

第 1 章

腦波特性和腦波量測

1.1. 人體神經系統構造與神經傳導原理

如圖 1-1 所示，人體的神經系統可分為中樞神經和周圍神經兩大類，中樞神經主要由腦和脊髓組成，主要功能為分析、判斷、決策並產生命令；周圍神經則由腦神經和脊神經組成，專司訊息的傳遞。

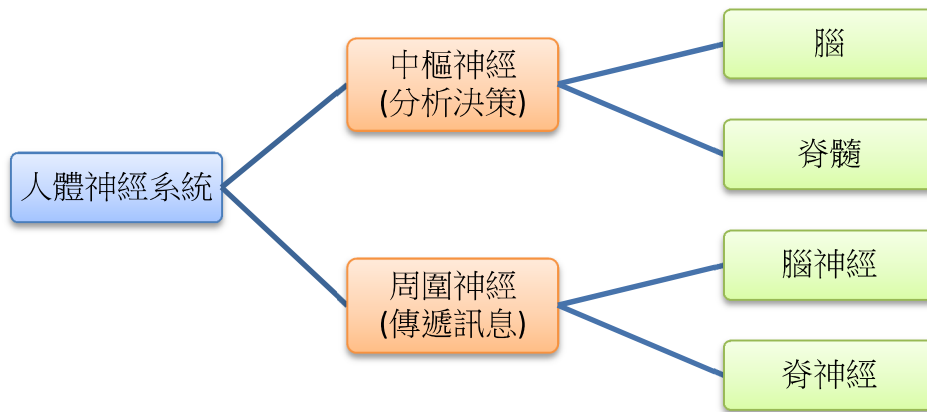


圖 1-1

當人體受器(如：耳、舌頭、鼻、眼睛、皮膚)受環境發生變化的刺激(如：聲音、化學物質、氣味、光線、觸、壓、冷、熱、痛)，感覺神經會負責將受器所接收到的刺激傳遞給中樞神經，經由中樞神經分析判斷後則會下達對應的處理命令，該命令會經由運動神經將中樞所發出的命令傳遞給動器(如：肌肉、腺體)，以對環境的刺激產生相對的反應(如：肌肉收縮、腺體分泌)，整個完整的過程就包含一連串重覆的神經傳導作用，如圖 1-2。

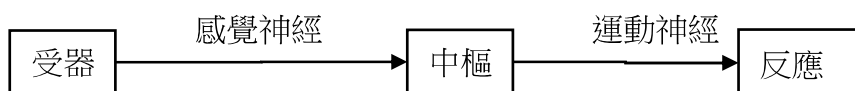


圖 1-2

我們日常所說的神經，狹義的來說指的是腦脊髓外一條條白色的神經，由一條條軸突（神經纖維）聚集而成，每條神經數千條軸突，細胞本體大多集中在中樞內，神經傳導則是由許多神經元合力完成的。神經元主要由細胞本體、樹突、軸突和突觸四部分所組成。當細胞本體收到由樹突傳來的刺激，則會經由軸突將訊息傳到突觸，而突觸則會再釋放傳導物質給下一個神經元的樹突，如此反覆經由一個一個神經元一步步傳到目的地為止，如圖 1-3 所示。

