊號經由一個 16 位元類比—數位轉換器，儲存到電腦裡，再做事後分析。

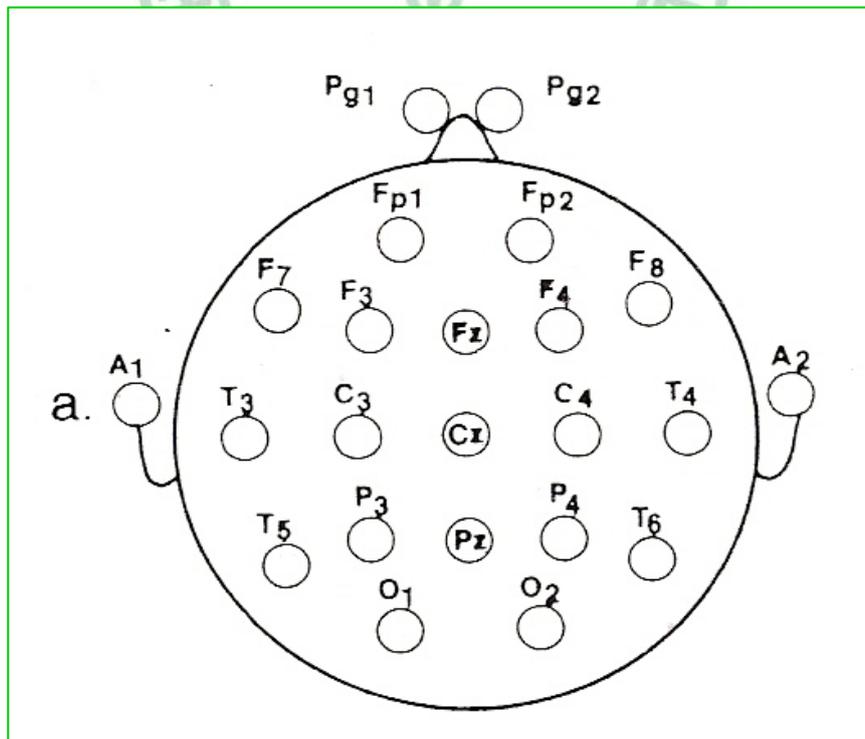


圖 3-4：國際 10-20 電極安置系統

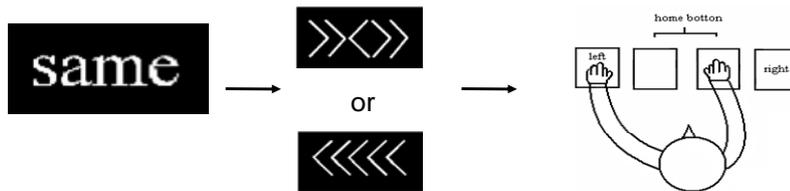
二、行為數據採樣

受試者坐於桌前，一個顯示器置於距離受試者 60 公分的桌面上。桌面上放置反應按鍵盤，為一組按鍵，再中央位置的「起始/準備按鍵」(start/home button)與分別置於左右兩側的「目標按鍵」(target button)。

一開始，受試者手掌按於起始鍵，當信號出現時，受試者必須在辨識清楚後立即放開起始鍵，且去按目標鍵。指示訊號出現的時間至放開起始鍵的時間間隔是為反應時間 (reaction time)，自放開起始鍵至按下目標按鍵的時間間隔是為動作時間 (movement time)。所有的視覺刺激訊號出現的時間是為刺激點。離鍵、按鍵的時間均由 Stim2 行為記錄器紀錄其時間，並將此時間數據傳送至 Neuroscan 腦波訊號記錄器。

Methods – Experiment One

- Compatible



- Incompatible

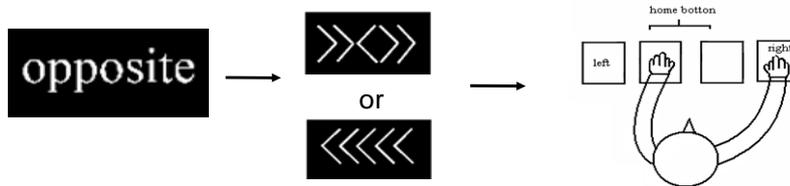


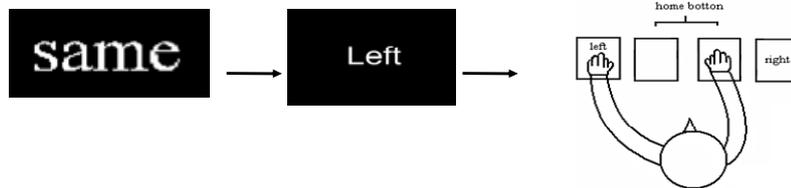
圖 3-5：實驗一的步驟圖示

過程中，受試者注視螢幕中央，將手掌按在按鍵盤中的準備鍵上。當開始

約 1 秒後，圖形組將出現。(1) 先是左列的「same」或「opposite」呈現 500ms，
(2) 隨即呈現中間列的箭頭類刺激，(3) 經過判讀隨即按下「左鍵」或「右鍵」(最右列)。重複步驟 (1) ~ (3) 直到完成 120 組的圖形判斷。

Methods – Experiment Two

- Compatible



- Incompatible



圖 3-6：實驗二的步驟圖示

過程中，受試者視線集中在螢幕中央，將手掌按在按鍵盤中的準備鍵上。
當開始約 1 秒後，圖形組將出現。(1) 先是左列的「same」或「opposite」呈現 500ms，(2) 隨即呈現中間列的文字類刺激，(3) 經過判讀隨即按下「左鍵」或「右鍵」(最右列)。重複步驟 (1) ~ (3) 直到完成 120 組的圖形判斷。

三、 腦波紀錄

本實驗在閱讀作業進行的同時進行腦波的連續記錄，實驗地點為電波隔離室，可以隔離環境中游離的電波雜訊，而得到較為穩定的腦波訊號。腦波記錄儀由 Neuroscan 公司所生產的 NuAmps 系統，記錄電極安置於橡膠製具有彈性的帽子上，相對位置固定，以國際 10-20 系統定位。腦波訊號採用近端參考點，位於耳朵後方的左右 mastoid 上。同時，我們也記錄眼球活動訊號，眨眼或縱向眼動的記錄點置於於左眼眼窩上下(left outer canthus)。所有電極的阻抗(Impedances)控制在 $5k\Omega$ 以下；放大倍率(gain)設為 19dB，帶寬 (bandpass) 設在 50Hz~DC，設定 DC 採樣，保留了慢電位的紀錄，為了處理記錄過程中慢電位的漂移，因此在事後離線分析中，作 DC 矯正 (DC offset correction)，以保證數據紀錄的真實可靠性；訊號取樣率(A/D sampling rate)為 1000Hz。記錄分段 (epoch) 是指從刺激出現前 100ms 一直到刺激結束後過 1000ms 為止。

腦波區段中包含過大雜訊者予以排除，雜訊包括眼動、肌電活動、以及其他震幅過大雜訊。

四、EEG 數據的離線分析

所謂離線分析 (off line analysis) 即是對記錄到的原始生理信號進行再分析處理的過程。在 ERP 研究中，得到完整可靠的原始數據之後進行後期離線分析。

一般情況下，用 Neuroscan 進行 ERP 研究時，對於原始腦電數據 (CNT 檔) 的離線分析過程主要包括以下幾個步驟：

1. 合併行為數據 (merge behavior data) 和腦電預覽

行為數據 (反應時間、正確率) 在傳統心理學研究中具有非常重要的地位。在認知神經科學研究中，將電生理學數據與行為數據相結合有助於進一步說明有關問題。為了有效地進行腦電數據和行為數據的合併，必須保證實驗過程的腦電記錄的完整性，保證與每個刺激相關的 EEG 都能有效地記錄，也就是說，可以在啟動刺激呈現程序之前，先儲存一段時間的腦電 (約 1~3 分鐘)，一方面可以保證行為數據的完整性，另一方面可以得到受試的安靜腦電數據，以便進行相關研究。

NeuroScan 軟體採集的 CNT 原始腦波檔案都可以和 Stim 這款軟體創建的行為數據*.DAT 檔案 (反應潛伏期、正確率、錯誤率) 進行融合。如果 DAT 檔不能與 CNT 文件合併，是由於 Scan 軟體本身在紀錄過程中漏掉一個或幾個刺激 (sweep) 或事件 (event)，則可以根據提示，在 DAT 文件中刪除其對應的刺激後，即可有效合併。

合併行為數據和腦電數據的優點在於可以根據不同的行為反應標準對腦電數據進行分類疊加，如觀察不同反應時的 ERP 特徵，觀察正確反應和錯誤反應的 ERP 比較等等。

關於腦電預覽，對記錄到的腦電基本特徵的觀察，是離線處理過程中不可或缺的內容。主要包括：

a. 離線觀察受試者的腦電基本特徵。

- b. 剔除明顯漂移的腦電數據。例如當有多個電極導的訊號漂移，可以選擇「block」功能，對該段腦電予以剔除（reject block），這樣在後面的數據疊加中就不會受該段腦電的影響了。如果紀錄的腦電數據穩定性很差，基線漂移非常嚴重，則將該受試者的數據剔除，以保證總平均數的肯定。
- c. 觀察眼電方向與眼電偽跡方向是否一致，以及眼電的幅值大小，以指導後面的眼電去除步驟。
- d. 觀察心電導聯和肌電導聯的基本特徵和幅值大小，目測對腦電影響的位置和程度，以利後面的偽跡剔除。

