

教育科學研究期刊 第五十七卷第二期
2012 年，57 (2)，1-23

以事件相關腦電位探討二維和 三維圖形辨識之研究

劉寶元

國立高雄師範大學
科學教育研究所

劉嘉茹

國立高雄師範大學
科學教育研究所

摘要

本研究旨在以事件相關腦電位探討二維與三維圖形辨識作業的腦機制，以瞭解不同維度的圖形辨識中大腦運作的異同。研究分別以二維和三維圖形設計任務刺激進行實驗，並同步蒐集受試者之腦波進行離線分析。研究對象為 20 位自願參加的高中職學生。研究結果發現，二維圖形的答對率優於三維圖形，反應時間也比三維圖形短；二維與三維圖形在中線區的 N1 振幅和 P300 振幅有差異；在枕顳區的 P1 振幅與潛伏期有差異。因此，研究推論由視網膜傳遞不同維度的視覺訊息在視知覺的成分上已經有差異，三維圖形在視網膜上不僅只是投射二維的視覺訊息，而是有更多的視覺訊息誘發大腦的運作。本研究提供圖形辨識歷程神經生理的證據。

關鍵字：二維圖形、三維圖形、事件相關腦電位、圖形辨識

壹、緒論

二維 (two-dimensional, 2D) 和三維 (three-dimensional, 3D) 圖形所呈現的視覺刺激有很大的差異性。3D 形狀所呈現的光學刺激型態 (pattern) 具有模稜兩可的特質，因此科學家與神經心理學者都致力於瞭解人們是如何知覺 3D 圖形的，目前心理物理學者研究發現，3D 形狀的知覺可能是基於定性的觀點；而神經心理學者發現，3D 圖形的神經處理廣泛地分布在背側與腹側通道上，欲瞭解 3D 圖形的知覺與認知還需要更進一步的研究 (Todd, 2004)。在科學的領域中，2D 和 3D 兩種次微觀 (submicroscopic) 層次表徵 (Gilbert, 2008) 是科學教學與學習經常使用的視覺表徵類型，而不同層次的視覺表徵在科學學習上具有不同的意義，學生必須能夠藉由不同的表徵來促進學習 (Kastens, Agrawal, & Liben, 2009)。然而，認知心理學者在視覺系統對於 3D 影像的知覺與辨識的相關研究卻十分缺乏 (Mitsuoka et al., 2005)。近年來，研究腦神經科學相關儀器的發展與應用，提供了研究視覺神經系統運作的利器。因此，本研究主要目的在以事件相關腦電位 (event-related potentials, ERPs) 探討 3D 與 2D 圖形辨識的腦機制。

一、圖形辨識對科學學習的重要性

「辨識」是將外界訊息與個人長期記憶中所存訊息相互比較，比較過程順利表示能辨識此物，反之則否 (鄭麗玉, 2009)。心理學者曾對圖形表徵辨識與其歷程進行研究，但是研究的重點偏重受試者的反應時間為主的探討。如 Shepard 與其研究團隊 (Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Metzler, 1971) 利用立體方塊圖形進行心像旋轉作業研究後，提出受試者在圖形的內在訊息處理歷程中可以分為登錄刺激、旋轉刺激、比較刺激及反應四個階段。他們認為人具有想像物體旋轉的能力，在操弄的過程中需要一定的反應時間，可能就類似於真實世界中物體轉動的方式，此實驗設計成功地探測心像操弄的過程，也提供了一個測量心像的客觀量測法，之後可以觀測腦部活動的相關技術 (如 ERPs 和 fMRI (functional magnetic resonance imaging)) 之發展，也依循此實驗設計想要一窺心像內在運作的方式。然而，心像表徵的相關研究與結論仍存在著很大的爭議 (Barba, Rosenthal, & Visetti, 2002; Kosslyn, 1994)。

「圖形辨識」是指外界特定的刺激與受刺激者的知識與經驗產生交互作用後，才可產生圖形辨識，進而促進某些知識的獲得。圖形辨識的能力是進行科學學習所需具備的重要能力之一。例如對於生物科學習而言，學習者必須具有圖形表徵的瞭解與處理，更需要掌握不同類型圖形的形狀與細節，進而融會貫通圖形表徵所隱含的意義才能夠有好的辨識成效，由此可知學習者的圖形表徵辨識歷程是學習成效與否的關鍵因素之一 (林玉雯、黃台珠、劉嘉茹, 2010)。而對化學學習而言，在探討分子、原子等粒子現象時，化學家發展出許多表徵，提供了化學家視覺的思考以及利用視覺表徵快速地傳遞訊息。這些視覺形象與表徵也幫助學生化

學的學習及思考，不論國中生或大學生的化學教科書，都是利用相同的視覺表徵方式來介紹化學概念 (Wu & Shah, 2004)。Martinez Peña 和 Gil Quilez (2001) 針對大學生的天文學研究也發現，教科書中有豐富的圖像並不一定總是有利於概念的理解。因為有許多因素會影響科學的學習，當學生缺乏太陽／地球／月球模型概念時，他們無法建構太陽／地球／月球的模型，因此當複雜的圖像與學生的解釋能力並不符合，也許也會妨礙學生的學習。因此，欲提升學生科學學習的成效，瞭解學生圖形理解與辨識的歷程實為重要。

二、圖形辨識的相關研究與爭議

靈長類的視覺皮質區在視知覺上扮演主要的角色，幾乎所有來自視網膜的信號都會先通過這個區域，然後再前進到其他專司不同視覺處理層面的區域 (Zeki, 1993)。就知覺理論而言，存在著幾個不同的派典 (Eysenck & Keane, 2000)：(一) 間接知覺理論認為知覺必須仰賴許多內在歷程，是由概念所驅動的歷程而非直接源自於刺激；(二) 直接知覺理論認為視覺環境所提供的訊息已經足夠讓人與該環境直接進行互動，無須涉及內在歷程和表徵；(三) 整合理論認為上行與下行歷程的相對重要性取決於各種的因素，當情境良好時視知覺取決於上行歷程為主，當刺激不夠清楚時需要下行歷程。而 Posner (1980) 指出圖形的瞭解包含了上行 (bottom-up) 和下行 (top-down) 的歷程，上行的處理主要是受圖形引導、是自動化的歷程；下行處理是有意識的，受到基模的知識和意圖的控制，兩者的交互作用才能達到圖形理解。由此可知，對於圖形辨識的腦神經機制上存在著不同的觀點與爭議。在本研究中，主要是進行刺激前後圖形的辨識，並不需要對圖形進行理解，賦予意義，為了避免受試者將圖形意義化影響實驗的結果與推論。因此，本研究的 2D 與 3D 圖形以幾何方塊的組合為素材，並且選取組合後無抽象意涵的圖形作為實驗素材。本研究假設受試者在實驗過程中的腦波變化主要是受到不同維度圖形誘發的差異，是屬於上行的處理歷程。