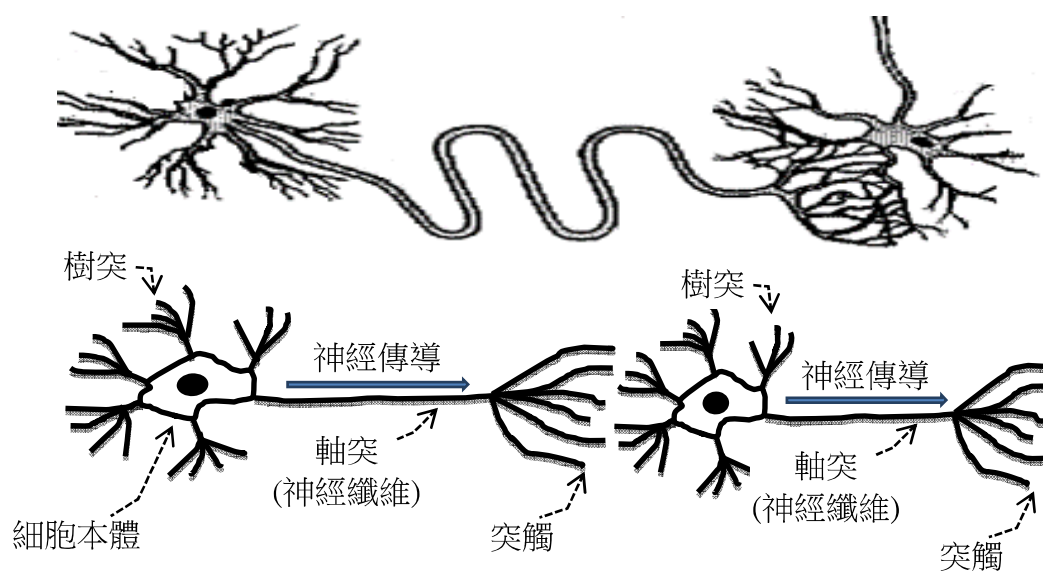


圖 1-3

1.2. 腦波的發展史

每個人無論是在運動、看書、甚至睡覺、...等等，各種不同情境下的動作行為，均可能引發一連串的腦神經細胞活動及神經元間的訊號傳導，大腦會因訊息的傳遞而產生微弱電位變化，若以精密儀器加以量測頭皮表層，則可發現頭皮表層的電位差，會因大腦神經纖維及神經細胞間神經脈衝的傳導而產生微弱的變化，電位差變化的狀況就如同波動一般，故將之稱為「腦波」。而此腦波現象的發現最早可追溯到 1875 年，英國利物浦生理學教授李察克通(Richard Carton)率先由兔子的大腦皮質表面紀錄到記錄到一種電波，若將動物進行麻醉或缺氧，電波將被破壞，甚至會在動物死亡後消失，據此推斷此電波與呼吸或心跳無關，應該屬於腦部的生理變化所產生。之後，他又發現刺激動物身體能使腦波發生變化，遂利用觀測這種變化的結果，進行身體各部位受器與大腦皮質區關係之研究，並

探討大腦皮質區的功能，成為後來神經診斷學中誘發電位（evoked potential）發展的基礎。

在李查克通發現腦波的 50 多年後，有一位德國精神科醫師漢斯伯格（Hans Berger），經過長期的研究，終於在 1929 年由人類的頭蓋骨上探測到相同的電氣活動，成為首次發表的人類腦波記錄，被稱為腦電波圖(electroencephalogram, EEG)。若將 electroencephalogram 一字分割成 electro/encephalo/gram 三段來看，即可容易的從各段字義上看出其代表的意義，其中 electro 代表“電的(electrical)”意思，encephalo 是表示“大腦的(brain)”，而 gram 則為“圖像(picture)”的意思，整個合起來的意思，所指的就是大腦活動時的電波變化圖像，在發現與量測到腦波後，透過神經電生理偵測的方式而得到腦波之各種應用的概念亦漸漸被提出。

1.3. 腦波的量測原理與腦波儀介紹

如前所述，人們不管從事任何活動時，通常都會引發大腦相對的運作，整個運作過程中，以腦神經細胞為溝通媒介，會發生一連串的神經傳導，此時，大腦神經元中的突觸會產生微弱的放電現象，以電訊號傳遞訊息，但此放電情形非常微弱，而且頭皮與突觸之間通常被多層的組織所隔離，所以，頭皮外的訊號也更加不明顯，不容易被測量，為了要順利從頭皮上採集腦波訊號，必須將透過電波訊號放大器將頭皮上的腦波訊號加強放大，才能經由腦波量測儀器擷取大腦的放電訊號。

德國貝克醫生(Dr. Beck)於 1929 年發現在頭頂上不同位置貼上兩個電極片，就可以量到人類大腦的低頻率振盪信號，此大腦中的自然頻率即所謂的「腦波」，此大腦信號的採集動作即為所謂的「腦波量測」。若物體兩點間存在電位差，則以導線互相連接將會產生電流，當電位差越大，產生的電流也越大，腦波量測所運用的原理，乃根據此電學中的基本理論，而用來量測腦波的儀器就是一般常聽到的「腦波儀」，腦波儀主要是利用檢測頭皮電位之變化來量測腦波訊號，以觀察腦部意念之活動行為。腦電波頻率介於 0.1Hz ~ 40Hz 之間，其強度通常較低，量測時必須將訊號放大，注意量測之準確度、干擾源之阻隔、電極擺設方式、雜訊之慮除及受測者身體差異、...等問題。