2. 去除眼電（EOG）偽跡（artifacts）

目前，除眼電之外，越來越多的研究表明心電、肌電訊號都對腦電有顯著影響，不使用將受影響的腦電完全驅除的方法，因為那樣會消除很多有用的數據，而採用矯正的方法。對於用 DC 放大器採集的原​​始腦電數據，則先進行“DC offset correct”，好對校正後的 CNT 文件進行偽跡剔除。

眼睛運動為最常見的偽跡之一，尤其在多導聯紀錄時，眼睛引起的偽跡往往是最棘手的問題。放置於前部和顳部的電極受眼睛偽跡影響較大，如果沒有偽跡去除法，眼睛偽跡對於幾乎所有的腦電記錄都有影響。最常用的剔除偽跡的方法是對 EEG 進行校正（correct），即從 EEG 信號中減去受 EOG 影響的部份。

3. 數字濾波（filter）

通常情況下，數字濾波是消除 60 周的干擾，但是，是否該進行數字濾波以及怎樣進行，則應根據基本波型特點和實驗要求來確定。

4. 腦電分段（epoch）

對連續紀錄的腦電記錄（CNT）進行分段，是進行 ERP 研究的重要環節。分析時程的選擇應與實驗設計中的刺激間隔密切相關，選擇

的分析在本研究中設定的時程為-200~1000ms，即刺激前 200ms 至刺激後 1000ms，要留一段刺激前的分析，以進行後續的刺激前的基線矯正。

5. 基線校正 (baseline correct)

基線校正的作用是消除腦電相對於基線的偏離。ERP 研究中通常是將刺激前的某個時間段的腦電進行基值校正，作為基礎值(0)，將刺激後的電位與該基進行相減，得到新的電位值，在此基礎上再進行疊加和平均，得出最後的 ERP 波形，總平均波形中用於基線校正的電位平均值也等於零。

6. 去除偽跡 (artifact rejection)

由於 ERP 是時域函數，因此要做「time domain」(時域)的分析，如果對時間相關的頻域特徵有興趣，則選擇「frequency domain」(頻域)，採樣點數為 2 的整數倍。

7. 疊加平均 (average)

根據研究目的和需要可以進行時域特徵 (time domain) 或頻域特徵 (frequency domain) 的疊加。ERP 研究的是 EEG 的時域特徵，因此，進行 ERP 研究，是使用「time domain」。

8. 總平均 (group average)

總平均的目的在於對所有受試的 ERP 或其他數據進行平均，以得到總平均波形。

五、統計分析

1. 行為表現的統計分析

剔除不正確的反應，僅把反應正確的嘗試次之數據納入分析。行為反應中的自變項 (independent variables) 為一致性 (一致 vs. 不一致)、匹配性 (匹配 vs. 不匹配) 與使用手 (左手 vs. 右手)。其中一致性與匹配性當作受試者內變項 (within subject variables)，使用手則是當作集區變項 (blocking variables)。

依變項 (dependent variables)，分別為反應時間 (reaction time)、動作時間 (movement time) 與正確率 (correct rate)，以使用手為集區變項作二因素的重複量測變異數分析。P 值設為 0.05。

2. 事件相關腦電位之分析

將合併左右手的事件相關電位分段(epoch)做疊加平均之後，以 P300 的波峰，將反應時間再分割為兩個部分：

- (1) P300 潛伏期：其計算為自刺激呈現至 P300 波峰之間的時間。
- (2) 反應選擇期：將反應時間減去 P300 潛伏期。視為辨識完成之後作出決定所花的時間。

以一致性與匹配性二因素作為受試者內變項，進行重覆量測二因子變異數分析。

平均的 EEG 視為將時間鎖定於刺激呈現的時間點，假如紀錄期間有其他的雜訊之干擾，比如 EOG，或是心電圖等發生，那個反應的 EEG 將被剔除。每一個實驗情境各做一個集區。欲分析的腦波變項有反應時間、動作時間、P300 潛伏期、P300 波幅。

第四章 研究結果

第一節 實驗一

一、行為表現數據：

我們紀錄了三類行為數據，從刺激呈現至手離開起始按鍵這段時間定義為反應時間 (reaction time)；動作時間 (movement time) 則是從使用手離開起始按鍵到按下目標按鍵，每一次的的剌激反應都區分成反應時間和動作時間並且收錄下來。正確率 (correct rate) 由正確辨識出圖像的數目除以全部呈現的圖像數量，最後再乘上 100 而得。經由平均了集區 1 至集區 6 的數據後得到平均反應時間、平均動作時間、平均正確率。桌面 1 列出在各種實驗情況組合下的平均反應時間、動作時間和正確率。

根據 Sternberg 提出的加成因素法 (additive-factor method)，如果匹配性和一致性這兩項變因分別操弄認知訊息處理系統的不同階段，那這兩者合併的效果對反應時間是屬於附加性的。反之，當這兩者影響的是信息處理系統的同一階段，則該階段時間長度的改變就能反映這兩變項間交互作用的效果。

表 1：空間符碼的四種實驗情境中反應時間、動作時間、正確率

行為測量		一致		不一致	
		平均	標準差	平均	標準差
反應時間	匹配	437.7	53.8	519.7	65.6
	不匹配	482.3	55.2	526.8	60.7

動作時間	匹配	155.2	29.0	151.3	28.7
	不匹配	153.9	27.7	154.5	31.1
正確率	匹配	96.9	3.7	92.0	8.9
	不匹配	93.6	8.0	91.0	11.1

反應時間 (reaction time):

以一致性與匹配性為受試者間變項 (within subject variables)，將使用手設為集區變項 (blocking variables)，藉此分析行為表現。表 2 的分析結果顯示一致性與匹配性各自有顯著效果 ($F_{1,12}=87.49, p<0.05$, $F_{1,12}=20.11, p<0.001$)。從表 1 可見，接受一致型刺激時的反應時間 (459ms) 顯著地快於接受不一致刺激時 (523ms)。一致性與匹配性之間的交互作用相當明顯 ($F_{1,12}=26.21, p<0.001$) (圖 4-1)。

表 2：實驗一，反應時間的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	3831.5	1	3831.5	6.36	0.0148
受試者	285060.5	12	23755.0	39.45	<0.0001
一致性	104023.1	1	104023.1	87.49	<0.0001
一致性 × 受試者	14267.1	12	1188.9	1.97	0.0466
匹配性	17329	1	17329	20.11	0.0007
匹配性 × 受試者	10342.9	12	861.9	1.43	0.1827
匹配性 × 一致性	9137.3	1	9137.3	26.21	0.0003
一致性 × 匹配性 × 受試者	4182.7	12	348.6	0.58	0.8489
誤差	30712.5	51	602.20		
合計	478886.6	100			

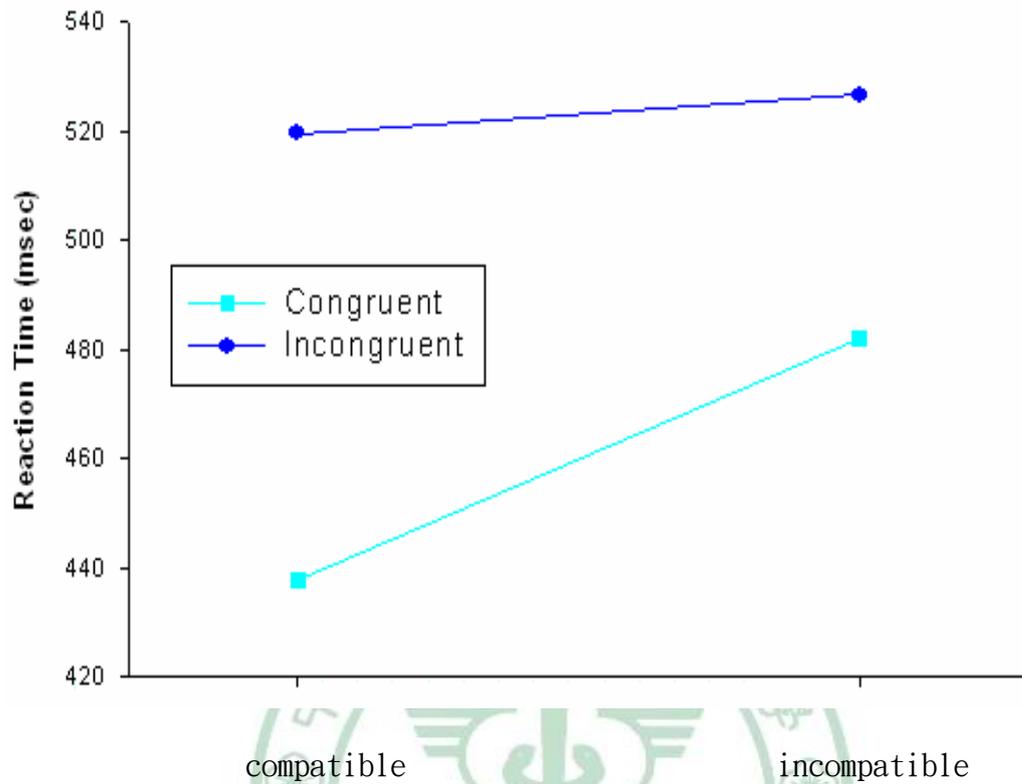


圖 4-1：實驗一，二因素對反應時間的交互作用

進一步作對比分析發現，匹配性對於一致性刺激的效果有別於不一致性刺激。在接受一致性刺激時，匹配性有顯著的影響效果 ($F_{1,24}=42.66, p<0.0001$)。面對匹配情境時的反應速度 (437.7ms) 顯著地快於不匹配情境時的反應速度 (519.7ms)。但當接受的是不一致型刺激時，匹配與否的效果就不明顯了 ($F_{1,24}=1.07, p>0.05$)。