Shepard 和他的研究夥伴以 3D 的立體圖形設計實驗，以瞭解受試者心像旋轉作業的結果。研究結果發現，受試者的反應時間與兩圖形呈現的角度差異之線性的關係，而此研究結果說明心像旋轉作業與真實的物理世界的物體旋轉有相似的結果 (Cooper, 1975; Cooper & Shepard, 1973, 1975; Shepard & Cooper, 1982; Shepard & Metzler, 1971)。晚近的研究發現，圖形的複雜度增加時會影響受試者的反應時間，圖形愈複雜，受試者的反應時間愈長，但是圖形複雜度增加，反應時間並不隨著前後兩圖形角度差異愈大而增加，也就是說，圖形的複雜度並不會影響反應時間與角度的斜率關係 (周泰立、陸偉明、鄭秋瑾、吳瑞屯, 1996; 韓承靜、洪蘭、蔡介立, 2010; Cooper & Podgorny, 1976)。然而 Shepard 與 Metzler (1988) 利用 2D 圖形和 3D 圖形進行心像旋轉的研究，發現 3D 旋轉的反應時間要比 2D 旋轉的反應時間慢得多，由旋轉角度與反應時間的線性關係圖發現 3D 圖形的截距都比 2D 圖形大，但是兩者的斜率卻是相同的，因此推論空間向度上的差異在圖形辨識歷程中僅影響登錄刺激與比較刺激兩個階段。

據此，本研究設計 2D 與 3D 圖形嘗試時，考量到旋轉角度效應可能影響圖形辨識歷程中旋轉刺激的時間，進而影響整體的反應時間之差異，故在實驗設計時 2D 與 3D 兩者均旋轉一致的角度，避免角度效應對研究結果的影響。在實驗設計與實驗素材上，Shepard 與 Metzler 以兩個刺激分別呈現的方式設計一組嘗試，並要求學生回答前後是一致的圖形或者是前後是相互鏡射的圖形，但是 Dellantonio 與 Spagnolo (1990) 指出，當受試者在判斷鏡射圖形的反應時除了會運用空間旋轉的策略之外，還可能使用其他的策略進行作業的要求，因此在本研究設計：受試者回答「一致」表示啟動刺激與探測刺激是相同的圖形；回答「不一致」則表示啟動刺激與探測刺激是不相同的圖形。而本研究在腦波成分的討論中，也主要聚焦在圖形辨識階段—圖形登錄，探討 2D 與 3D 圖形在視覺知覺在腦波的差異。

三、應用 ERPs 探討圖形辨識的優勢及 ERPs 成分

腦電波 (electroencephalogram, EEG) 是指藉由電極從頭皮記錄連續的腦電位變化，人類腦波的振幅約為 10~100 μV ，事件相關電位是以特定的物理事件或心理事件，在時間上相關的腦波變化，這種電位可以被顱外電極記錄，並憑藉濾波和信號疊加的技術，從腦電信號中被提取出來。此測量的技術是一種非侵入性的測量，已經變成實驗科學領域經常使用的工具 (Eimer, 1998; Luck, 2005)。此外，此技術具有毫秒的時間解析度，可提供連續性的資料，是一種多向度的測量，所記錄的腦波訊號可以有各種形式的變化，從事件相關電位的變化可反映內在認知歷程的變化，提供相關研究與神經生物連結的資料。

由許多有關視覺皮質的研究，目前已經清楚地知道，視覺訊息需要到達顱頂葉的聯合區才能夠進行視覺的重認 (recognition) 和視覺空間知覺，然而兩者複雜的神經系統卻還有許多未知的部分。目前已知有兩個主要的纖維束，從枕葉皮質並投射到大腦中，分別是處理視覺訊息的空間知覺的 where 和物件知覺的 what 兩個神經系統：where 的神經系統稱為背側通道 (dorsal pathway)，從主要視覺區 V1-V2-V3 往上由背側傳遞到頂葉皮質，主要功能是處理空間知覺訊息，進行空間特性的分析；what 的神經系統稱為腹側通道 (ventral pathway)，從主要視覺區 V1-V2-V3-V4 往下傳遞到顱葉，主要功能是處理物件辨識，進行物體特質的分析 (Goldstein, 2002; Ungerleider & Mishkin, 1982)。因此視覺輸入是沿著兩個各自獨立的皮質路徑進行處理，腹側和背側子系統又同時到達聯合記憶區，如果視覺記憶的輸出和聯合記憶的模式獲得良好的配對，則觀察者就可以知道物體的名稱及種類 (Goodale & Milner, 1992)。認知神經學者也已經將大腦特定區域與特定的認知歷程連結，如：枕葉與視覺處理、空間工作記憶的功能有高度的相關性；額葉、頂葉與注意力有關聯 (Kosslyn & Koenig, 1992)；空間作業則激發額葉皮質區、枕葉以及頂葉 (Smith, Jonides, & Koeppel, 1996)。由以上的文獻可以發現對於視覺影像相關電位的分析，需要藉由不同腦區的比較分析才能夠瞭解 2D 與 3D 圖形的作業差異。故本研究中選取中線區不同部位：額葉 (Fz)、腦中央 (Cz)、頂葉 (Pz)，