傳統腦波儀的方式為在腦部貼上若干電極或者配戴專用的電極帽，電極帽外形有些像碗，有些又像一個佈滿圓點的花游泳，帽上覆蓋許多電極片，如圖 1-4，看起來很不時髦。傳統腦波儀配戴時，需要在電極和頭皮上一一塗上凝膠，配戴的過程非常耗時，以 32 個檢測感應點的傳統腦波儀而言，黏貼 32 個感應點約需耗費 2 小時。因必須連接專用的測量儀器進行數據測量和分析，而且線路非常複雜攜帶不便，故通常需要在專用的實驗室進行檢測，傳統腦波儀價格非常昂貴，不易取得，設備成本和線路纏繞等種種限制，使其實用性亦大大的受到限制。



圖 1-4

(資料來源：勝宏精密科技股份有限公司)

傳統腦波儀價格昂貴且使用上也較不方便，不易普遍應用於日常生活之中，近年來美商神念科技公司(NeuroSky)設計了一系列耳機型或頭帶式方便穿戴、非侵入性乾式生物訊號感測之腦波儀設備(如圖 1-5)，相關產品主要是透過 ThinkGear™ 技術，實現對腦電波信號的採集和分析，使得腦電波數據採集不再侷限於實驗室，只需一部筆記型電腦或一支手機，就可以在任何地方即時監測到腦波數據，程序非常簡易且方便，因而各種創新的應用也隨之如雨後春筍般應運而生。



圖 1-5

(資料來源：勝宏精密科技股份有限公司)

表 1-1

項目	傳統腦波儀	NeuroSky 意念耳機腦波儀
外形	大量的電極構成的電極帽	類似標準的立體聲無線耳機
場地需求	需要在專用的實驗室進行檢測	不需要在專用的實驗室進行檢測
穿戴之方便性	需耗費很多時間黏貼檢測感應點，滿頭黏滿感應貼點	掛上耳機即可輕鬆檢測，不需黏貼檢測感應點，外形較美觀
專用測量分析設備	需配備專用的測量儀器進行數據測量和分析	採用安全舒適非侵入式乾電極技術採集腦電波信號，所有訊號處理整合於微型晶片上，不需外接專用的測量分析設備
可攜帶性	受測者、檢測感應貼點與測量分析設備間佈滿電線，電線纏繞易會絆住使用者，無法隨身攜帶，故無法隨時隨地進行檢測，可應用領域受到極大限制	採用無線傳輸技術，戴上耳機將耳機前臂電極放於前額耳夾夾於耳垂，即可進行腦電波信號的採集，可隨身攜帶隨時隨地進行檢測方便使用，應用面更靈活更廣

1.4. 腦波的特性

目前量測人類的腦波記錄可分成兩種，一是腦電波(Electroencephalogram, EEG)，測量大腦皮質的電流，大腦皮質的電流是發生在細胞外的電流，是由細胞群與其他細胞群之間的電位差形成的。另一種測量記錄為腦磁波(Magnetoencephalographic, MEG)，此概念是由「法拉第定律—電生磁」產生，當腦神經活化時產生的電子訊號會引發磁場的變化，在此所偵測到訊號的大小即為腦磁波，而本書中全部例題都以腦電波(EEG)為主，接下來將介紹腦電波的特性。

