

聲音刺激下大腦不同區域之自動處理 機制反應之研究

A Study of Brain Responses in Automatic Processing Mechanism for Sound Stimuli on Different Regions

林祈佑¹ Ci-You Lin

中山醫學大學附設醫院醫工室

李正民³ Cheng-Min Lee

健行科技大學電子工程系

黃元惠² Yuan-Huei Huang

國立台灣大學附設醫院新竹分院外科部

趙文鴻^{*1} Wen-Hung Chao

元培醫事科技大學生物醫學工程系

¹ Medical Engineering Section, Chung Shan Medical University Hospital

² Department of surgery, National Taiwan University Hospital Hsin-Chu Branch

³ Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

⁴ Department of Biomedical Engineering, Yuanpei University of Medical Technology

(Received October 24, 2017; Revised January 2, 2018; Accepted February 9, 2018)

摘要：自從腦電圖(Electroencephalogram, EEG)的發展以來，使得人類瞭解到大腦會因受到外在的刺激影響使大腦有自發電位的變化，人類大腦受到聲音刺激後對於刺激進行不同任務行為之反應，大腦會因為任務產生的行為的不同在大腦電位之波動也產生差異。事件相關電位(event-related potentials, ERP)的運用已成為深入研究大腦心理活動層面的主要方式，運用不同事件刺激方法來獲得多種不同性質的 ERP 成份。在 ERP 成分中的 MMN 失匹配負波是利用標準 Oddball 實驗模式下進行，將所擷取到的偏差刺激 ERP 減去標準刺激 ERP 所獲得之差異波，過去 MMN 被認定為一種對刺激的自動處理的機制。為了解大腦在聲音刺激過程中接受不同任務下，大腦對於聲音刺激之振幅反應會有何種表現。因此本研究設計一套聲音刺激實驗，針對 15 位(平均年齡 23.1 歲)的身心的健康的受測者，各別對實驗區段 1 (Inattention)、實驗區段 2 (Attention Button)、實驗區段 3 (Attention Memory)與實驗區段 4 (Attention Button

*Corresponding author



Memory)等四種不同任務的實驗，以頻率 1000Hz，60 分貝(dB)的標準聲音刺激，與頻率 1500Hz，60dB 的偏差聲音刺激之條件來對雙耳聲音刺激。結果顯示，在聲音刺激實驗中，是否對於聲音刺激有無專注狀況下均會有 MMN 之振幅表現。在單純的記憶任務下，使得大腦在對偏差刺激辨識的參與感受程度降低，而任務過程中配合按按鈕動作反而提升了大腦參與辨識的感受程度，但會使得按按鈕動作反應變慢。

關鍵詞：腦電圖、事件相關電位、失匹配負波、自動處理

Abstract : The development of the electroencephalogram (EEG) assists in understanding spontaneous potential change of brain from stimulation. The different brain response generated by task behavior induces a difference of potential fluctuation in the brain, and the behavior reaction of the different tasks is created from the brain stimulated by the sound stimulus. The event-related potentials (ERPs) have become the main way of psychological activity level of brain in depth research, and they used this method from different event stimuli to obtain a variety of different types of ERP components. The mismatch negativity (MMN) components of ERPs could be acquired from the differential wave between deviation stimuli and standard stimuli of ERPs in standard oddball experiment, and the MMN has been identified as a mechanism of automatic processing from stimuli in the past research. In order to understand brain mechanism induced by different tasks, the brain amplitude responses of the sound stimuli react what will be reflected during the sound stimulation. Thus, the sound stimulus experiments were designed in this study. A total of 15 healthy participants (the average age of 23.1 years) executed a series of sections in these experiments. Each experiment includes four different stimuli sections which are inattention section, attention button section, attention memory section, and attention button memory section. The standard sound stimulus is the 1000Hz frequency with 60dB, and the deviation sound stimuli is the 1500Hz frequency with 60dB. The results showed that MMN amplitudes were presented obviously when inattention or attention was included in the sound stimulation experiments. In the task of attention memory, the brain will be reduced the identification of the extent of sensation. The brain will be enhanced the identification of the extent of sensation during the action of task with the pressing button (attention button memory), but it will make the button action slow response.

Keywords: electroencephalogram (EEG), event-related potentials (ERPs), mismatch negativity (MMN), automatic processing

壹、簡 介

人類在接收到聲音的刺激，而對聲音刺激進行行為、認知與專注等之任務下，大腦會產生特定性的反應，由於腦電圖(Electroencephalogram, EEG)的發展瞭解到大腦有自發電位的變