以及枕顳葉不同部位：左腦枕葉（O1）、左腦顳葉（T5）、右腦枕葉（O2）、右腦顳葉（T6）做進一步的分析比較（圖 1）。

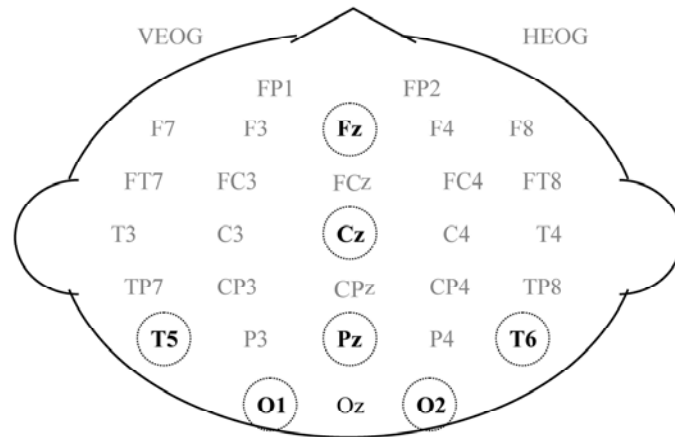


圖1. 電極帽上電極點的位置分布。圖形辨識歷程中N1和P300主要誘發中線區的Fz、Cz和Pz電極點；P1主要誘發枕顳葉的O1、T5、O2和T6電極點。

ERPs 的 N1 波幅有許多的次成分（subcomponent），有些出現在頭顱前部的電極位置，也可能出現在頂葉皮質，也可能在側枕葉皮質產生（Luck, 2005）。ERPs 的 N1 成分可以作為辨別任務（discrimination process）的指標（Luck, 2005; Vogel & Luck, 2000; Wang & Bingo, 2010; Wang & Kameda, 2005; Wang & Suemitsu, 2007），也就是在辨識任務中會產生較大的 N1 振幅。Wang 和 Kameda（2005）利用分別呈現的任務方式來瞭解 3D 物件的視覺辨識作業，並藉以推論 2D 物件與 3D 物件是辨識作業的差異，研究結果發現，在大腦後部（posterior）Pz 的 N1 振幅在 3D 物件相同視角的情況下比在不同視角的情況下大很多，在潛伏期則沒有差異。研究也指出，N1 和視覺敏感度的連結有顯著的相關，也就是作業的難易程度有關。此研究的設計可以讓我們瞭解到辨識作業中對不同刺激的影響，但此研究只有針對 3D 圖形進行研究相同視角與不同視角進行實驗，並未比較 2D 與 3D 圖形的辨識作業的差異。因此本研究針對 N1 部分，選取額葉的 Fz 電極點、腦中央的 Cz 電極點以及頂葉的 Pz 電極點進行腦波的分析，以瞭解 N1 子成分的差異。

ERPs 的 P1 成分則是在刺激呈現之後，在側枕顳葉電極點出現的最大正向峰值，與視覺選擇注意有關（Handy, 2005; Kasai, Morotomi, Katayama, & Kumada, 2003）。在注意與非注意以及 2D 空間位置對於遠、近變項的影響研究中指出，當注意力直接聚焦在空間位置時，P1 振幅會變大，可能與早期空間選擇的影響有關（Kasai et al., 2003）。Luck（2005）統整相關研究指出，刺激的對比差異會使得 P1 潛伏期有很大差異。Omoto 等（2010）的研究也發現，P1 的視覺誘發電位會受到 3D 圖形的深度知覺的影響。由大腦的視覺處理是先誘發枕葉活化，再

到頂葉與顳葉皮質，因此本研究針對早期腦波 P1 成分選取枕葉的 O1、O2 電極點，以及顳葉的 T5、T6 電極點進行腦波的分析，並藉以比較左、右腦區誘發的 P1 成分差異。

P300 與抉擇、判斷等認知功能密切相關。當受試者更專注於作業任務的時候，會誘發較大的 P300 的振幅，因此 P300 的振幅可以被使用作為量測心智資源分配的工具。當受試者對於刺激不確定是否為目標或非目標時，P300 振幅會變小。因此，當作業難度增加時，受試者若能確定刺激物的類別時，振幅會增加；但是若無法確定刺激類別的可靠性，振幅會變小（Luck, 2005）。Mecklinger 和 Pfeifer（1996）利用簡單形狀作為刺激物，藉以比較物件與空間工作記憶的大腦運作模式的異同，由研究結果發現，P300 在物件任務中以頂葉電極區的平均振幅最大，空間任務在前後腦區並沒有顯著差異。因此他們推論，P300 與物件編碼的運作有相關。Mecklinger 與 Meinshausen（1998）更進一步探討新／舊物件相互比較的研究發現，物件在提取階段會引發 P300 以及晚期慢正波的變化，並且發現 P300 與記憶訊息的可區辨性有關，也就是可辨識性高的物件在頂枕葉區會誘發較大的 P300 振幅。

由文獻探討發現，中線區的 Fz、Cz、Pz 的 N1 與 P300 以及枕顳葉的 O1、T5、O2、T6 之 P1 可能與 2D 和 3D 圖形的辨識歷程有關，因此，本研究依以上的文獻提取相關的峰值，並進行多因子變異數分析，以期能夠對大腦對 2D 與 3D 圖形辨識有完整的分析與探討。

貳、研究方法

本研究是以 2×2 的實驗，依據維度（2D、3D）和一致性（一致、不一致）設計兩個嘗試來進行研究。為了避免圖形所蘊含的意義影響圖形辨識結果，本研究的圖形設計採用不具意義的幾何圖形為實驗素材，並且盡量選取不具有想像成抽象圖作為實驗材料。兩個實驗材料的組數相同，均為 120 組的嘗試（trials）、實驗程序依 Shepard-Metzler 的空間旋轉實驗設計（詳細設計請看實驗材料），以分別呈現的方式進行實驗。

一、研究對象

20 位 16~18 歲的高中職學生（10 位男生、10 位女生，平均年齡 17 歲）自願參與實驗，全部學生均為右利手、視力在矯正之後均為正常，且都是在學的高屏縣市的高中職學生，所有受試者均簽署參與研究的同意書，並取得家長同意才參與實驗。