動作時間 (movement time):

表 3 的分析結果得知一致性($F_{1, 12}=0.47, p>0.05$)、匹配性($F_{1, 12}=0.0, p>0.05$)、交互作用 ($F_{1, 12}=1.070, p>0.05$) 對動作時間都沒有顯著效果。

表 3：實驗一，動作時間的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	6.5	1	6.5	0.24	0.6280
受試者	79242.6	12	6603.6	241.38	<0.0001
一致性	11.8	1	11.8	0.47	0.506
一致性 × 受試者	301.7	12	25.1	0.92	0.5355
匹配性	0.0194	1	0.0194	0	0.9846
匹配性 × 受試者	603.27	12	50.27	1.84	0.068
匹配性 × 一致性	44.95	1	44.95	1.64	0.2061
一致性 × 匹配性 × 受試者	504.15	12	42.01	1.54	0.144
誤差	1313.1	48	27.35723		
合計	82749.8	103			

正確率 (correct rate):

表 4 的變異數分析發現只有一致性有顯著效果 ($F_{1,12}=5.81$, $p>0.05$)。接受一致型刺激情況下的正確率是 95.3%，比接受到不一致型刺激時高 (91.5%) ($F_{1,12}=0.0$, $p>0.05$)。匹配性 ($F_{1,12}=1.07$, $p>0.05$) 以及兩者的交互作用 ($F_{1,12}=1.25$, $p>0.05$) 對於正確率並無顯著影響。

表 4：實驗一，正確率的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	0.0079	1	0.0079	4.10	0.0481
受試者	0.4443	12	0.037	19.14	<0.0001
一致性	0.0369	1	0.0369	5.81	0.0329
一致性 × 受試者	0.0761	12	0.0063	3.28	0.0012
匹配性	0.0121	1	0.0121	3.41	0.0895
匹配性 × 受試者	0.0425	12	0.00354	1.83	0.068
匹配性 × 一致性	0.00344	1	0.00344	1.25	0.2862
一致性 × 匹配性 × 受試者	0.0033	12	0.00276	1.43	0.1844
誤差	0.0987	51	0.00194		
合計	0.7551	103			

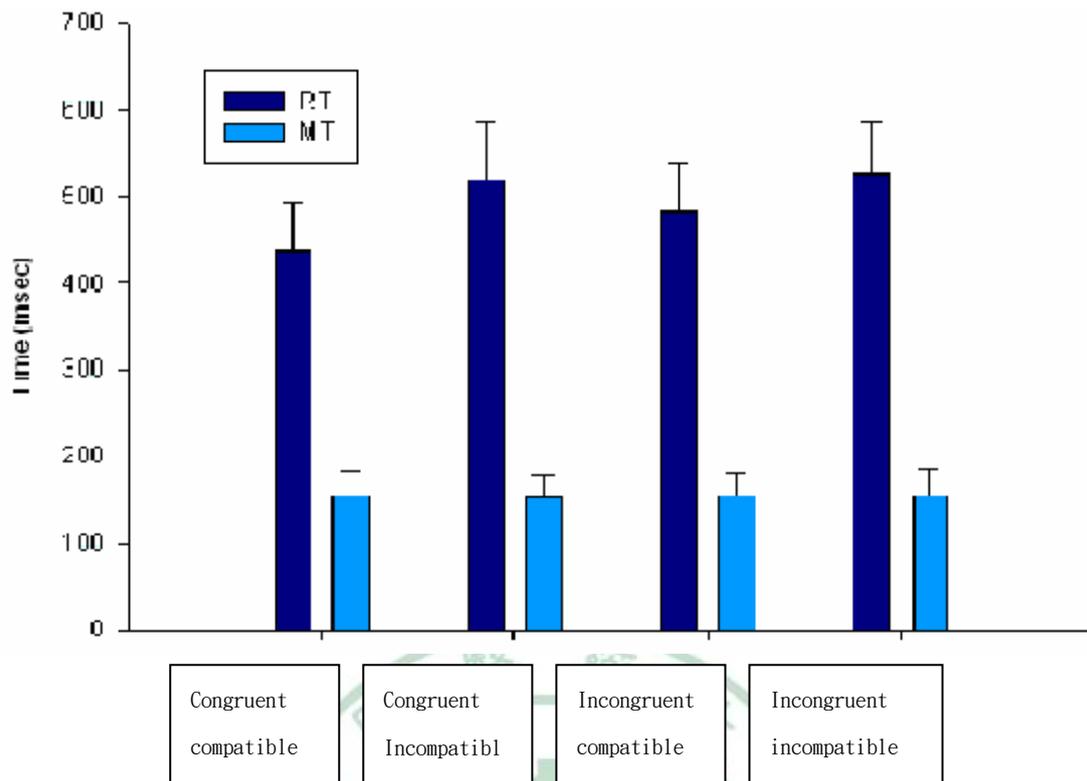
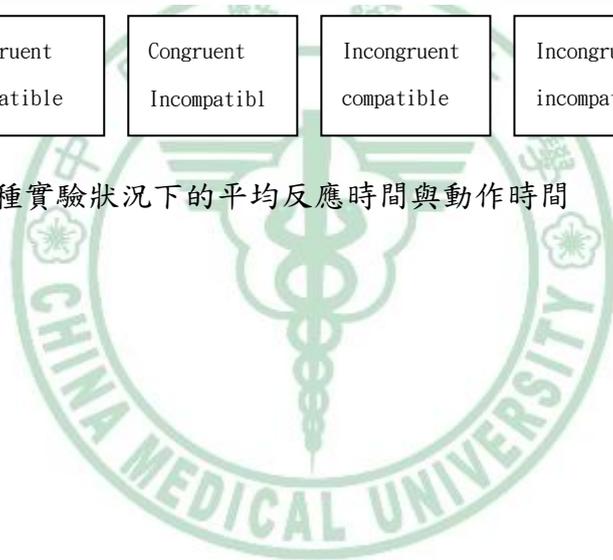


圖 4-2、四種實驗狀況下的平均反應時間與動作時間



二、事件相關電位數據

P300 的波峰將反應時間切割成兩階段：刺激評估期 (stimulus evaluation) 與反應選擇期 (response selection)。表 5 列出測量到的時間數據。分別針對刺激評估期與反應選擇期進行 two-way ANOVA 分析以求探討匹配性與一致性之間的交互作用。

表 5、空間符碼的四種實驗情況，刺激評估與反應選擇的表現

	刺激評估				反應選擇			
	一致	不一致	一致	不一致	一致	不一致	一致	不一致
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
匹配	352.9	48.5	390.0	77.6	84.9	69.1	129.7	98.8
不匹配	385.7	74.6	399.4	76.3	96.6	80.8	127.4	83.0