化，人類便開始得知大腦會因聲音刺激與不同行為反應，使得腦電位波動產生差異。在過去的半個世紀以來，許多利用 EEG 與心理層面活動變化相關的研究成果，將過去原本神祕難以捉摸的心理行為、活動與功能以腦電圖的方式揭露出來。而因心理層面所造成的腦電位變化，都要比自發電位還來得微小。通常這樣心理層面相關的腦電位變化都隱藏在自發電位之中，使得心理層面相關的腦電位變化難以由自發電位中進行觀察[1]。也因此發展出運用電腦強大的運算能力，利用疊加技術將大腦心理層面的活動變化由自發電位中提取出事件相關電位(event-related potentials, ERP)。自 1964 年以來 ERP 的運用已成為深入研究大腦心理活動層面的主要方式，也因此從當中運用不同事件刺激方式來獲得多種不同性質的 ERP 成份[2]，在所有事件相關電位成分中較為重要及討論的包括有 N100、N200、P300、MMN (mismatch negativity)、CNV (contingent negative variation)等等。Näätänen 等人於 1978 利用 Oddball 聲音刺激實驗模式所獲得 ERP 的差異波中發現，大腦在受到刺激後於 100ms 至 250ms 之間會產生一負向波形特徵的成份。因此，Näätänen 將此特徵稱之為失匹配負波(MMN)，而 MMN 失匹配負波被認定為一種對刺激的自動變化之檢測反應或自動處理的機制[3]，可利用不同純諧波的音調、音頻、強度、持續時間與兩刺激間隔等基本物理特性之刺激操作使其表現出來，或是利用更為複雜的拼音、時間順序或音調之間的抽象關係[4]所獲得。為了更加了解在受到聲音刺激與目標刺激任務的動作下，大腦對於聲音刺激之振幅反應會有何種表現。因此本研究設計一套聲音刺激實驗，以頻率 1000 赫茲(Hz)，60 分貝(dB)的標準聲音刺激，與頻率 1500HZ，60dB 的偏差聲音刺激條件來進行雙耳聲音刺激，並利用腦電圖儀來擷取腦波訊號進一步分析、探討與比較，以藉此了解大腦在聲音刺激下於不同任務動作之腦波振幅表現。

貳、方法與材料

1.受測者

本研究尋找 15 位身心健康的青少年(女性 3 位，男性 12 位，其平均年齡為 23.1 歲)，且均自願參與本研究，並接受完整的實驗說明。本實驗之腦電波訊號於聲音刺激實驗起同時進行紀錄。參與本研究受測者參與之實驗程序與資料擷取過程皆經由國立臺灣大學醫學院附設醫院新竹分院人體試驗委員會審核通過(104-086-E)。

2.實驗流程

受測者在獨立無干擾空間中進行聲音刺激實驗並記錄腦電波，受測者以放鬆舒適的坐姿進行測試，在實驗前會先進行一次實驗說明。如圖 1 所示為實驗流程，首先進行受測者頭皮之電極配置，設定聲音刺激條件後，再分別執行 4 種不同聲音刺激實驗之實驗區段，每項實驗區段執行共 30 分實驗共給予 700 次之聲音刺激，每項實驗區段之間給予 3 分鐘休息時間。每次實驗於檢查電極阻抗值後才開始進行量測，並透過一定的聲音刺激實驗流程以確保實驗資料擷取的正確性，當實驗之聲音聽覺刺激出現開始紀錄波形。



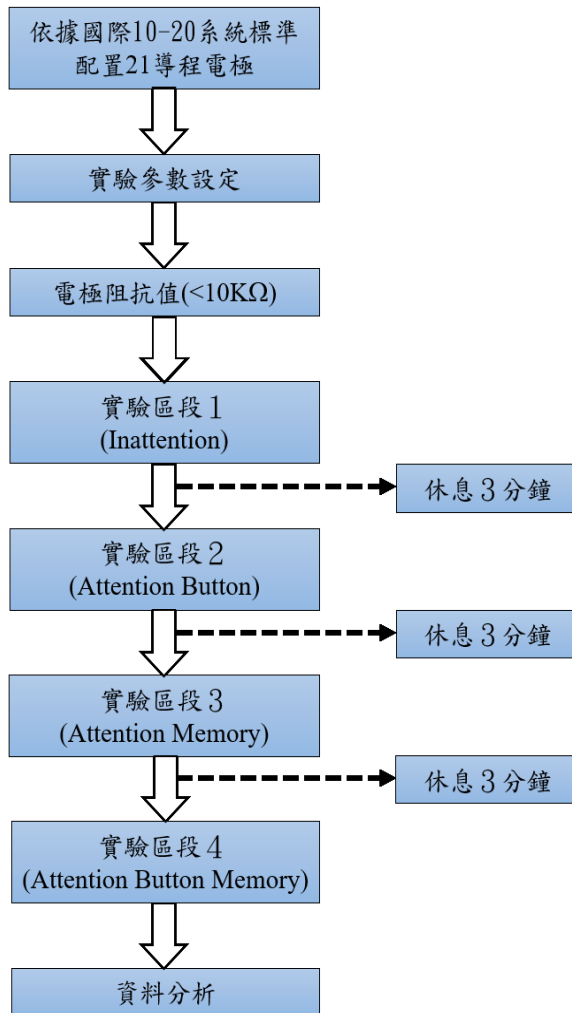


圖 1、本實驗之實驗流程圖

(1) 實驗區段 1 (Inattention 實驗)

受測者戴上耳機閉上雙眼，實驗期間給予兩種不同頻率的短頓聲音刺激，分別為 1000 赫茲(Hz)，60 分貝(dB)之標準聲音刺激(S)，以及 1500Hz，60dB 之偏差聲音刺激(D)，兩刺激時間各為 50ms，出現概率為標準聲音刺激 80%與偏差聲音刺激 20%，刺激間隔為 1.67s。實驗區段分為四個小節，每小節給予 175 次刺激(約 5 分鐘)，每小節之間休息 3 分鐘，合計整個實驗區段給予 700 次刺激。其實驗區段之刺激程序如圖 2 所示。實驗過程中受測者忽略任何聲音刺激，不需對所有刺激作任何動作與反應。