二、實驗材料

本實驗材料分為 2D 與 3D 圖形，分別設計做成 120 組嘗試（圖 2）。2D 圖形由 7 個大小相同的小矩形組成的圖形，共製作 10 個標準圖形，這 10 個標準圖形以順時針的方式旋轉，每 30 度為一個旋轉單位共可以得到 120 個圖形，選取製作完成的 120 個 2D 圖形隨機地進行

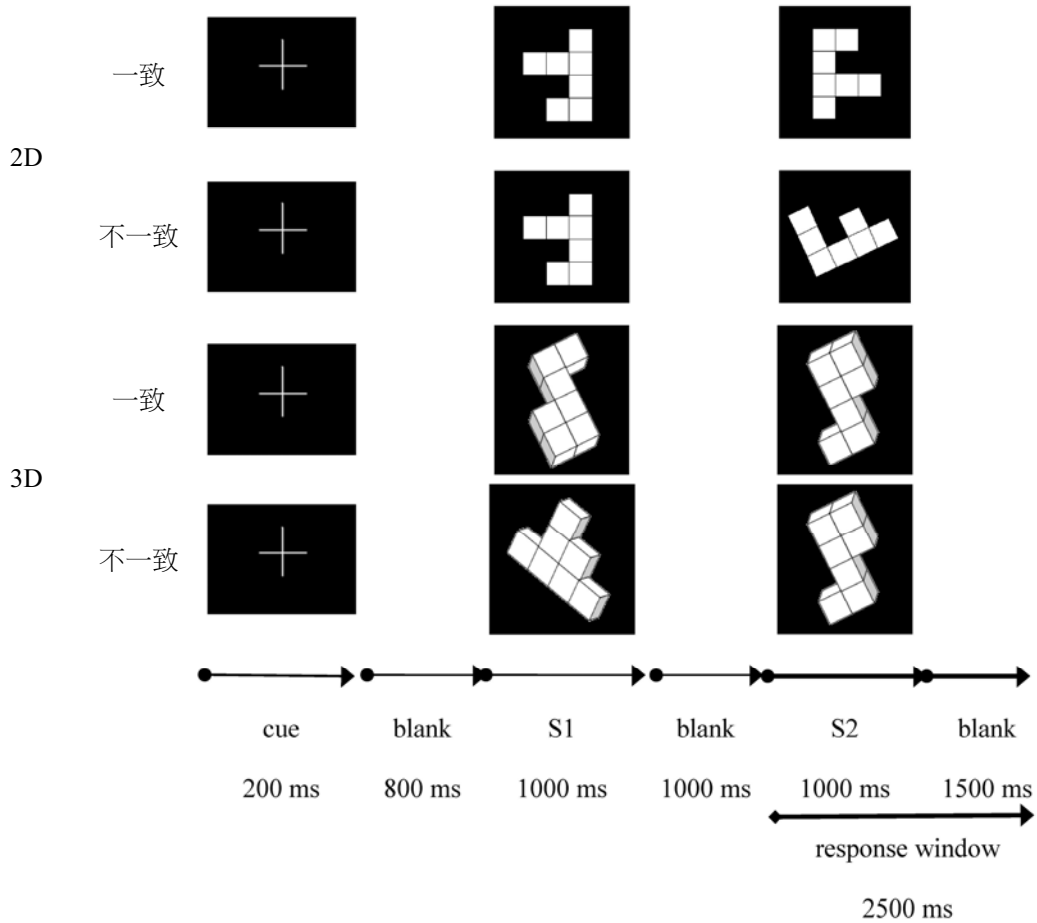


圖2. 2D與3D圖形，「一致」與「不一致」嘗試材料的設計及呈現流程。在文本中以白色＋方便列印；在實驗室的螢幕中以紅色＋呈現。

嘗試题目的組成，其中有 60 組為「一致」的嘗試，也就是啟動刺激與探測刺激的圖形是相同圖形（但是可能有呈現角度不同），另外 60 組為「不一致」的嘗試，亦即啟動刺激與探測刺激的圖形是不相同的。例如在圖 2 中，2D 的「一致」嘗試中，啟動刺激和探測刺激二個圖形是相同的圖形，只是呈現角度相差了 180 度，所以受試者需按按鍵器「1」來回應；2D 的「不一致」嘗試，受試者需按按鍵器「4」來回應。3D 圖形由 7 個立體小方塊所組成的圖形，共製作 10 個標準的圖形，這 10 個標準圖形以順時針的方式旋轉，每 30 度為一個旋轉單位共可以得到 120 個圖形，製作嘗試的方式與 2D 圖形的製作方式相同。進行實驗時，圖形呈現於螢幕正中央位置，背景為黑色，提示刺激為紅色十字，大小為 15 mm × 15 mm，啟動刺激與探測刺激為白色 2D 與 3D 圖形，大小為 50 mm × 50 mm。由於本研究主要探討 2D 和 3D 圖形的變項差異對腦波的影響，因此 2D 與 3D 圖形以垂直紙面的 Z 軸進行順時針方向的旋轉，以確保圖

形的結構相同。且本實驗 2D 與 3D 圖形每個嘗試的啟動刺激與探測刺激的角度均進行比對，以達到一致。舉例而言：2D 圖形的啟動刺激是 0 度；探測刺激是 180 度，則 3D 圖形的啟動刺激亦是為 0 度；探測刺激也是 180 度，以避免旋轉角度不同，影響 2D 與 3D 圖形辨識的結果。

每組嘗試呈現的流程為：提示刺激（紅色「+」，呈現 200 ms）、間隔（黑幕 800 ms）、啟動刺激（呈現 1000 ms）、間隔（黑幕 1000 ms）、探測刺激（呈現 1000 ms）、間隔（黑幕 1500 ms），允許的反應時間為探測刺激出現後 2500 ms，整個嘗試呈現的時間共 5500 ms，製作完成的嘗試「一致」與「不一致」的嘗試是以隨機的方式呈現。