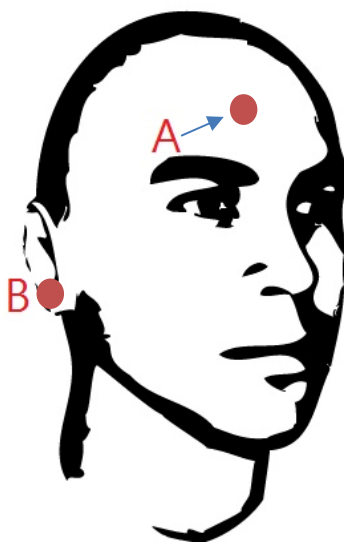


圖 1-6

腦電波圖的波形不規則，其頻率變化範圍約在 1~30Hz 之間，依頻率之不同依序由有意識狀態到無意識狀態來區分大致可分為 Beta(β 波)、Alpha(α 波)、Theta(θ 波)和 Delta(δ 波)四大類，歸納如表 1-2。其中 β 波頻率落在 14~26 Hz 間，波幅為 5~20 微伏，為一種低振幅的快速腦波，屬於有意識狀態下動作時所呈現的腦波，常出現在清醒、思考、焦慮、運算時，是一種緊張狀態波。隨著 β 波的增加，人體逐漸成緊張狀態，準備隨時因應外在環境反應，人若一直保持在高 β 波的狀況下，容易使人身心疲倦，如果沒有得到適當的休息放鬆，則容易因壓力堆積而出問題，此為現代人常出現的毛病，在醫療上，常以降低 β 波來達到鎮定的效果，例如：鎮定劑與安眠藥的使用即是。但保持在適度的 β 波狀態下，有時有助於從事某些活動，例如：適量的 β 波可提升對積極的注意力，對認知行

表 1-2

種類	頻率(Hz)	特性
β 波	14~26	β 波為優勢腦波時，對積極的注意力提升、認知行為的發展有關鍵性的幫助
α 波	8~13	α 波為優勢腦波時，腦的活動活潑，是一種適合學習與思考的最佳腦波狀態
θ 波	4~7	θ 波為優勢腦波時，意識狀態近似「入定」，可觸發深層記憶，對強化長期記憶有極大的幫助
δ 波	0.5~3	δ 波為優勢腦波時，為進入深度熟睡之無意識狀態，是影響睡眠品質好壞的重要指標腦波狀態

為的發展有所助益，這應是俗話常說：「適度的壓力有時會使人更積極」的道理。

若安靜閉目時， β 波只出現於大腦前額區，如圖 1-6 中 A 點的位置；而睜眼或進行思考時， β 波出現的範圍則較為廣泛，一般在大腦皮層處於興奮狀態時則會出現 β 波，一般人的前額腦波屬於 β 波。 α 波落在 8~13 Hz 頻率間，波幅為 20~100 微伏，為介於有意識與潛意識間的行為所量測到的波形，猶如意識與潛意識間的橋樑。 α 波在人意識清醒且身體處於放鬆狀態時， α 波會展現為優勢腦波，屬於一種鬆弛狀態波， α 波是正常成人腦電波的基本節律，會在意識清醒並閉眼身體放鬆時出現，在此狀態下身體耗能較低，腦部的能量比較高，在此腦波狀態下，為最適合學習的時機，創造及運算等類型的活動較適合在 α 波較高時進行；緊張焦慮或運動時，則會使 α 波下降，在醫療上，可利用此特性來治療焦慮、緊張等精神疾病患者，例如： α 波音樂就是一種由腦波特性的研究出來，用來讓心靈放鬆的音樂，在網路上就能夠搜尋到此類型心靈治療音樂。 θ 波的頻率則分佈於 4~7 Hz 間，波幅為 100~150 微伏，屬於潛意識行為下所反應出來的腦波，為一種忘我狀態慢速腦波，在潛意識、記憶、睏倦或在入定或冥想時身體深層放鬆的狀態下，常可量測到此波。高 θ 波出現時，對於觸發深層的記憶以及強化長期記憶的幫助很大，故研究上稱之為「通往記憶與學習的閘門」。而 δ 波的頻率落在 0.5~3 Hz 間，波幅為 20~200 微伏，為高振幅的慢速腦波，主要發生在深度熟睡時，屬於無意識動作之波形展現，是一種睡眠狀態波， δ 波為優勢腦波時，為深度熟睡無意識狀態，正常成人只有在深睡時才可記錄到這種波，故此波與人的睡眠品質好壞有非常直接的關係，但有時 δ 波也可能出現在深度麻醉或缺氧狀態下的患者身上。清醒的正常人身上一般紀錄不到 δ 波和 θ 波，成人在睏倦時，常可量到 θ 波和 δ 波，均屬於慢波。由上述各種不同意識狀態表現的組合，即形成了一個人的內、外在行為及學習上各種行為的綜合表現。近代電腦科技，已可將我們的腦波透過腦波測量儀器即所謂的「腦波儀」擷取，並將腦電波圖清楚地呈現在電腦螢幕上，各種腦波的波形圖如圖 1-7 所示，EEG 目前在臨床上的應用非常廣泛，最常使用於中風、昏迷、腦麻、癲癇等腦疾患者的追蹤檢查。