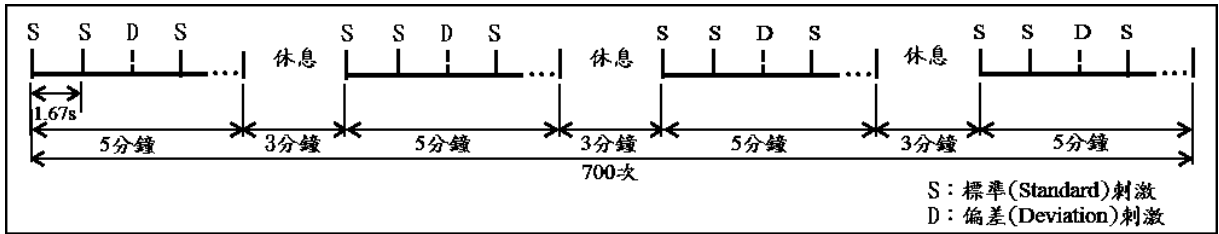


圖 2、實驗區段 1 (Inattention 實驗)之刺激示意圖

(2)實驗區段 2 (Attention Button 實驗)

受測者戴上耳機閉上雙眼，實驗期間給予兩種不同頻率的短頓聲音刺激，分別為 1000 赫茲(Hz)，60 分貝(dB)之標準聲音刺激(S)，以及 1500Hz，60dB 之偏差聲音刺激(D)，兩刺激時間各為 50ms，出現概率為標準聲音刺激 80%與偏差聲音刺激 20%，刺激間隔為 1.67s。實驗區段分為四個小節，每小節給予 175 次刺激(約 5 分鐘)，每小節之間休息 3 分鐘，合計整個實驗區段給予 700 次刺激。其實驗區段之刺激程序如圖 3 所示。此實驗區段過程中，受測者聽到偏差刺激後立即以慣用手按下手中的按鈕(B)的任務。

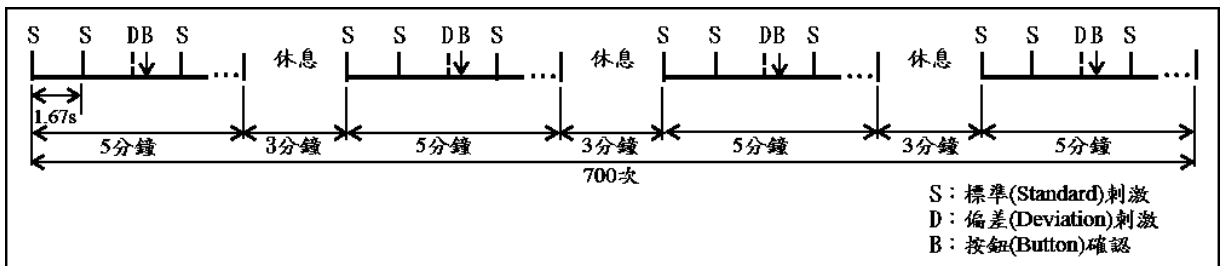


圖 3、實驗區段 2 (Attention button 實驗)之刺激示意圖

(3)實驗區段 3 (Attention Memory 實驗)

受測者戴上耳機閉上雙眼，實驗期間給予兩種不同頻率的短頓聲音刺激，分別為 1000 赫茲(Hz)，60 分貝(dB)之標準聲音刺激(S)，以及 1500Hz，60dB 之偏差聲音刺激(D)，兩刺激時間各為 50ms，出現概率為標準聲音刺激 80%與偏差聲音刺激 20%，刺激間隔為 1.67s。實驗區段分為四個小節，每小節給予 175 次刺激(約 5 分鐘)，每小節之間休息 3 分鐘，合計整個實驗區段給予 700 次刺激。其實驗區段之刺激程序如圖 4 所示。此實驗區段過程中，受測者聽到偏差刺激後立即做大腦記憶動作之任務，受測者需記憶計數整個實驗過程之總偏差刺激出現次數，並於實驗結束後核對實際次數。



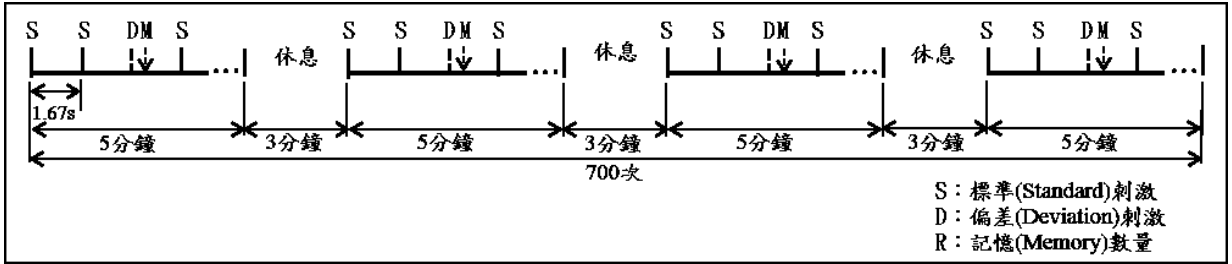


圖 4、實驗區段 3 (Attention memory 實驗)之刺激示意圖

(4)實驗區段 4 (Attention Button Memory 實驗)