三、實驗設備

實驗儀器分為刺激呈現與腦波記錄兩部分，其中刺激呈現以 NeuroSCAN 公司開發的 STIM 2 軟體設計呈現刺激，並且以 Pentium III 14 吋液晶螢幕的桌上型電腦一臺，並且外接回答按鍵器讓受試者做反應。在此實驗中，答案是「一致」用左手按按鍵器「1」，答案是「不一致」用右手按按鍵器「4」，刺激呈現的順序與回應結果同步記錄在 STIM 2 的電腦中，可以根據資料進行答對率與反應時間的結果分析。

研究使用 SynAmps/SCAN 4.4 放大器記錄 32 電極點之腦電波（EEG），頭帽的電極點位置是依據國際 10-20 系統排列，每個電極點的電阻在實驗時控制在小於 5 k Ω 。以耳後雙側乳突電極點連線作為參考電極，並記錄左眼上下的垂直眼電（vertical electrooculogram, VEOG）以及兩眼外側 20 mm 處記錄水平眼電（horizontal electrooculogram, HEOG），以便在腦電波的資料處理上去除眼動所造成的干擾。為避免電波與聲音的干擾，實驗時在有銅網屏蔽的隔音房間進行，並且調整室內的光線與溫度在受試者最感到舒服的狀態下進行實驗。受試者距離刺激呈現的螢幕中央約 1.2 公尺，使其視覺角度能夠正好看清楚螢幕呈現的刺激，避免眼睛水平與垂直的移動影響腦波資料的蒐集。

四、實驗設計

本研究施測的流程為 2D 與 3D 圖形分別施測的方式。2D 與 3D 圖形的施測時間各約 30 分鐘（與學生反應時間的長短會有所差異），受試者接受 2D 圖形施測之後，為避免疲勞效應，讓受試者休息 15 分鐘，之後再進行 3D 圖形的施測。為了使受試者瞭解答題的方式與規則，2D 與 3D 圖形各抽取 4 組嘗試（一致 2 組、不一致 2 組）作為說明，並且讓學生進行練習，以確定每位學生瞭解答題規則與答題操作方式之後再進行正式的實驗。

開始進行正式實驗之前，螢幕上會先出現實驗的指導語：「請您看著螢幕的中間位置，身體與頭盡量不要動，當看到紅色十字表示題目開始，第一個刺激與第二個刺激是一致的時候，請用左手按 1、第一個刺激與第二個刺激是不一致的時候，請用右手按 4。第二個刺激圖形出現之後請盡可能快的做回答」。本研究資料分析主要針對刺激一致且答題正確的結果進行行

為資料以及 ERPs 成分進行分析，因此，以相同手進行按鍵答題。

五、資料蒐集與分析

實驗進行時同步記錄行為資料與連續的腦波資料兩個部分：行為資料的部分記錄每個嘗試中圖形的呈現時間以及受試者的答題時間及按鍵反應；腦波資料的部分則是以每秒 10000 個採樣點連續記錄實驗之 EEG 資料，EEG 資料可以呈現每個電極點的腦波振幅並且同時標記每個嘗試的代號以及反應按鍵的代號，以便進行之後的離線分析。在受試者完成實驗後，實驗數據取自探測刺激開始的腦波與行為結果進行分析。其中答對率選取刺激為「一致」且受試者答題「正確」的資料進行統計分析，並以百分率表示之。反應時間是指探測刺激開始到受試者按壓反應鍵的時間，在本研究中選取刺激為「一致」且受試者答題「正確」的資料進行平均，若答題不正確則剔除該筆反應時間資料。事件相關電位數據分析以 Neuroscan 4.3 軟體並根據 SCAN 4.3 操作手冊進行同步紀錄之 EEG 資料的離線分析，相關分析之操作流程分述如下：

(一) 合併資料：將行為資料與 EEG 資料進行合併 (merge)，以便提取刺激為「一致」且受試者答題「正確」之腦電波 (Luck, 2005)。

(二) 眼動校正：以記錄之 HEOG 和 VEOG 去除水平眼動以及眨眼所引發之干擾 (Luck, 2005)。

(三) 切割分段：以探測刺激前 200 毫秒 (ms) 及刺激後 1000 ms 共 1200 ms 作為範圍 (interval) 進行分段 (epoch)。

(四) 基線校正：以事件進行前 200 ms (-200 ms~0 ms) 為基準進行分段腦波之基線校正。

(五) 排除干擾：排除波幅在 $-100 \mu\text{V} \sim 100 \mu\text{V}$ 範圍以外之腦波 (Luck, 2005)。

(六) 濾波：以 30 Hz/12 dB 的無相位移低通 (low-pass) 進行濾波，並且排除 60 Hz 之交流電的干擾。

(七) 平均分析：選取刺激為「一致」且學生答題「正確」的探測刺激進行疊加平均，由於學生的答對率均在 70% 以上，因此得到的事件相關電位 (ERPs) 腦波至少都有 40 次的疊加平均。

(八) 選取峰值：以進行 2D 與 3D 圖形的早期視知覺成分 P1、N1 峰值 (peak) 的提取，P1 的時間間距 (time windows) 介於 70 ms~140 ms (Omoto et al., 2010)；N1 的時間間距介於 70 ms~170 ms (Vogel & Luck, 2000)；P300 的時間間距介於 280 ms~500 ms。

(九) 在中線區選取 Fz、Cz、Pz 三個電極點，提取早期視知覺成分 N1 與晚期的 P300 成分，進行 2×3 [圖形，電極] 之相依樣本二因子變異數分析 (2-way ANOVA)。在枕顳區選取右腦的 T6、O2 及左腦 T5、O1 四個電極點，提取早期視知覺成分 P1 進行 2×2×2 [圖形，

腦區，電極〕之相依樣本三因子變異數分析(3-way ANOVA)，並且以 LSD 進行事後比較分析。

參、研究結果與討論

一、2D 與 3D 圖形的辨識作業在答對率與反應時間有差異

本研究從一致的嘗試中提取答題為正確之結果進行平均反應時間及答對率，以瞭解 2D 與 3D 圖形辨識的表現差異，並進行相依樣本 t 考驗來檢定平均反應時間及答對率的結果，如表 1 所示。

表 1

答對率與反應時間 t 考驗摘要

變項	維度	平均數 (標準差)	t 值
答對率	2D	91.59 (7.53)	3.28*
	3D	85.79 (11.62)	
反應時間	2D	740.70 (188.86)	-2.17*
	3D	789.92 (195.45)	

* $p < .05$.