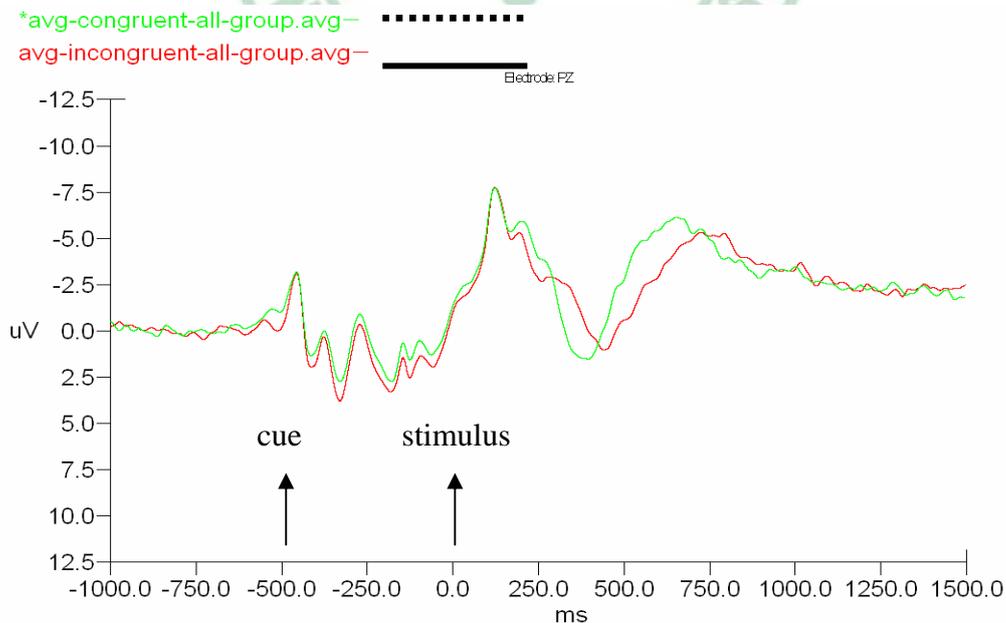


圖 4-3：一致與不一致刺激的 ERP 波形比較

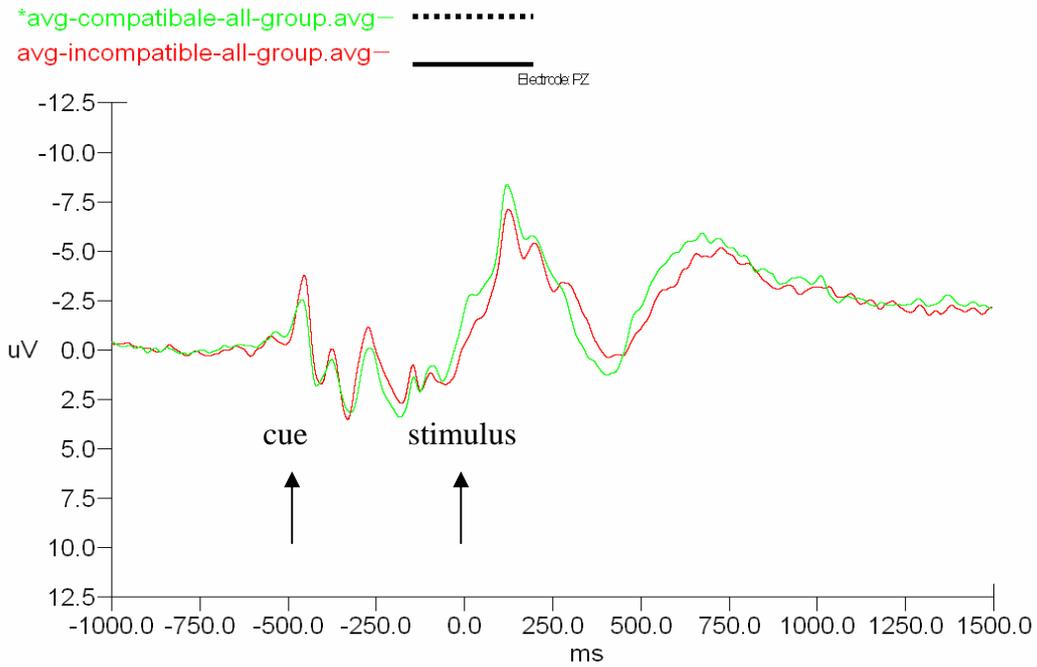


圖 4-4：匹配與不匹配刺激的 ERP 波形比較

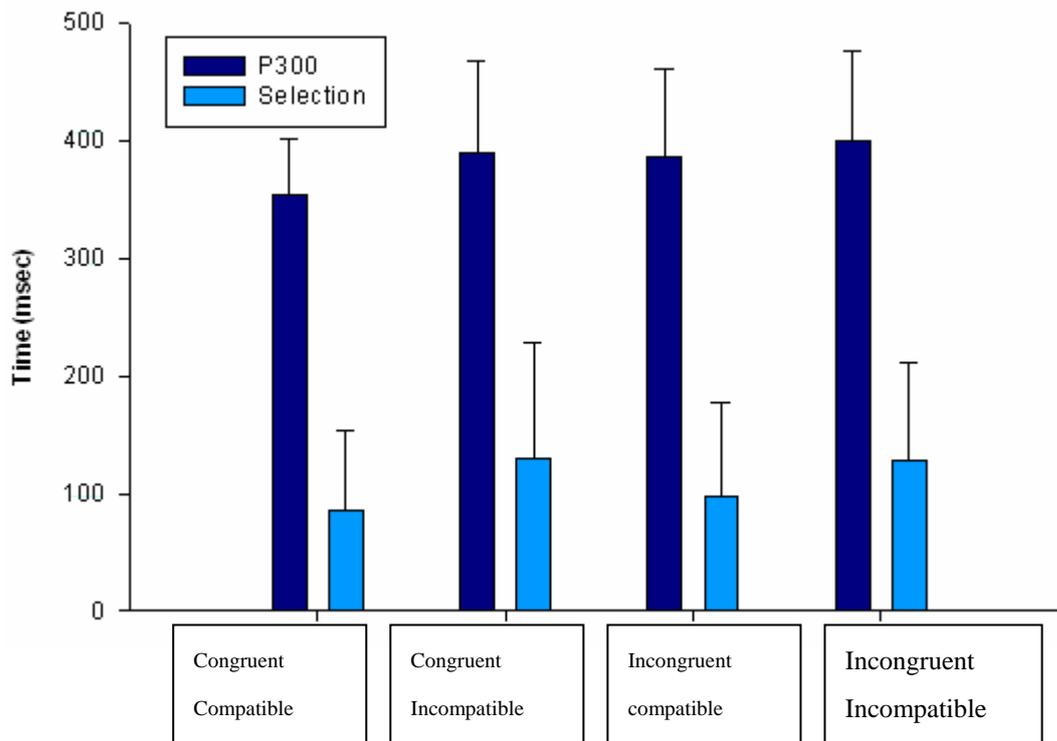


圖 4-5、四種情況時 P300 潛伏期與反應選擇期

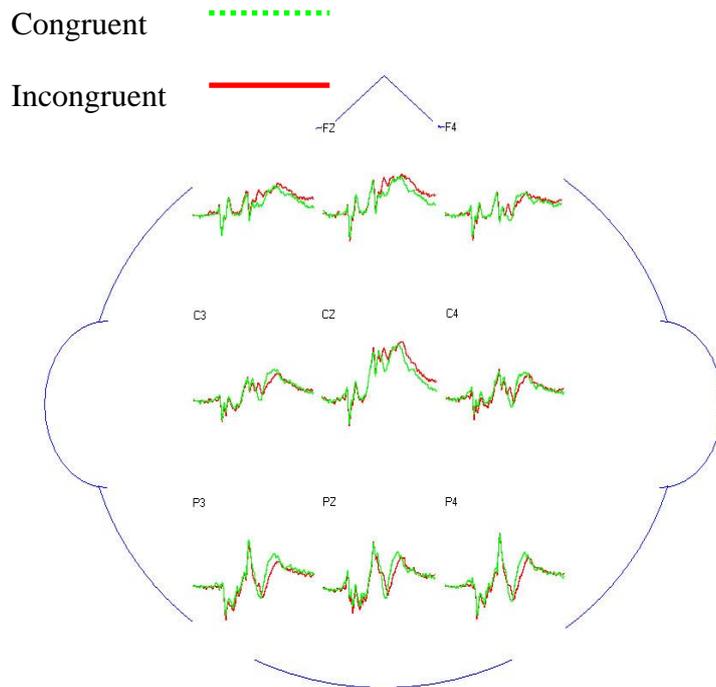


圖 4-6：一致與不一致性刺激時各處電極的事件相關電位比較

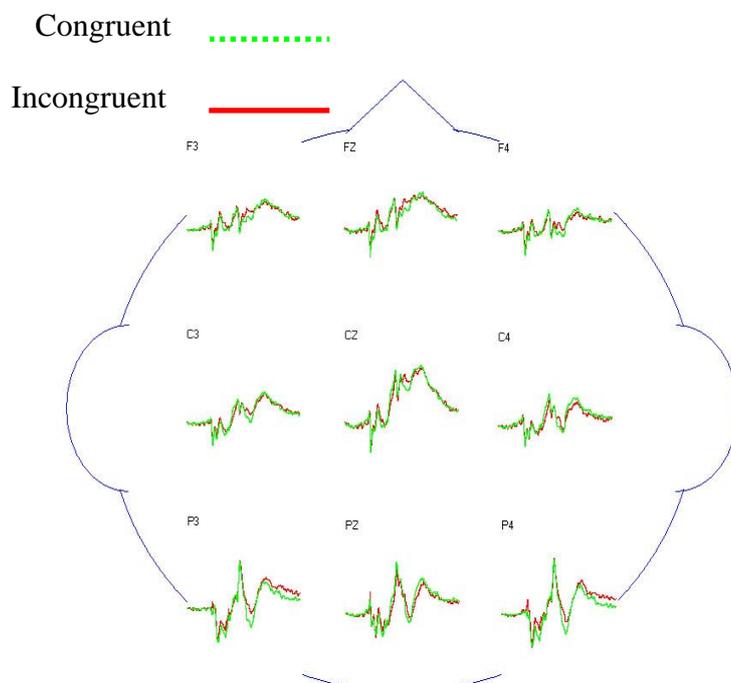


圖 4-7：匹配與不匹配情況時各處電極的事件相關電位比較

P300 潛伏期－刺激評估期：

以匹配性和一致性作為受試者內變項 (within subject variables) 對 P300 潛伏期作分析，得知操控匹配性與一致性各自都會產生顯著影響效果 ($F_{1,12}=8.63, p<0.05$, $F_{1,12}=11.95, p<0.01$)。由表 6 可知，接受到一致型刺激時產生的 P300 潛伏期 (369ms) 比不一致刺激時 (395ms) 來得短，一致性刺激造成的波幅 (2.225uV) 較不一致性刺激波幅為正向 (0.608uV)。匹配性與一致性之間有顯著的交互作用 ($F_{1,12}=4.97, p<0.05$)，進一步的對比分析 (contrast comparison) 顯示匹配性對一致型刺激的效果不同於不一致型刺激。在一致型刺激的情況下匹配性有顯著的影響 ($F_{1,24}=16.6, p<0.001$)，在匹配情況下產生的 P300 潛伏期 (353ms) 比不匹配情況時來的短 (390ms)，匹配時的波幅 (1.992uV) 比不匹配時的波幅 (0.829uV) 更正向。可是，在不一致型刺激的情況中，匹配與不匹配情境的差別就不顯著了 ($F_{1,24}=1.35, p>0.05$)。

表 6：實驗一，P300 潛伏期的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
受試者	215264.73	12	17938.73		
一致性	8402.33	1	8402.33	8.63	0.0124
一致性 × 受試者	11682.4	12	973.54		
匹配性	5796.17	1	5796.17	11.95	0.0047
匹配性 × 受試者	5821.58	12	485.13		
匹配性 × 一致性	1788.94	1	1788.94	4.97	0.0457
一致性 × 匹配性 × 受試者	4318.8	12	359.9		
誤差	0	0			
合計	253074.98	51			