受測者戴上耳機閉上雙眼，實驗期間給予兩種不同頻率的短頓聲音刺激，分別為 1000 赫茲(Hz)，60 分貝(dB)之標準聲音刺激(S)，以及 1500Hz，60dB 之偏差聲音刺激(D)，兩刺激時間各為 50ms，出現概率為標準聲音刺激 80%與偏差聲音刺激 20%，刺激間隔為 1.67s。實驗區段分為四個小節，每小節給予 175 次刺激(約 5 分鐘)，每小節之間休息 3 分鐘，合計整個實驗區段給予 700 次刺激。其實驗區段之刺激程序如圖 5 所示。

此實驗區段過程中，受測者聽到偏差刺激後立即以慣用手按下手中的按鈕(B)，並大腦記憶動作之任務，受測者需記憶計數整個實驗過程之總偏差出現次數，並於實驗結束後核對實際次數。

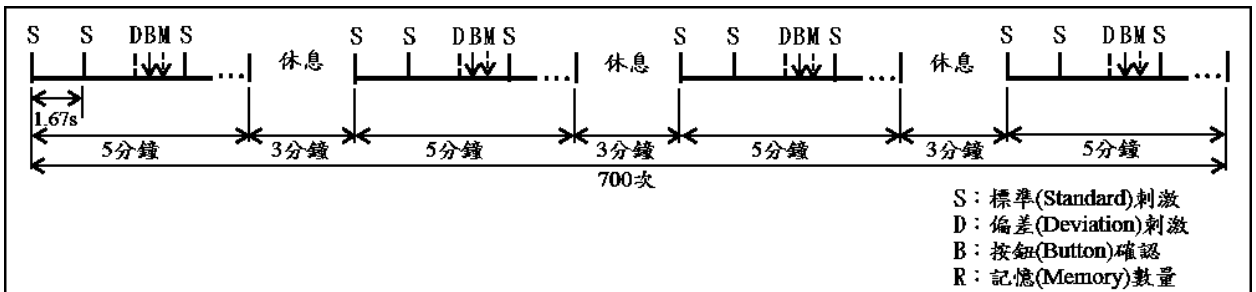


圖 5、實驗區段 4 (Attention button memory 實驗)之刺激示意圖

3.腦波紀錄

EEG 信號的提取過程如圖 6 所示，所有 EEG 信號是利用 Neuron Spectrum 4/EPM (俄羅斯) 腦電圖擷取系統來記錄腦電位訊號，並依據國際 10-20 系統標準頭皮電極位置黏貼 21 導程電極點，將以 FPz 參考點，並檢測電極點之阻抗小於 10KΩ，信號擷取通過一個四階帶通濾波器，其下限截止頻率設為 0.05Hz 與上限截止頻率設為 35Hz，取樣頻率為 500Hz。



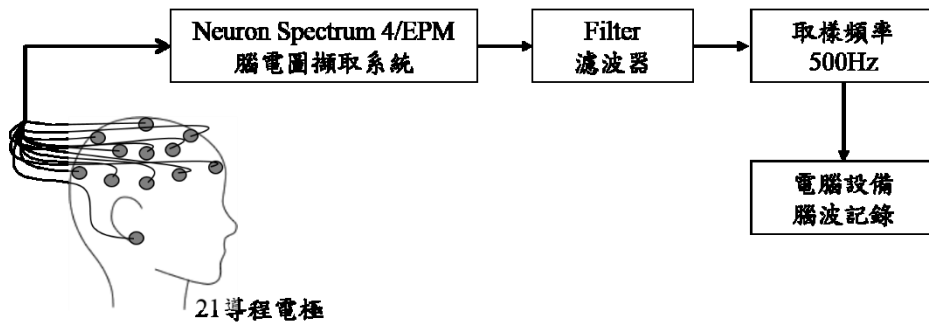


圖 6、腦波擷取流程圖

過去的研究顯示，聲音刺激所產生的腦電位變化是以額葉與頂葉區域為最大之振幅反應 [5][6][7]。因此，本實驗結果將以額葉中線電極 Fz 與中央中線電極 Cz(額葉與頂葉交界中心) 為本研究結果觀測之電極點。

4.腦電波訊號分析

將所記錄之每筆腦電波訊號資料，依照腦電圖擷取系統設定之取樣頻率進行轉檔，並將轉檔後之資料進行數位濾波，其數位濾波參數設定為下限截止頻率 0.5Hz，上限截止頻率 40Hz。將刺激訊號依事件刺激各別進行提取，提取時間範圍設定為 2000ms(-500ms~1500ms)。濾波後的腦電波容易因受測者眼動與肌電訊號產生大於 100 μ V 的振幅訊號，應將先予以去除後再進行 ERP 的分析。而 ERP 是將所有試驗的 EEG 進行平均計算後獲得(圖 7)，如同公式 1 所示， X_k 為刺激時間提取視窗資料，裡面所含的是每一個視窗的總取樣數量，而 N 為實驗總刺激時期(epoch)之刺激數量。