20 位學生在 2D 圖形的平均答對率為「 $M=91.59\%$, $SD=7.53$ 」, 3D 圖形的平均答對率為「 $M=85.79\%$, $SD=11.62$ 」, 2D 與 3D 圖形的答對率差異達顯著水準 $t(20)=3.28, p < .05$, 2D 的答對率顯著優於 3D 的答對率。2D 圖形的平均反應時間為「 $M=740.7$ ms, $SD=188.86$ 」, 3D 圖形的平均反應時間為「 $M=789.92$ ms, $SD=195.45$ 」, 2D 與 3D 圖形的反應時間差異達顯著水準 $t(20)=-2.17, p < .05$, 2D 圖形的平均反應時間比 3D 圖形的平均反應時間快。

由答對率與反應時間的分析結果可以發現，2D 圖形的反應時間比 3D 圖形的反應時間快，此研究結果與其他學者在心像旋轉的相關研究結果相似(周泰立等, 1996; Roberts & Bell, 2003; Shepard & Metzler, 1988)。Shepard 與 Metzler (1988) 認為，刺激的本質因素(空間向度的差異)使得在圖形辨識歷程中刺激登錄與刺激比較兩個階段需要較長的時間。周泰立等(1996)利用刺激複雜度與呈現方式進行心像旋轉的研究發現在分別呈現的實驗設計發現空間向度對於登錄刺激階段的影響達到差異的顯著水準，而且可能也會影響旋轉刺激與比較刺激兩個階段。此外，韓承靜等(2010)針對圖形複雜度與整合性的研究也發現圖形複雜度高的反應時間較長，反之則較短。然而大多數的研究討論都忽略答對率的比較，本研究中發現 2D 與 3D 的答對率差異也達顯著水準，此結果與周泰立等人的研究相同，故可以推論學生在 2D 圖形的辨識與 3D 圖形的辨識有差異，2D 圖形的複雜度比 3D 圖形的複雜度低。

二、2D 與 3D 圖形會造成腦波的振幅與潛伏期的差異

(一) 中線區的 N1 腦波

本研究的 N1 峰值係提取中線區 Fz、Cz、Pz 三個電極點之平均腦電波。表 2 的統計結果是 N1 的振幅與潛伏期在 Fz、Cz、Pz 三個電極點的平均統計結果。

表 2

N1 在 Fz、Cz、Pz 電極點的平均振幅（標準差）與平均潛伏期（標準差）

維度	電極點	振幅（單位： μV ）	潛伏期（單位：ms）
2D	Fz	-5.45 (2.37)	103.75 (13.02)
	Cz	-5.21 (2.49)	108.30 (19.90)
	Pz	-2.97 (2.20)	101.30 (32.03)
3D	Fz	-7.24 (2.85)	120.50 (29.93)
	Cz	-6.98 (1.98)	109.75 (12.59)
	Pz	-1.90 (3.09)	104.15 (34.19)

實驗結果在 N1 振幅與潛伏期進行維度（2D、3D） \times 電極點（Fz、Cz、Pz）之二因子變異數分析，分析結果發現，N1 振幅在維度與電極點的交互作用有差異達顯著水準， $F(2, 38) = 9.58, p < .001, \eta^2 = 0.34$ 。進一步分析單純主要效果檢定。發現不同維度在各電極點差異達顯著水準。在 Fz 位置 $F(1, 19) = 7.81, p < .05, \eta^2 = 0.29$ ，2D 的振幅（ $-5.45 \mu\text{V} \pm 2.37$ ）明顯小於 3D 的振幅（ $-7.24 \mu\text{V} \pm 2.85$ ）；在 Cz 位置 $F(1, 19) = 13.46, p < .05, \eta^2 = 0.42$ ，2D 的振幅（ $-5.21 \mu\text{V} \pm 2.49$ ）明顯小於 3D 的振幅（ $-6.98 \mu\text{V} \pm 1.98$ ）；但是在 Pz 位置 $F(1, 19) = 4.50, p < .05, \eta^2 = 0.19$ ，2D 的振幅（ $-2.97 \mu\text{V} \pm 2.37$ ）明顯大於 3D 的振幅（ $-1.9 \mu\text{V} \pm 3.09$ ）。在 2D 的圖形刺激下，不同電極位置的振幅有顯著的差異， $F(1, 19) = 10.341, p < .001, \eta^2 = 0.35$ ，經事後比較發現， $Fz > Pz$ 、 $Cz > Pz$ ，且都達到顯著水準，但是 Fz、Cz 的振幅差異未達顯著水準。在 3D 的圖形刺激下，不同電極位置的振幅有顯著的差異， $F(1, 19) = 32.556, p < .001, \eta^2 = 0.63$ ，經事後比較發現， $Fz > Pz$ 、 $Cz > Pz$ ，且都達到顯著水準，但是 Fz 和 Cz 的振幅差異未達顯著水準。

N1 的潛伏期在維度與電極點的交互作用，發現未達顯著效果 $F(2, 38) = 1.73, p = .19, \eta^2 = 0.11$ ，維度的主要效果發現未達顯著 $F(1, 19) = 2.28, p = .147, \eta^2 = 0.09$ ，電極點的主要效果發現未達顯著 $F(2, 38) = 1.77, p = .184, \eta^2 = 0.08$ 。

由分析結果發現，2D 圖形與 3D 圖形在 N1 的振幅差異達顯著水準，在 Pz 電極點，2D 圖形誘發的 N1 振幅大於 3D 圖形誘發的 N1 振幅。此結果與 Wang 與 Kameda（2005）的研究結果相似。Vogel 與 Luck（2000）指出，ERPs 的 N1 成分可以作為辨別任務的指標，本研究設計