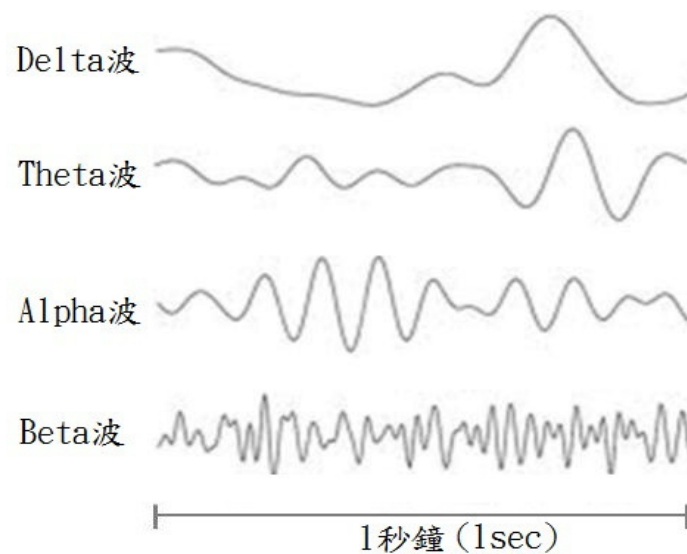


圖 1-7

目前常見之各種腦波應用主要是以量測「專注度(attention)」和「放鬆度(meditation)」搭配眨眼頻率以設計各種應用程式，進而控制各種週邊設備。所謂「專注度」是指意識的集中程度，它與 β 波有密切的關係，當身體越專注於因應外在環境反應時， β 波則會增加成為優勢波，故可依此特性，可透過科學儀器輔助學習，適度增加 β 波的百分比，以提升注意力，對認知行為的發展將有關鍵性的助益。所謂「放鬆度」則是指情緒的放鬆程度，它與 α 波有關，以平常心從事熟悉的事物時，放鬆指數會提高；閉上眼睛時也可明顯提高放鬆程度，這是因為閉眼時， α 波會增加，當 α 波為優勢波時，較能接受任何挑戰、有條理的學習並思考問題，許多優秀的運動員、科學家、企業家都能產生強大的 α 波，有人依此特性，可透過腦波儀來輔助運動員的訓練。由此可知，若能透過腦波儀有效的掌握與控制專注度和放鬆度，對特定人士的學習或生活上各種行為，將有極大的助益，下一節將介紹，目前常見之各種腦波應用。

1.5. 腦波的應用

在腦波被發現之後，腦波的偵測與分析結果即開始被應用於遊戲、玩具、

娛樂、心理評測、心理治療、教育培訓、科學研究、…等各種不同的領域中。

在醫學的領域，目前 EEG 在臨床上的應用，已經可以廣泛應用於睡眠程度之判定、精神狀態之判定、心理狀態之檢定、催眠程度之檢測和腦部疾病患者臨床疾病之檢測，例如：昏迷、中風、癲癇、腦炎等的篩檢和長期追蹤檢查上，其非侵入性的檢測方式，具有安全、方便的特性和醫療上的經濟價值，已成為各方專家學者競相投入的熱門腦科學研究議題。

接下來，將介紹目前常見之各種腦波應用：

1. 在 健 康 上 的 應 用 (From: <http://www.neurosky.com.tw/market-solutions/health-and-wellness>) :

● 心電資料收集及分析系統

神念科技開發了 iPhone 手機外殼，將其套上手機後，只需將兩個手指輕觸外殼上的兩個電極，即可隨時隨地量測並記錄使用者完整的心電資訊，並可將心電資訊透過電子郵件發送給醫生及家人，史丹佛醫學院透過資料收集及分析進行演算法認證，同時開發更具創意的應用軟體。



● 腦波禪燈(Brainwave Zen Lamp)

腦波禪燈是世界上第一顆隨著情緒變化顏色的 LED 光球，能夠準確偵測腦波並加以分析，將所測的數值用顏色來呈現，隨著放鬆度增強，光球顏色將由紅轉紫，透過簡單明瞭的顏色顯示，可以清楚的知道自己的放鬆程度，