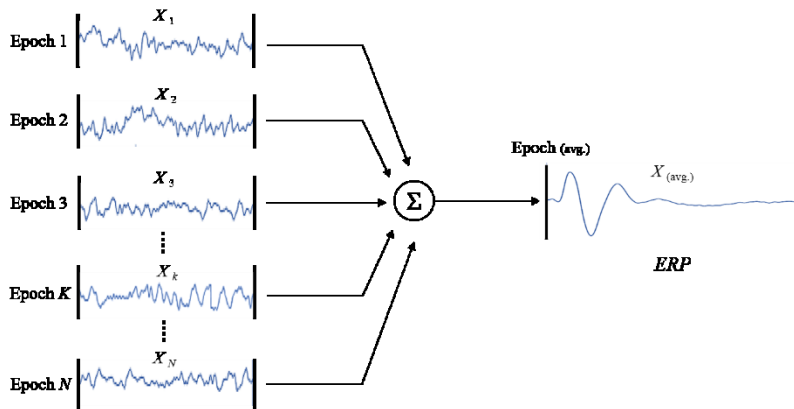


圖 7、ERP 疊加計算示意圖

$$ERP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \quad (1)$$



參、結果與討論

本研究依照實驗流程設計擷取 15 位受測者之 ERP，將各實驗區段結果分別提取出標準刺激與偏差刺激之 ERP 振幅，並進行偏差刺激減去標準刺激所獲得之 ERP 差異波比較。結果顯示，實驗區段 1 (Inattention)、實驗區段 2 (Attention Button) 實驗區段 3 (Attention Memory) 與實驗區段 4 (Attention Button Memory) 四項實驗區段之 ERP 差異波可明顯發現(圖 8、圖 9)，在潛伏期 100ms 至 150ms 之間均有一顯著負向波之 MMN 產生。由於 MMN 是大腦接受刺激時的自動處理機制，所以不論受測者對於聲音刺激是否有注意之狀況下，MMN 均都會自動產生。

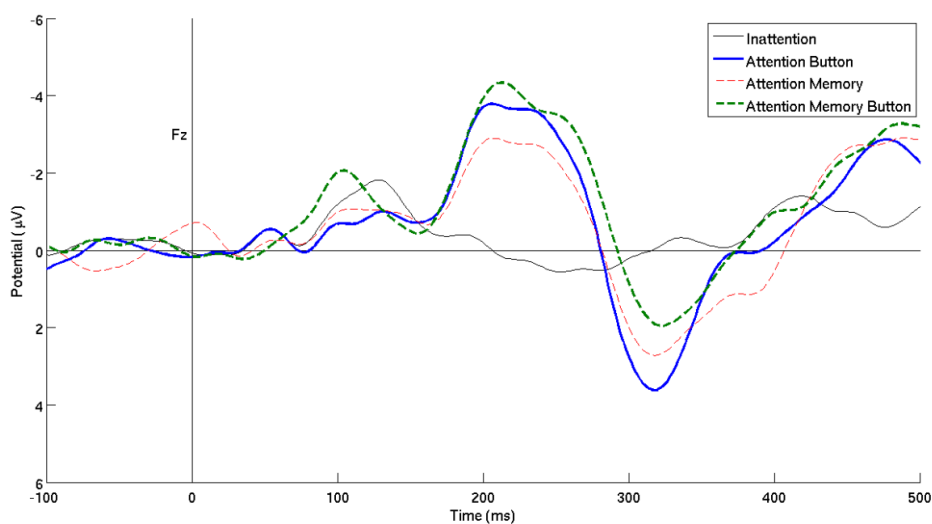


圖 8、15 位受測者之 Fz 平均 ERP 差異波振幅，黑色細線為實驗區段 1 (Inattention)，藍色粗線為實驗區段 2 (Attention Button)，紅色細虛線為實驗區段 3 (Attention Memory) 及綠色粗虛線為實驗區段 4 (Attention Button Memory)



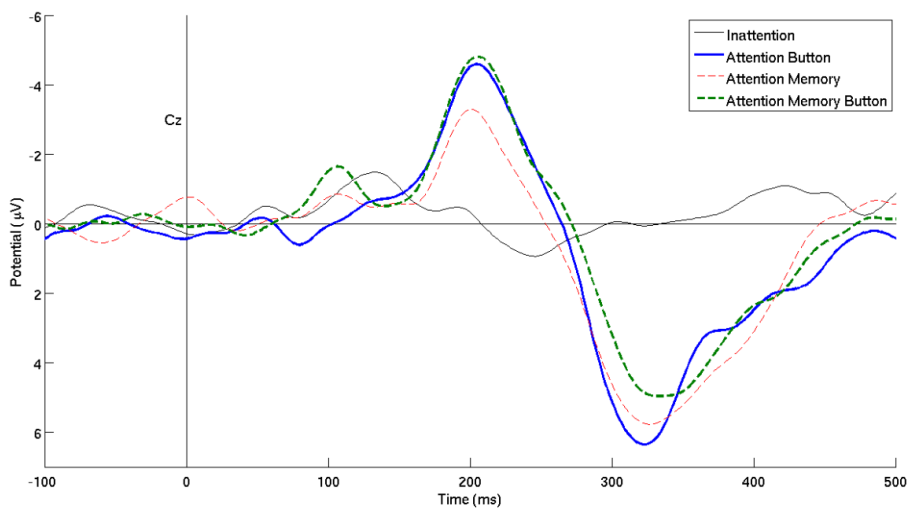


圖 9、15 位受測者之 Cz 平均 ERP 差異波振幅，黑色虛線為實驗區段 1 (Inattention)，藍色粗線為實驗區段 2 (Attention Button)，紅色細虛線為實驗區段 3 (Attention Memory) 及綠色粗虛線為實驗區段 4 (Attention Button Memory)