為辨識的 ERPs 作業，因此在 3D 與 2D 圖形辨識任務中均有 N1 的腦波成分出現。Wang 和 Kameda 指出相同視覺角度的圖形辨識作業，所以可以誘發較大的振幅，Tanaka、Luu、Weisbrod 與 Kiefer (1999) 在分類的 ERPs 研究中也發現，在容易分類的情況下會產生較大的 N1 振幅，反之振幅則較小。由本研究的答對率與反應時間可以發現，2D 圖形辨識作業比 3D 圖形圖形辨識作業的答對率高且反應時間短，2D 圖形辨識作業應該可以視為較簡單任務，因此在 Pz 電極點誘發較大的 N1 振幅。由 N1 振幅在 Fz、Cz、Pz 電極位置進行事後比較，發現 2D 圖形與 3D 圖形辨識作業均是 $Fz > Pz$ 、 $Cz > Pz$ ，可以推論 2D 與 3D 圖形在早期知覺階段有相同刺激登錄的機制，只是圖形刺激不同，所造成的腦波結果也有差異。此神經活動的結果也許可以作為 2D 與 3D 圖形辨識的指標。在本研究中發現，2D 圖形誘發的 N1 振幅在 Fz、Cz 電極點均小於 3D 圖形誘發的 N1 振幅，由於過去相關文獻中，尚無研究同時比較視知覺在不同維度 2D 與 3D 圖形辨識時的 ERPs 活動，因此本研究無法直接進行相關活動成分的差異探討與解釋。然而，在本實驗中不同空間向度的辨識作業以及辨識作業的難易程度不同均可能引起 N1 振幅的變化，因此，此部分的推論還需要進一步的實驗設計加以檢視。

圖 3 是 2D 與 3D 圖形辨識在腦中央區三個電極位置的 N1 平均波形比較圖。2D 圖形 N1 的平均潛伏期介於 67 ms 到 127 ms；3D 圖形 N1 的平均潛伏期介於 88 ms 到 139 ms，在 Fz 與 Cz 電極點，3D 圖形的平均振幅大於 2D 的平均振幅；在 Pz 電極點，2D 圖形的平均振幅大於 3D 的平均振幅。

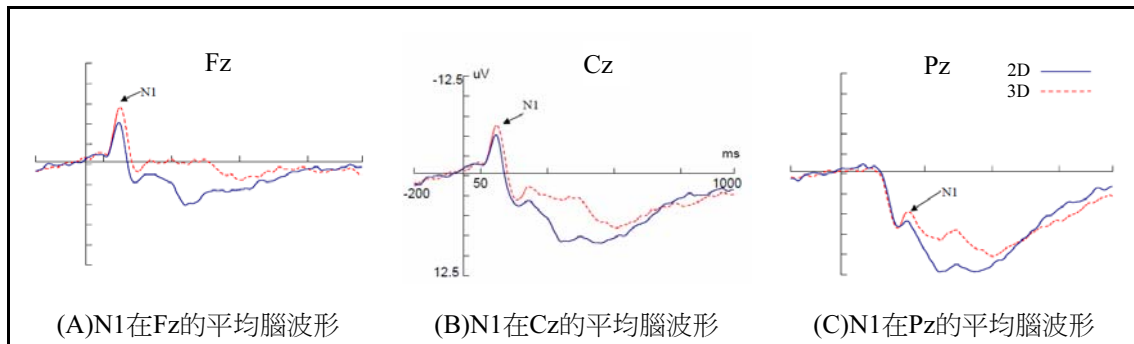


圖3. 2D與3D圖形辨識在中線區三個電極位置的N1平均波形比較

(二) 顳、枕區的 P1 腦波分析

本研究的 P1 峰值係提取顳枕區的右腦 T6、O2 及左腦 T5、O1 等四個電極點之平均腦電波，進行圖形 $2 \times 2 \times 2$ [2D、3D，左腦、右腦，T5, O1、T6, O2] 之三因子變異數分析。表 3

表 3

P1 在 T5、O1、T6、O2 電極點的平均振幅（標準差）與平均潛伏期（標準差）

維度	腦區	電極點	振幅（單位： μV ）	潛伏期（單位：ms）
2D	左腦	T5	3.94 (2.22)	103.20 (10.77)
		O1	6.92 (3.77)	104.65 (13.21)
	右腦	T6	4.54 (2.29)	98.15 (10.86)
		O2	6.50 (4.44)	100.25 (11.31)
3D	左腦	T5	5.29 (2.81)	109.50 (12.59)
		O1	9.61 (4.60)	109.10 (11.01)
	右腦	T6	6.02 (2.71)	104.45 (15.59)
		O2	8.09 (5.22)	102.40 (16.36)

統計結果是 P1 的振幅與潛伏期在 T5、O1、T6、O2 四個電極點的平均統計結果。

本實驗結果在 P1 振幅進行維度（2D、3D） \times 腦區（左腦、右腦） \times 電極點（T5、O1、T6、O2）之三因子變異數分析，分析結果發現，P1 振幅在維度 \times 腦區 \times 電極點的三因子交互作用未達顯著水準， $F(1, 19)=1.59, p > .05, \eta^2=0.08$ ，在維度 \times 腦區、腦區 \times 電極點與維度 \times 電極點的交互作用差異也都未達顯著，因此，分析主要效果檢定發現，在維度差異達顯著水準 $F(1, 19)=13.78, p < .05, \eta^2=0.42$ ，另外，在電極點的主要效果檢定差異也達顯著水準 $F(1, 19)=12.73, p < .05, \eta^2=0.40$ 。

本實驗結果在 P1 潛伏期進行維度（2D、3D） \times 腦區（左腦、右腦） \times 電極點（T5、O1、T6、O2）之三因子變異數分析，分析結果發現，P1 潛伏期在維度 \times 腦區 \times 電極點的三因子交互作用，發現未達顯著水準， $F(1, 19)=.18, p > .05, \eta^2=0.009$ ，在維度 \times 腦區、腦區 \times 電極點與維度 \times 電極點的交互作用也都未達顯著水準，因此，進一步分析主要效果檢定，發現在維度差異達顯著水準 $F(1, 19)=9.15, p < .05, \eta^2=0.33$ ，另外在腦區的主要效果檢定差異也達顯著水準 $F(1, 19)=12.93, p < .05, \eta^2=0.41$ 。