腦波放鬆燈可以讓人更直覺的觀注內在情緒變化。



2. 在教育上的應用(From: <http://www.neurosky.com.tw/market-solutions/education/>)

● ADHD 注意力不集中衝動控制訓練研究

2009 年澳洲臥龍崗大學 University of Wollongong 做了一個大規模的實驗，針對 128 個兒童進行五個星期的專注力與衝動控制訓練，這 128 個兒童中有一般兒童以及經診斷為亞型注意力不集中型過動症 ADHD 兒童，並把這些兒童分為實驗組、比較組與對照組三組。比較組接受一般傳統專注力訓練，對照組則不加以訓練，實驗組則採用神念科技腦波耳機施以訓練。當實驗組的兒童戴上腦波耳機，訓練隨即展開，它是一種經由腦波操控軟體的訓練方式，在與遊戲軟體的互動過程中，隨時顯示兒童的專注狀態與放鬆狀態，並適時給予兒童提示及回饋。實驗結果發現，搭配腦波耳機與遊戲互動訓練後，對注意力不集中型的過動兒童在行為上以及學習能力上都有改善。

● 腦機介面技術在學術研究上的應用

神念科技提供世界上最便宜的研究級非侵入式、乾式電極腦波耳機，透過藍牙可以與 iOS 和 Android 行動設備和 Windows 和 Mac 作業系統相連接。提供完整的測量數據原始腦電波、處理並輸出 EEG 腦電波 α 波、 β 波等，處理並輸出 NeuroSky 的專利 eSense 專注度、放鬆度、眨眼訊號。無論是小學生或是中學生的科學創意競賽，乃至於大學的研究專題，神念科技腦機介面平台，所提供的軟體開發工具以及硬體測試平台，可協助學術界創新應用的開展以及研究成果產出。

3. 在娛樂上的應用 (From: <http://www.neurosky.com.tw/market-solutions/enter-tainment>)

- 貓の秘密(necomimi)

“貓の秘密 necomimi”是透過先進的腦電波技術製作而成的腦波貓耳朵，期望透過超萌的貓耳，與朋友分享您內心世界的真實反應！例如：對什麼事物感到興趣的、有什麼事物能使您放鬆，讓 necomimi 和您同步做出反應。Necomimi 為在東京發想，於矽谷設計，希望透過貓耳來傳達不善於表達自己情緒又愛貓的民族心中的秘密，此為利用高科技生物傳感器偵測腦波，透過所設計的演算法演繹出注意力集中或放鬆，只要帶上 necomimi，宛如化身成一隻貓，一對耳朵會隨著配戴者的情緒改變而轉動，讓內心的感覺表露無遺，告訴周遭的人你的心情、你在想什麼，不僅可達到和外界溝通的目的，也可以透過控制耳朵來訓練調整情緒、學習放鬆療癒、冷靜專注。necomimi 貓の秘密是一個智能貓耳，高科技腦波晶片應用和動漫商品的結合，在日本動漫展上市成為秒殺商品。



- 意念球場(MindFlex & MindFlex Duel)

意念球場是和美國最大玩具公司美泰兒公司 Mattel 聯合開發的創意玩具，可讓你具有隔空移物的能力，為一種寓教於樂的玩具，可讓孩子在遊戲競賽中，透過回饋學會專注或放鬆，曾獲得時代雜誌評選為自 1923 年以來最具影響力的百大玩具之一。



除了上述所介紹的各種應用之外，目前有各式各樣的腦波產品與應用軟體正被廣泛的開發出來，因本書著重在腦波應用程式撰寫的教學上，在此僅簡單介紹幾種神念科技官網上所介紹的產品與應用，以達拋磚引玉之功效，有興趣的讀者可自行上網搜尋，很容易找到相關訊息，在此就不多做贅述。

參考資料：

1. 豆丁网
<http://www.docin.com/p-598402364.html>
2. 台北榮民總醫院教學研究部-整合性腦功能研究室
<http://ibru.vghtpe.gov.tw/eeg.htm>
3. 數位典藏與電子報
<http://newsletter.teldap.tw/news/InsightReportContent.php?nid=6121&lid=706>
4. 國立台灣大學
<http://web.phys.ntu.edu.tw/asc/FunPhysExp/ModernPhys/exp/EEG.pdf>