觀察 Fz(圖 8)與 Cz(圖 9)於注意實驗之實驗區段 2、實驗區段 3 與實驗區段 4，於 200ms 至 350ms 之間產生一明顯負向波與正向波。在過去 Loveless 的研究結果說明[8]，當受測者對偏差刺激產生注意的狀況下，於潛伏期 200ms 左右會產生一個顯著的負向波，稱為 N2b。N2b 之波形的產生會較 MMN 的潛伏期來的晚[9]，而 N2b 則會伴隨一明顯稱為 P3a 的正向波 (潛伏期 300ms 左右)，而 N2b 與 P3a 結合成為一複合波，而本實驗之結果也有相同之現象產生。

表 1、腦電極 Fz 與 Cz 之聲音刺激實驗於各實驗區段之 MMN、N2b、P3a 與 N2b-P3a 複合波振幅與潛伏期表現

		MMN		N2b		P3a		N2b-P3a
		Amplitude (µV)	Latency (ms)	Amplitude (µV)	Latency (ms)	Amplitude (µV)	Latency (ms)	Amplitude (µV)
Fz	Section 1 (Inattention)	-1.818	128	-	-	-	-	-
	Section 2 (AB)	-0.997	132	-3.783	206	3.625	318	7.408
	Section 3 (AM)	-1.067	110	-2.895	206	2.712	318	5.607
	Section 4 (ABM)	-2.065	140	-4.335	214	1.963	322	6.298
Cz	Section 1 (Inattention)	-1.485	132	-	-	-	-	-



Section 2 (AB)	N/S	N/S	-4.588	204	6.358	322	10.946
Section 3 (AM)	-0.854	106	-3.284	200	5.771	326	9.055
Section 4 (ABM)	-1.643	106	-4.801	206	4.962	334	9.763

AB: Attention Button; AM: Attention Memory; ABM: Attention Button Memory; N/S:

Non-significant

本研究將所有實驗區段之 ERP 差異波結果數據如表 1 所示，在 MMN 兩電極點的振幅表現，均以 Fz 額葉電極較頂葉中央電極 Cz 來得大。由於聽覺刺激通路的分佈，在 MMN 所呈現反應以額葉區域周圍表現最為顯著，因此以 Fz 電極點所表現之振幅為最大[10]。在三個實驗區段(實驗區段 2、實驗區段 3 與實驗區段 4)，於 Fz 之 MMN 振幅因為任務困難度的增加而成正比的表現，但在 Cz 電極點於實驗區段 2 之 MMN 表現並無顯著的振幅。而在 N2b 與 P3a 振幅表現，由表 1 可明顯發現，以較高困難度任務的實驗區段 4 (Attention Button Memory) 之 N2b 振幅為最大，以純記憶任務的實驗區段 3 (Attention Memory) 之 N2b 振幅表現最小。在注意任務過程中，MMN 發生後因指向反應產生 N2b，而 N2b 反應了大腦參與在辨別過程的感受程度[8][11]，而本研究結果在純記憶任務的實驗區段 3 (Attention Memory) 下使得大腦在辨別過程中感受程度降低，有造成對刺激事件的專注度降低而有分心現象。而 P3a 則是做為指向反應的標記，反應出大腦對於刺激目標在專注過程中的感知程度[12]。由表 1 結果顯示，在實驗區段 2 (Attention Button) 之 P3a 振幅表現最大，而實驗區段 4 (Attention Button Memory) 之 P3a 振幅表現最小。由結果可說明，受測者在實驗區段 2 (Attention Button) 中單純對偏差刺激進行按按鈕之動作，使大腦在專注任務過程中有較高的感知程度。而實驗區段 4 (Attention Button Memory) 由於受測者必須對偏差刺激進行按按鈕動作外，還必須用大腦記憶計數偏差刺激出現次數，因任務困難度較高，而使得大腦的感知程度降低，進而 P3a 振幅表現降低。由 P3a 潛伏期的表現也可發現，任務困難度較低之實驗區段 2 (Attention Button) 的潛伏期反應時間較快，在實驗區段 4 (Attention Button Memory) 的潛伏期之反應時間較慢。