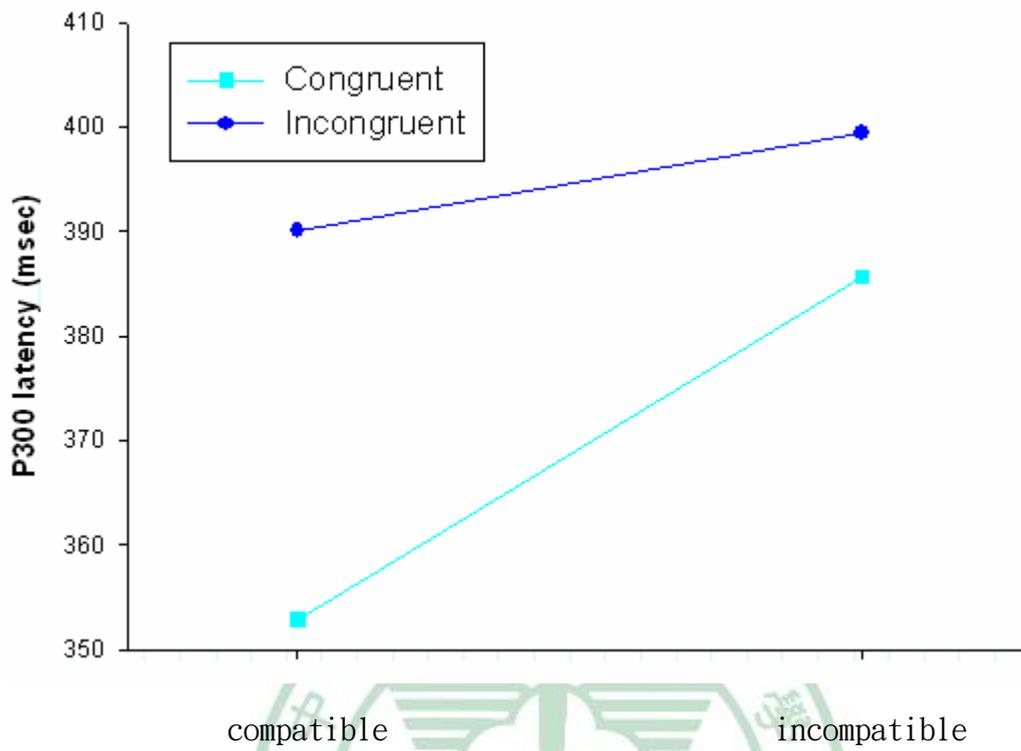


圖 4-8：刺激一致性與反應匹配性兩因素對於 P300 潛伏期交互作用

反應選擇期：

表 7 的變異數分析顯示只有一致性刺激有顯著效果 ($F_{1,12}=12.18$, $p>0.01$)，在一致型刺激時反應選擇所花的時間 (369ms) 比不一致刺激時來得快 (395ms)。匹配性 ($F_{1,12}=0.57$, $p>0.05$) 與一致性間的交互作用 ($F_{1,12}=0.98$, $p>0.05$) 都未達顯著差異 (圖 4-7)。

表 7：實驗一，反應選擇期的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
受試者	303188.7	12	25265.7		
一致性	18594.96	1	18594.96	12.18	0.0045
一致性 × 受試者	18313.4	12	1526.12		
匹配性	285.25	1	285.25	0.57	0.466
匹配性 × 受試者	6045.53	12	503.79		
匹配性 × 一致性	642.40	1	642.40	0.98	0.342
一致性 × 匹配性 × 受試者	7869.37	12	655.78		
誤差	0	0			
合計	354939.65	51			

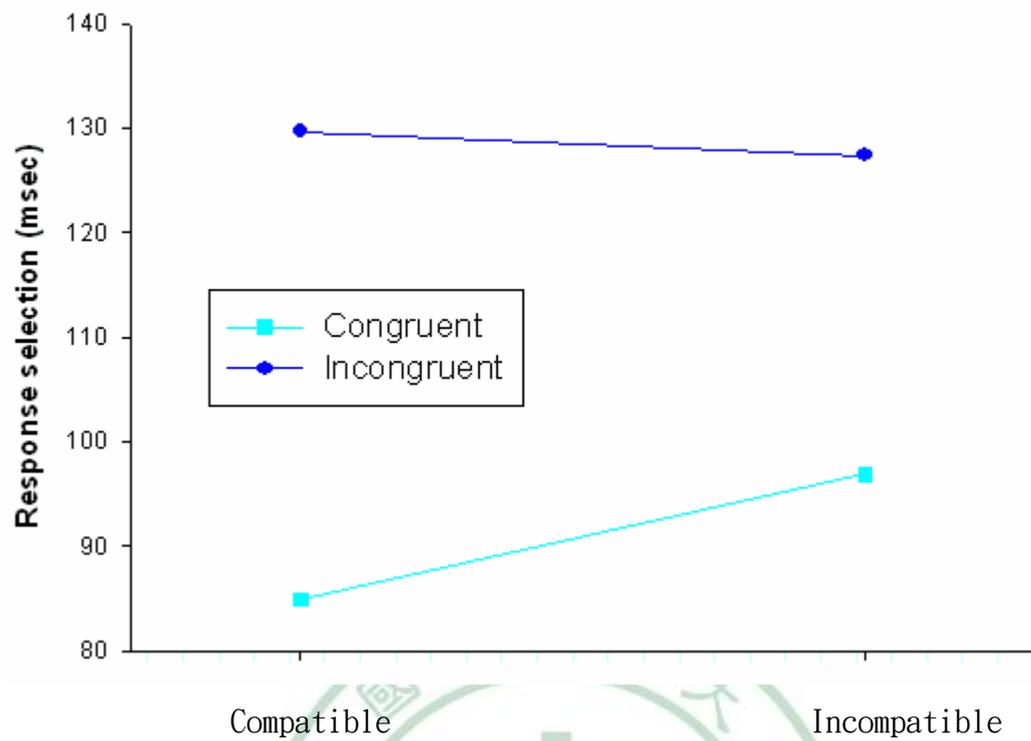


圖 4-9：刺激一致性與反應匹配性兩因素對於反應選擇期的作用



第二節 實驗二

有鑑於實驗一得到的結果，似乎與原先的假設並不相符，所以設計了實驗二。將先前操控的一致性刺激改變成文字類的刺激，所以一致性這項變因也因此不存在。但是依然希望藉由這種設計，來嘗試探討反應匹配性對於受試者的 P300 潛伏期、反應選擇時間、正確率和動作執行時間的影響，下列即呈現各變項的統計資料。

一、行為表現數據

紀錄了三類數據，反應時間 (reaction time)、動作時間 (movement time) 和正確率 (correct rate)，實驗測量方法與實驗一相同。表 8 列出在匹配與不匹配的情況下的平均反應時間、動作時間和正確率。

表 8：在匹配與不匹配的情況下的平均反應時間、動作時間和正確率

	反應時間 (ms)		動作時間 (ms)		正確率 (%)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
匹配	495.8	62.7	151.1	26.0	93.3	3.6
不匹配	568.1	62.5	148.9	25.7	83.4	8.7

反應時間：

以匹配性為受試者間變項，以使用手為集區變項，對行為數據作變異數分析。表 9 得知匹配性有顯著效果 ($F_{1,9}=24.34, p<0.001$)，而且在匹配情況下的反應時間 (496ms) 比不匹配情況時更快 (568ms) (圖 4-8)。

表 9：實驗二，反應時間的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	91.22	1	91.22	0.29	0.597
受試者	137055.5	9	15228.39	48.21	<0.0001
匹配性	52299.37	1	52299.37	81.4	<0.0001
匹配性 × 受試者	5782.48	9	642.49	2.03	0.0922
誤差	6001.04	19	315.84		
合計	201229.63	39			

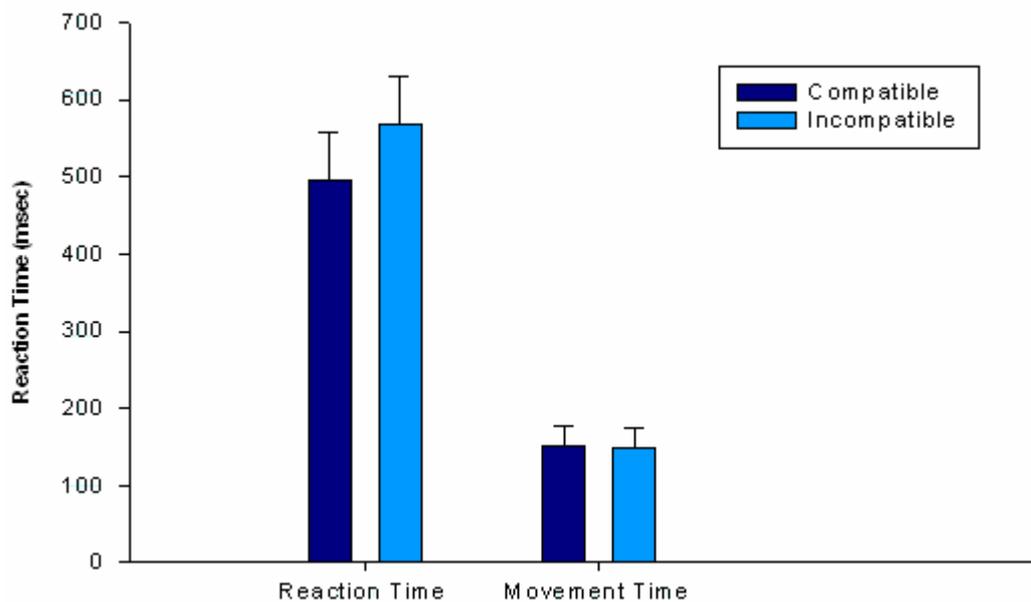


圖 4-10：實驗二行為數據的匹配性比較

動作時間：

動作時間的分析結果顯示匹配性的影響效果相當顯著 ($F_{1,9}=5.52$, $p<0.001$) (表 10)。但是，在匹配情境下的動作時間 (151ms) 只與不匹配狀況時 (149ms) 相差 2ms。這代表縱使統計上有顯著差異，但實際上不匹配性對動作時間的影響卻不是那麼明顯易見。