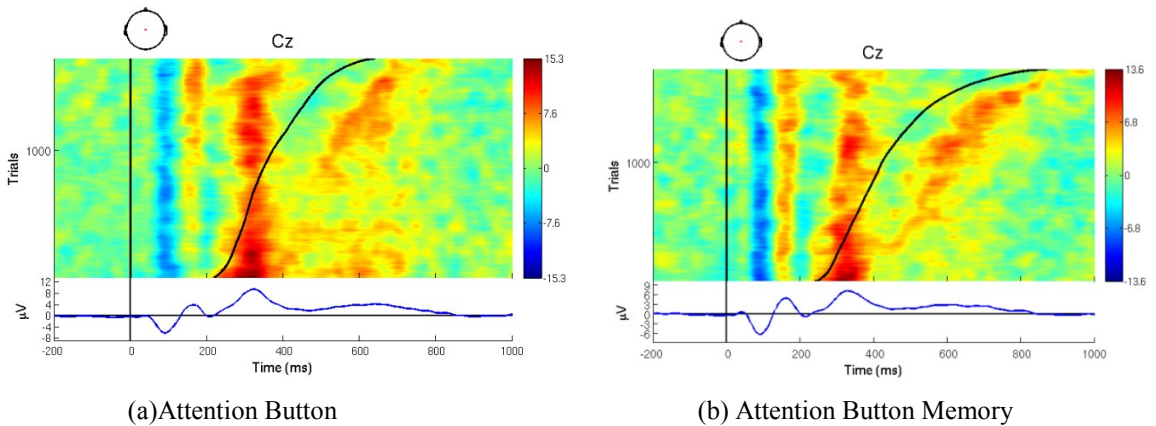


圖 10、注意實驗針對偏差刺激按鈕任務於 Cz 之反應時間排序表現，(a)實驗區段 2 (Attention Button)偏差刺激按鈕實驗，(b)實驗區段 4 (Attention Button Memory)偏差刺激按鈕記憶實驗。橫軸為反應時間，縱軸為試驗刺激數(Trials)

另外針對實驗區段 2 (Attention Button)與實驗區段 4 (Attention Button Memory)之按鈕反應時間表現進行比較，如圖 10 所示為兩注意實驗區段位於 Cz 電極點之偏差刺激按鍵任務的反應時間排序。圖 10a 為實驗區段 2 (Attention Button)之反應時間排序，圖 10b 為實驗區段 4 (Attention Button Memory)之反應時間排序，黑色曲線為偏差刺激後按按鈕任務之反應時間曲線。由兩曲線可明顯發現，在實驗區段 2 (圖 10a)所呈現之按按鈕反應時間，較實驗區段 4 要求受測者按鈕確認，並記憶計數偏差刺激之反應時間來得快。由圖 10a 與圖 10b 下方之偏差刺激 ERP 振幅於 200ms 至 400ms 之最大正向波 P300 表現，也能明顯發現實驗區段 2 (Attention Button)之 P300 振幅與潛伏期($V_{P300}=9.462\mu V$; Latency=324ms)比實驗區段 4 (Attention Button Memory) 之 P300 有較大的振幅與稍微較快的潛伏期時間($V_{P300}=7.185\mu V$; Latency=328ms 有)。過去認為 P300 會與為任務之處理能力有相關性，當處理的任務困難度增加時，會使得 P300 的振幅變小且反應時間變長[13]。在實驗結果中，由於實驗區段 4 (Attention Button Memory)的過程，受測者因為增加對偏差刺激出現次數做記憶的任務，相對使得任務困難度增加，而使整個 P300 之振幅表現較小，反應時間較長。

表 2、為實驗區段 2 (Attention Button)與實驗區段 4 (Attention Button Memory)於 Cz 電極點之按按鈕平均反應時間

Experiment sections	Mean of Response Time (ms)	S.D. (ms)
Cz Section 2 (Attention Button)	376.02	109.59



Section 4 (Attention Button Memory)	444.82	157.62
-------------------------------------	--------	--------

S.D. : 標準差(Standard Deviation)

因此，從 15 位受測者於實驗區段 2 (Attention Button)與實驗區段 4 (Attention Button Memory)之按按鈕平均反應時間統計如表 2 所示，可明顯發現在實驗區段 2 (Attention Button)之平均反應時間較實驗區段 4 (Attention Button Memory)之反應時間較快，由圖 11 所示也可清楚看出兩者之差異性。這樣的結果與 P300 之特性可說明在整個實驗區段 2 之任務，只要求受測者聽到偏差刺激出現單純按鈕確認，這樣的任務是較為簡單直覺性的任務，會使得專注力較為高，P300 振幅有較大的表現，與較短的潛伏期，而按按鈕確認之任務反應速度較為快。而實驗區段 4 實驗過程中，受測者除了按鈕確認外，必須連續記憶計數偏差刺激出現次數，也因此造成專注力的降低，使得 P300 之振幅表現較小與較長的潛伏期，對於按按鈕確認之反應速度變慢。

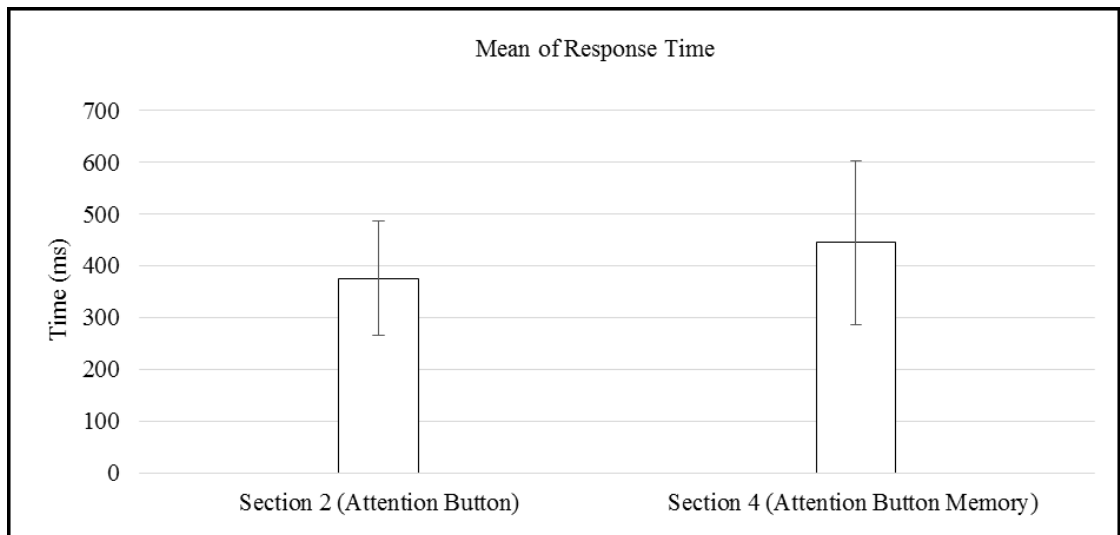


圖 11、實驗區段 2 (Attention Button)與實驗區段 4 (Attention Button Memory)之按按鈕反應時間表現

肆、結 論

綜合以上聲音刺激實驗之研究結果可得到以下的結論。在聽覺聲音刺激以額葉與頂葉的反應振幅最為明顯，在對偏差刺激有專注的狀態下會產生顯著的 P300 振幅。當注意任務困難度越簡單時 P300 之振幅表現越大，潛伏期時間較短。而任務困難度越高時，則振幅表現



越小，潛伏期時間較長。在 ERP 之差異波顯示，整個聲音刺激實驗中，不論對於聲音刺激是否有專注狀況下，均會有 MMN 之振幅表現，其振幅表現以額葉電極點 Fz 最為顯著。在對偏差刺激有專注狀態下，於 MMN 之振幅後會產生顯著的負向波 N2b，並伴隨一正向波幅 P3a 之 N2b-P3a 複合波。由於 N2b 是大腦在辨別過程中的參與感受程度，在實驗區段 3 (Attention Memory) 於單純的記憶任務下，使得大腦在對偏差刺激辨識的參與感受程度降低，當任務過程中配合按按鈕動作(實驗區段 4)反而提升了大腦參與辨識的感受程度，甚至比單純按按鈕(實驗區段 2)的任務還高。同樣為注意按鈕任務之兩實驗(實驗區段 2 與實驗區段 4)中，有無配合記憶行為會影響按按鈕之反應時間，於單純按按鈕的狀態下，受測者的反應速度表現較快。而當任務中配合記憶狀態使得困難度增加，使受測者對於按按鈕的反應速度則表現較為緩慢。

誌 謝

感謝本腦波實驗室團隊成員林子毓、闕翊芬、蘇泓璋、林家毅與賴昕好協助實驗數據的採集，也更感謝所有的受測者為本實驗辛苦付出與配合，本研究承元培醫事科技大學補助計畫 106-COMP6017-02 提供經費之支持，特此感謝。

參考文獻

1. 魏景漢、羅耀嘉，認知事件相關腦電位教程。北京：經濟日報出版社，民國 91 年，8-9 頁。
2. Walter, W., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C., & Winter, A. L., "Contingent negative variation: an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain," *Nature*, vol., 2031, pp.380-384.
3. Näätänen, R., Gaillard, A. W., & Mäntysalo, S., "Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted," *Acta psychologica*, 42(4), 1978, pp. 313-329.
4. Kraus, N., & Cheour, M., "Speech sound representation in the brain," *Audiology and Neurotology*, 5(3-4), 2000, pp.140-150.
5. Lyytinen, H., Blomberg, A. P., & Näätänen, R., "Event-related potentials and autonomic responses to a change in unattended auditory stimuli," *Psychophysiology*, 29(5), 1992, pp.523-534.
6. Alain, C., Woods, D. L., & Knight, R. T., "A distributed cortical network for auditory sensory memory in humans," *Brain research*, 812(1), 1998, pp.23-37.
7. Näätänen, R., "The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the



- mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm),” *Psychophysiology*, 38(1), 2001, pp.1-21.
8. Loveless, N. E., “Potentials evoked by temporal deviance,” *Biological psychology*, 22(2), 1986, pp.149-167.
 9. 魏景漢、羅耀嘉，認知事件相關腦電位教程。北京：經濟日報出版社，民國 91 年，37 頁。
 10. 楊博，長時間持續警戒任務下腦力疲勞對前注意和注意加工能力影響的 ERP 研究(博士論文)，民國 91，取自万方數據庫。(doi: 10.7666/d.D357431)
 11. Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2007, pp.2544-2590.
 12. 鄭博文、陶振超，人如何處理電視新聞中的多資訊成分？從自動處理機制觀點探討結構特徵對注意力與記憶的影響。「2011 中華傳播學會年會」，交通大學竹北六家校區客家文化學院，民國 100 年 7 月。
 13. Polich, J., & Kok, A. Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological psychology*, 41(2), 1995, pp.103-146.