表 10：實驗二，動作時間的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	1224.95	1	1224.95	12.12	0.0025
受試者	22132.11	9	2459.12	24.34	<0.0001
匹配性	46.44	1	46.44	5.52	0.043
匹配性 × 受試者	75.75	9	8.42	0.08	0.999
誤差	1919.89	19	101.047		
合計	25399.14	39			

正確率：

分析匹配性對正確率有顯著影響 ($F_{1,9}=22.4, p>0.005$) (表 11)，在匹配情況下的正確率 (93.3%) 確實高於不匹配情形時 (83.4%)。

表 11：實驗二，正確率的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
使用手(集區)	0.0031	1	0.0031	2.29	0.1465
受試者	0.099	9	0.011	8.10	<0.0001
匹配性	0.0985	1	0.0985	22.4	0.0011
匹配性 × 受試者	0.396	9	0.0044	3.23	0.0151
誤差	0.0259	19	0.00136		
合計	0.2664	39			

二、事件相關電位數據

實驗的測量方法與實驗一相同，表 12 列出相關的時間數據。

表 12：語言性符碼實驗在匹配與不匹配時的刺激評估期與反應選擇期

	刺激評估期 (ms)		反應選擇期 (ms)	
	平均	標準差	平均	標準差
匹配	330.7	38.0	165.1	62.2
不匹配	261.8	143.1	262.4	83.6

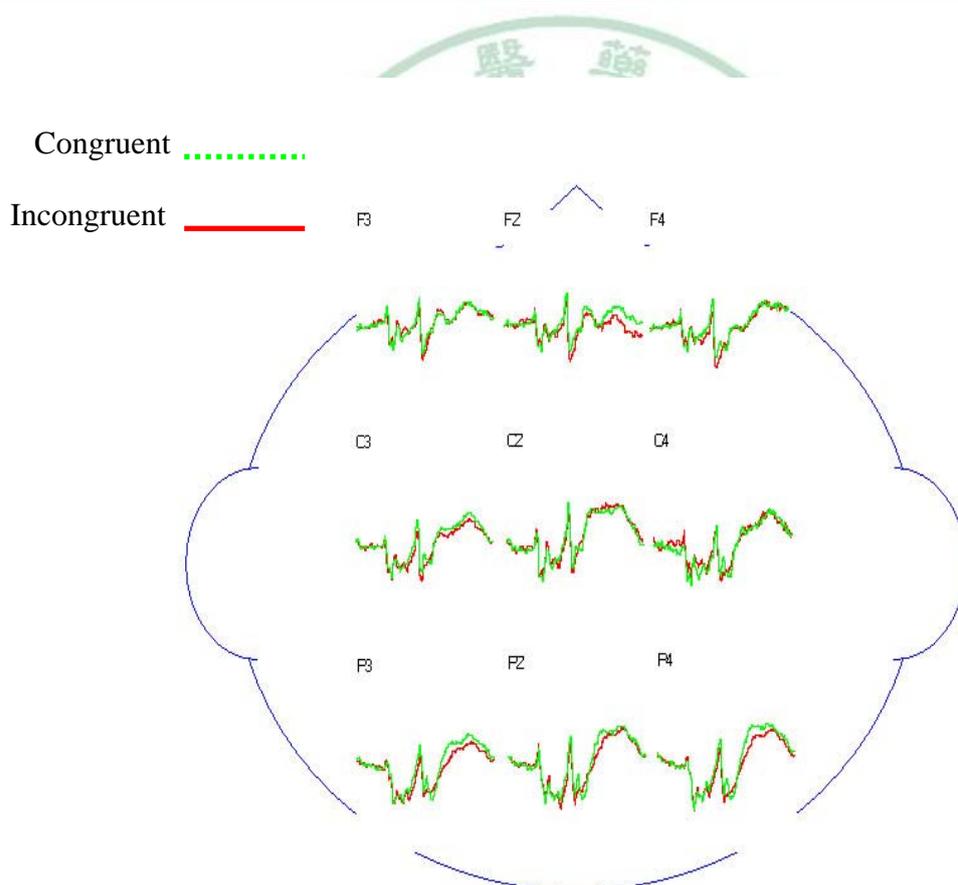


圖 4-11：實驗二，匹配與不匹配時各處電極的事件相關電位比較

P300 潛伏期－刺激評估期：

以匹配性為受試者間變項，以使用手為集區變項，對動作時間電位數據作分析，顯示匹配性並未達顯著影響效果 ($F_{1,9}=1.93, p>0.05$)。反之，在不匹配時才有較大的變異量，或許代表這時是運用不同的刺激評估策略。匹配性情境時波幅 (7.377uV) 較不匹配時 (5.99uV) 為正向。

表 13：實驗二中，P300 潛伏期的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
受試者	86853.3	9	9650.4		
匹配性	23736.1	1	23736.1	1.93	0.1979
匹配性 × 受試者	110532.5	9	12281.4		
誤差	0	0			
合計	221121.8	19			

反應選擇期：

分析顯示匹配性達到顯著影響 ($F_{1,9}=12.18, p>0.01$)，而在匹配情況下的反應選擇時間 (165ms) 也比不匹配狀況時來的快 (262ms)。

表 14：實驗二中，反應選擇期的變異分析表

變異來源	平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
受試者	74253.9	9	8250.4		
匹配性	47365.6	1	47365.6	18.17	0.0021
匹配性 × 受試者	23458.9	9	2606.5		
誤差	0	0			
合計	145078.45	19			

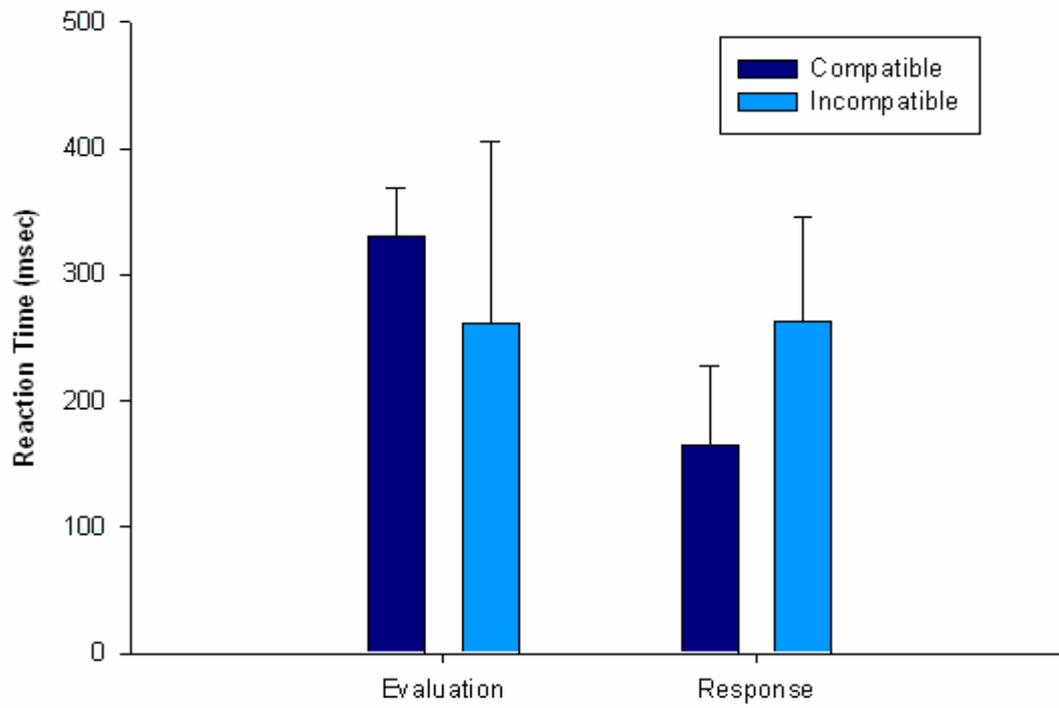


圖 4-12：實驗二 ERP 數據的匹配性比較



第五章 討論

第一節 實驗一

在行為表現方面，本研究使用的一致性與匹配性這二因素在困難度增加的情況時顯著增加反應時間與減少正確率，但是對於動作時間則無甚影響。這表示我們實驗所有的「一致性」與「匹配性」二個因素的操控能有效的延長反應時間，這一個結果與 Cynthia D. & Robert M. S. 或其他大部份學者的研究一致(Cynthia Doucet & Robert M. Stelmack, 1999)。動作時間 (movement time) 的問題較少人探討，但是我們的動作時間結果與 Cynthia D. 他們的結果不一致，在他們的「刺激-匹配性」反應實驗程序 (stimulus-compatibility paradigm) 中，發現不一致刺激時動作時間較長，但也僅是 9ms 的差距。我們認為這種很為小的差距或許不具備實質上的意義。

反應時間的結果顯示一致性與匹配性二因素的有顯著交互作用，所以應該是行為表現結果討論的重點。這種結果並不符合本研究最初所設立的「二種因素互為獨立」的假說；因為依照 Sternberg 的「加成因素理論」(additive factor theory)，若是有交互作用，則代表兩個變項在認知過程中重疊作用在同一個階段，而非分別作用在不同的階段。但是由 Sternberg 的理論我們只能知道二因素共同作用在某同一階段，並未能確知它是共同存在於「刺激評估期」內或是「反應選擇期」內。

P300 結合反應時間的時間測量法 (chronometry) 提供我們一個探索此答案的途徑。在我們的實驗以 P300 潛伏期界定為「刺激評估期」；反應時間減去 P300 潛伏期界定為「反應選擇期」。在事件相關電位數據方面，我們希望藉由把反應時間切割成「刺激評估期」與「反應選擇期」後，能進一步精準的探討出癥結所

在。

統計分析發現二變項依然各對於 P300 潛伏期有顯著效果且有明顯的交互作用。反應選擇期的結果顯示只有一致性有顯著效果，匹配性與交互作用都不明顯。出乎意料的結果是，匹配性這項因素並不改變「反應選擇」的時間，這種結果是不符合以前大多數研究認為不匹配的反應要求的資訊需要多一個轉換的步驟，因而將反應時間延長。然而這種結果是否意味著，在刺激評估的過程中由於二因素的交互作用已經於刺激評估期完成了此步驟，使反應選擇時間沒有顯示出匹配性的效果。有關這個推論，Hommel 也持有同樣的看法，他由行為的研究提出了「事件檔案夾」(event files) 的概念，他認為，不同類別的感覺或訊息可以因為是同一事件的關係而整合到同一個「事件檔案夾」，這種概念應用於各種不同類型感覺系統的統合 (sensory integration) (Hommel, 2004)。Hommel 更將此概念延伸到知覺與動作的統合過程。他認為統合是可以橫跨不同系統模組，例如將「感覺」與「運動」二模組的訊息整合在同一事件檔案夾。若更進一步推論，可能知覺評估與執行動作的動作記憶 (motor engram) 之間是使用共同一個「符碼」(code) 或是「表徵」(representations)，但是這種現象是否可以一般化 (generalized) 至所有的符碼，則是需要我們在實驗二要進一步驗證的。

由於 P300 潛伏期有顯著交互作用，此結果顯示匹配性的效果是因實驗刺激是一致性或是不一致而異的，唯有在一致性刺激的情況下，匹配的工作要求使 P300 潛伏期顯著的快於不匹配的工作要求。有關匹配性的效果的討論很多，有些學者認為匹配性的效果僅存在於「經過累積的、完善的學習」的動作過程上 (Adolf & Christensen et al., 1996)。在 Adolf 等人的實驗中提及大腦對於不熟悉的語言、刺激、訊息，對處理與表現產生影響。或許一致性箭頭為大多數人所熟悉的方向符碼，若真如此，則能解釋本實驗中一致性刺激在 P300 潛伏期有明顯的匹配效果。另外有些學者提匹配性的效果通常見於較簡單的刺激情況，當刺激的複雜度增加時，匹配性的效果減少或消失，這似乎可說明本實驗中不一致性刺激沒有明顯的匹配效果。

將本實驗與 Cynthia Doucet (1999) 等人的研究結果比較，跟他們不同，我們的實驗顯示有明顯的匹配性效果，而他們的匹配性效果是不顯著的。這個現象或許是因為 Cynthia Doucet 等人缺少了將 ERP 中運動前成份 (pre-motor component) 去除的手續，造成匹配性的效果無法有效的浮現出來。我們的實驗因為設計成用兩手進行反應，有別於其他研究只使用單一手工作的設計。使用兩手交互做反應動作的實驗，將兩手反應的腦電位疊加平均之後，能得到較為純淨的 P300 訊號，也使本實驗的統計分析有較高的敏感度，因而能夠偵測到因為匹配性因素改變而引起的 P300 潛伏期的變化。先前一些並未能對反應選擇時間做深入探討的實驗，有可能也是因為運動前成份波及反應時間與動作時間，使得事件相關電位被延後，造成探討分析上的窒礙。我們的實驗設計應該能有效的降低這項變因。

綜合行為與事件相關電位兩方面的結果，我們推測在整個訊息處理過程中匹配性與一致性這兩個因素彼此並非各自獨立、互不干擾的。

第二節 實驗二

實驗一所觀察到的反應選擇期不受匹配性的影響。這種現象，是否可以推演至其他的符碼，是實驗二的主要目的。結果顯示，在行為表現數據方面，「文字」性刺激對反應時間、動作時間和正確率同樣受到匹配性的顯著影響。在事件相關電位數據方面，匹配性並未對 P300 潛伏期造成顯著影響，只在反應選擇期達到顯著差異。

實驗二所採用的文字性符碼明顯的增加了反應選擇時間，這一結果與 McCarthy 與 Donchin (1979) 他們的實驗結果相吻合。但是以此結果與實驗一的結果做比較，對於是否因為實驗二中不匹配刺激所造成反應選擇時間的延長，是由於空間符碼與文字符碼在轉換過程所消耗的額外時間，而不全然是「不匹配」的反應要求所引起的，則需要近一步的實驗驗證。但是由於兩個實驗中的反應選擇時間，「文字」符碼的實驗是明顯的較「箭頭」的空間符碼長了許久，而且受試者也報告，「文字」符碼的實驗較「箭頭」符碼的實驗相對的困難。這一點，可以由實驗二使用「文字」類刺激的反應時間比實驗一為長，且錯誤率較實驗一明顯的高顯示出來。另外，在 Allen Azizian 等人的實驗中發現到大腦對於區辨文字類以及圖片類的視覺刺激時，是不同的皮質區域負責運作而且反應時間也不相同(Azizian, Watson, Parvaz, & Squires, 2006)。而且每個受試者使用的訊息處理策略都不盡相同，也可能是造成至於反應時間的差異的原因。

以上顯示，這兩階段的實驗，受試者的辨識過程與反應選擇的過程是不同的。關於在使用文字刺激後的改變，我們認為主要的原因是對於不同類型的刺激（箭頭類 vs. 文字類）我們的認知過程會用不同的處理程序，所以文字概念的符碼和空間概念的符碼會有不一樣的表現。而一致性的「箭頭」符號，可能是大部分人建立的「符碼 (code)」或「心理表徵 (mental representation)」；一般人們經過完善學習的行為後可以建立適當的模組，並依照自動化處理 (automatic

processing) 的方式進行，這樣具有節省心智資源、加快反應時間等效能。而照此說法，則在不匹配的情況下的指示 (cue)，可能會壓抑自動化處理過程，造成反應時間延長。

本研究中，文字類的刺激在不匹配的動作要求下，P300 潛伏期的統計結果並無顯著的差異，這與在(Adolf & Christensen et al., 1996)等的實驗發現在不匹配的動作要求下，文字符碼刺激增加了 P300 的潛伏期並不相符。這個不一致的結果，可以由兩個方向來討論：

1. 本實驗所使用的文字為英文，並非受試者的母語。與外國實驗受試者相比本實驗受試者並未經過完善的學習與記憶。在使用文字類的視覺刺激後，或許是因為實驗使用的材料為英文呈現，而讓受試者產生不熟悉的現象，造成實驗二的文字刺激並未對 P300 顯着影響。
2. 仔細檢測實驗數據，發現受試者在做不匹配的反應要求時，變異是很大的，這種顯著的變異可能是受試者在做不匹配的反應要求時，所使用的辨識、反應選擇和執行策略上的個別差異。這種大的變異性也可能是造成 P300 潛伏期無法達到顯著差異的原因之一。

第六章 結論

認知過程中在處理空間與語言的視覺刺激時可能是運用不同的編碼 (code) 方式進行，而且大腦在處理一致性刺激的路徑與不一致性刺激不同，特別是在處理一致性刺激的編碼似乎與動作記憶印象 (engram) 之間可能容易形成特殊的鍵結 (bonding)。所以在認知反應過程中，相較於面對不一致型刺激，在處理一致型刺激時可能第一時間就已經能與大腦中動作 (motor)、方向 (spatial) 成分連結，造成實驗中所見的表現差異。

此外，或許因為文明的共通性與在溝通表達上所累積的習慣，所以正常人的大腦在認知過程可能對於有一致性的箭頭圖像會自動 (automatic) 轉換成方向概念上的動作。故，一致性的刺激就會對知覺 (perception) 與動作計畫 (motor planing) 產生影響 (Hommel, 2004)，不一致性刺激則否，如此或許能解釋本實驗觀察到的現象。

對於反應時間期中只有 P300 有受到匹配性的影響，我們或許能用 Bernhard Hommel 提出的事件檔案 (event files) 觀念來解釋。大腦在處理外來訊息上，應該是利用類似事件檔案夾 (event files) 這樣概念的作業系統，隨這成長與神經系統的成熟，逐步建構大腦的神經迴路與認知策略，並且累積經驗與持續校正。如此能紀錄和分類刺激與動作模組，甚至達到節省心智資源的效果，使欲處理的資料能在認知覺領域與動作領域之間轉換；但也因為需要轉換的緣故，所以在高度需求 (demands) 情況時就會有刺激評估與動作執行兩階段互相影響或干擾的現象。因為 P300 潛伏期與反應選擇期之間運用的編碼應該是相同的成分，所以不會出現因需要額外轉換編碼而造成反應選擇時間延長的現象。

第七章 研究建議

1. 本實驗使用的箭頭形圖案以及文字型圖片作為認知資訊處理工作的刺激，建議未來應該運用其他類型的刺激，因為不同類型的刺激各自代表不同的心智概念，連帶大腦處理的區域和策略也不相同。目標是藉由操控其他類型的刺激與實驗工作困難度，找出中樞神經的知覺認知功能在進行訊息處理時的共同性與通則，並且能推廣到其他的符號以及編碼，解釋彼此之間的轉換法則。
2. 本實驗使用的箭頭或是符碼都是屬於符號 (symbol) 的視覺刺激訊號，另外，匹配性效果亦見於非符號的刺激，例如於認知實驗研究中賽門效應 (Simon effect) 所用的設計，所有的刺激為「空間位置」(spatial location)。賽門效應使用「空間位置」作為刺激，發現到不論「空間位置」是否與動作要求有關或無關，均可見到匹配性的效果。賽門效應中所用的刺激會出現在螢幕上不同的位置，符號與非符號在空間方向概念裡相較之下就產生了內因性 (implicit, 本實驗用的箭頭圖) 與外因性 (explicit)，在空間不同位置出現的刺激差別。這二因素對於一致性與匹配性的交互作用也有待進一步的實驗探討。本研究由於時間上的限制，尚未對此現象做探討。藉由比較「符碼」與「非符碼」或許能探究更進一步有關匹配性的「內因性」或「外因性」之心理表徵 (mental representation)。

參考文獻

- Azizian, A., Watson, T. D., Parvaz, M. A., & Squires, N. K. (2006). Time course of processes underlying picture and word evaluation: An event-related potential approach. *Brain topography, 18*(3), 213-222.
- Brecher, M., Porjesz, B., & Begleiter, H. (1987). Late positive component amplitude in schizophrenics and alcoholics in two different paradigms. *Biological psychiatry, 22*(7), 848-856.
- Christensen, C. A., Ford, J. M., & Pfefferbaum, A. (1996). The effect of stimulus-response incompatibility on P3 latency depends on the task but not on age. *Biological psychology, 44*(2), 121-141.
- Cynthia Doucet, & Robert M. Stelmack. (1999). The effect of response execution on P3 latency, reaction time, and movement time. *Psychophysiology,*
- DAWSON, G. D. (1951). A summation technique for detecting small signals in a large irregular background. *The Journal of physiology, 115*(1), 2p-3p.
- Deecke, L., Grozinger, B., & Kornhuber, H. H. (1976). Voluntary finger movement in man: Cerebral potentials and theory. *Biological cybernetics, 23*(2), 99-119.
- Duncan, G., Johnson, R. H., & Lambie, D. G. (1981). Role of sensory nerves in the cardiovascular and respiratory changes with isometric forearm

exercise in man. *Clinical science (London, England : 1979)*, 60(2), 145-155.

Fiori, N., Ragot, R., & Renault, B. (1992). Effect of target position on the sequential organization of processing stages. *Biological psychology*, 33(2-3), 157-171.

HICK, W. E. (1952). A note on one-tailed and two-tailed tests. *Psychological review*, 59(4), 316-318.

Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L., & Picton, T. W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science (New York, N.Y.)*, 182(108), 177-180.

Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in cognitive sciences*, 8(11), 494-500.

Houlihan, M.,., Campbell, K., & Stelmack, R. M.,. (1994). Reaction time and movement times as measures of stimulus evaluation and response processes. *Intelligence*,

HYMAN, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of experimental psychology*, 45(3), 188-196.

Jacobson, G. P., & Yeh, H. S. (1985). The auditory brainstem response in surgical monitoring: The pathological significance of a reduced P1-P5 interwave interval. *Clinical EEG (electroencephalography)*, 16(2), 83-87.

Jensen, A. R., & Munro, E. (1979). Reaction time, movement time, and

intelligence. *Intelligence*, 3, 121-126.

Johnson, R., Jr, Pfefferbaum, A., & Kopell, B. S. (1985). P300 and long-term memory: Latency predicts recognition performance. *Psychophysiology*, 22(5), 497-507.

Knight, R. G., & Godfrey, H. P. (1984). Reliability and validity of a scale for rating memory impairment in hospitalized amnesiacs. *Journal of consulting and clinical psychology*, 52(5), 769-773.

Kosslyn, S. M., & Shin, L. M. (1992). The status of cognitive neuroscience. *Current opinion in neurobiology*, 2(2), 146-149.

Kutas, M., & Donchin, E. (1980). Preparation to respond as manifested by movement-related brain potentials. *Brain research*, 202(1), 95-115.

Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science (New York, N. Y.)*, 197(4305), 792-795.

Leuthold, H., & Sommer, W. (1998). Postperceptual effects and P300 latency. *Psychophysiology*, 35(1), 34-46.

Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G., & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, 21(2), 171-186.

McCarthy, G., & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science (New York, N. Y.)*, 211(4477), 77-80.

- Mullis, R. J., Holcomb, P. J., Diner, B. C., & Dykman, R. A. (1985). The effects of aging on the P3 component of the visual event-related potential. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *62*(2), 141-149.
- Okada, Y. C., Kaufman, L., & Williamson, S. J. (1983). The hippocampal formation as a source of the slow endogenous potentials. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *55*(4), 417-426.
- Pachella, R. G., & Fisher, D. F. (1969). Effect of stimulus degradation and similarity on the trade-off between speed and accuracy in absolute judgments. *Journal of experimental psychology*, *81*(1), 7-9.
- Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes, A. R. (1987). Neural correlates of encoding in an incidental learning paradigm. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *67*(4), 360-371.
- Paller, K. A., McCarthy, G., Roessler, E., Allison, T., & Wood, C. C. (1992). Potentials evoked in human and monkey medial temporal lobe during auditory and visual oddball paradigms. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *84*(3), 269-279.
- Pfefferbaum, A., Ford, J., Johnson, R., Jr, Wenegrat, B., & Kopell, B. S. (1983). Manipulation of P3 latency: Speed vs. accuracy instructions. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *55*(2), 188-197.
- Picton, T. W., Skinner, C. R., Champagne, S. C., Kellett, A. J., & Maiste, A. C. (1987). Potentials evoked by the sinusoidal modulation of the amplitude or frequency of a tone. *The Journal of the Acoustical Society*

of America, 82(1), 165-178.

- Picton, T. W., Vajsar, J., Rodriguez, R., & Campbell, K. B. (1987). Reliability estimates for steady-state evoked potentials. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 68(2), 119-131.
- Polich, J. (1985). Semantic categorization and event-related potentials. *Brain and language*, 26(2), 304-321.
- Polich, J. (1987a). Comparison of P300 from a passive tone sequence paradigm and an active discrimination task. *Psychophysiology*, 24(1), 41-46.
- Polich, J. (1987b). Response mode and P300 from auditory stimuli. *Biological psychology*, 25(1), 61-71.
- Polich, J. (1987c). Task difficulty, probability, and inter-stimulus interval as determinants of P300 from auditory stimuli. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 68(4), 311-320.
- Polich, J. (1991). P300 in the evaluation of aging and dementia. *Electroencephalography and clinical neurophysiology. Supplement*, 42, 304-323.
- Polich, J. (1996). Meta-analysis of P300 normative aging studies. *Psychophysiology*, 33(4), 334-353.
- Polich, J., Brock, T., & Geisler, M. W. (1991). P300 from auditory and somatosensory stimuli: Probability and inter-stimulus interval. *International journal of psychophysiology : official journal of the*

International Organization of Psychophysiology, 11(2), 219-223.

Polich, J., & Geisler, M. W. (1991). P300 seasonal variation. *Biological psychology*, 32(2-3), 173-179.

Posner, M. I. (2004). Cognitive neuroscience of attention.

Ragot, R., Renault, B., & Remond, A. (1980). Hemispheric involvement during a bimanual RT task: P300 and motor potential. *Progress in brain research*, 54, 736-741.

Shucard, D. W., Shucard, J. L., & Thomas, D. G. (1987). Auditory event-related potentials in waking infants and adults: A developmental perspective. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 68(4), 303-310.

Simson, R., Vaughan, H. G., Jr, & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual Go/NoGo tasks. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 43(6), 864-875.

Simson, R., Vaughn, H. G., Jr, & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual discrimination tasks. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 42(4), 528-535.

Snyder, R. D. (1980). Topographic mapping in childhood developmental dyslexia. *Annals of Neurology*, 8(6), 642-643.

Squires, K. C., Donchin, E., Herning, R. I., & McCarthy, G. (1977). On the influence of task relevance and stimulus probability on

event-related-potential components. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 42(1), 1-14.

Stapleton, J. M., & Halgren, E. (1987). Endogenous potentials evoked in simple cognitive tasks: Depth components and task correlates. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 67(1), 44-52.

Stapleton, J. M., Halgren, E., & Moreno, K. A. (1987). Endogenous potentials after anterior temporal lobectomy. *Neuropsychologia*, 25(3), 549-557.

Stapleton, J. M., O'Reilly, T., & Halgren, E. (1987). Endogenous potentials evoked in simple cognitive tasks: Scalp topography. *The International journal of neuroscience*, 36(1-2), 75-87.

Sternberg, M. J., & Gullick, W. J. (1990). A sequence motif in the transmembrane region of growth factor receptors with tyrosine kinase activity mediates dimerization. *Protein engineering*, 3(4), 245-248.

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science (New York, N.Y.)*, 150(700), 1187-1188.

Valle-Inclan, F. (1996). The locus of interference in the simon effect: An ERP study. *Biological psychology*, 43(2), 147-162.

Verleger, R. (1997). On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology*, 34(2), 131-156.

Yingling, C. D., & Hosobuchi, Y. (1984). A subcortical correlate of P300 in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 59(1), 72-76.

羅耀嘉. (1993). 聽覺 P300 與某些認知環節關係的初探. *心理學動態*, 1(3), 44-47.

魏景漢, 羅耀嘉. (2002). 認知事件相關腦電位教程. 北京, 經濟日報出版社