由分析結果發現，2D 圖形與 3D 圖形在 P1 振幅差異達顯著水準。枕顳葉的 O1、O2、T5、T6 四個電極點，3D 圖形誘發的 P1 振幅大於 2D 圖形誘發的 P1 振幅。Omoto 等（2010）指出，P1 的振幅會受到立體圖形的深度知覺的影響而產生調整的情形。本研究結果也發現，3D 圖形誘發的 P1 振幅較大，此結果也可以說明由於 3D 圖形比 2D 圖形多了深度的向度，使得在枕顳葉的腦波反應也有差異。

由分析結果發現，2D 圖形與 3D 圖形在 P1 的潛伏期差異達顯著水準。ERPs 的振幅與潛伏期可以作為任務難易程度的指標（Heil, 2002），且 P1 成分與視覺選擇注意有關（Handy, 2005; Kasai et al., 2003），P1 潛伏期與刺激的對比差異有很大影響，因此研究者推論，2D 圖形比 3D 圖形較容易誘發視覺注意力的導向效果，也就是 2D 圖形能夠比 3D 圖形較快的誘發枕

葉的視知覺與視覺的注意力。

此外，在本研究中發現，3D 與 2D 圖形辨識在右半腦的潛伏期比較左半腦短，此結果可以說明右半腦在空間知覺上的偏側化。Kimura (1973) 指出右半腦的後部直接參與了接收外界的訊息，右頂枕葉在空間知覺上有特殊的功能，Taga 和 Thompson (2003) 回顧文章也指出，許多使用 Shepard-Metzler 任務的研究都可以發現視覺空間處理作業中都有右腦優勢的情形出現。

圖 4 是 2D 與 3D 圖形辨識在枕顛區四個電極位置的 P1 平均波形比較圖。2D 圖形辨識在 P1 的平均潛伏期介於 56 ms 到 138 ms；3D 圖形辨識在 P1 的平均潛伏期介於 52 ms 到 131 ms，分析發現在 P1 振幅部分，3D 圖形辨識的 P1 振幅大於 2D 圖形；在 P1 潛伏期部分，3D 圖形辨識的 P1 潛伏期大於 2D 圖形。此外，P1 潛伏期在左右腦也存在顯著差異，右腦枕顛葉位置的潛伏期比左腦枕顛葉潛伏期短。

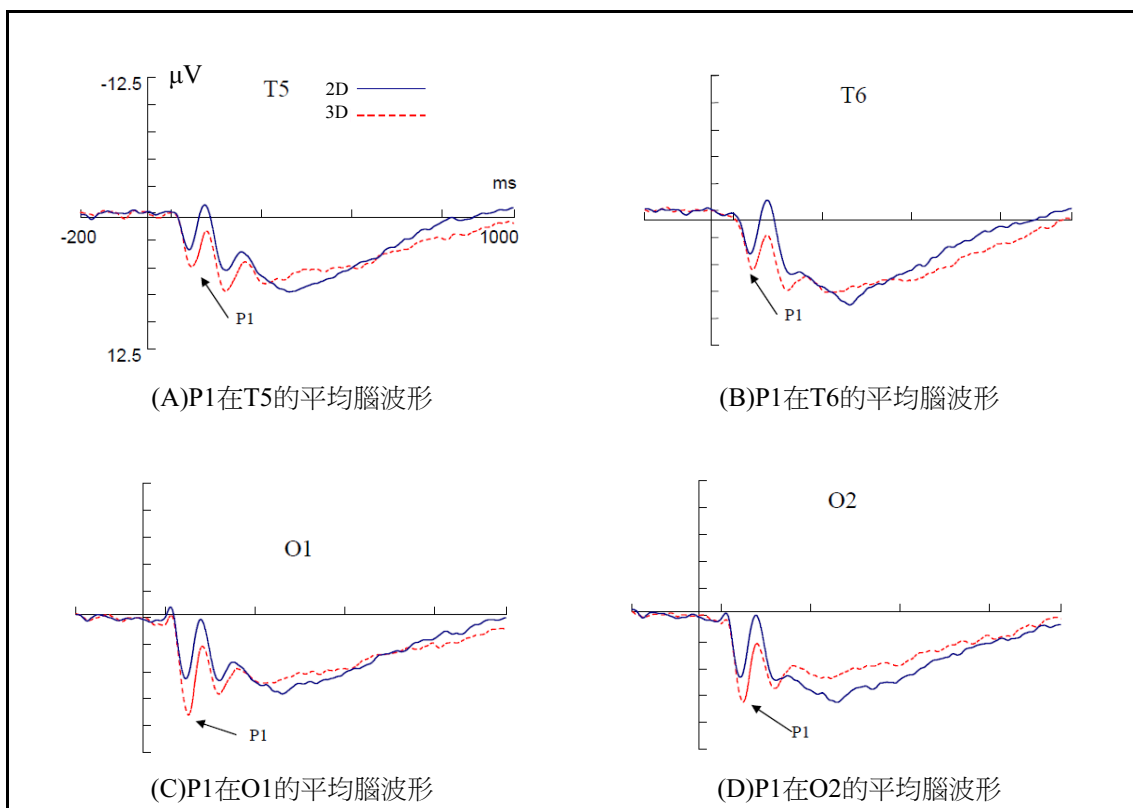


圖4. 2D與3D圖形辨識在顛枕區四個電極位置的P1平均波形比較

(三) 中線區的 P300

Shepard 和 Metzler (1988) 比較 2D 物件與 3D 物件的反應時間研究發現，3D 空間物件的反應時間的截距都要比 2D 空間物件來得大，但是兩者的斜率是相同的，因此他們推論刺激的空間向度不同只有影響圖形登錄和比較兩個階段。本研究的 P300 峰值係提取中線區 Fz、Cz、Pz 三個電極點之平均腦電波。表 4 的統計結果是 N1 的振幅與潛伏期在 Fz、Cz、Pz 三個電極點的平均統計結果。

表 4

P300 在 Fz、Cz、Pz 電極點的平均振幅（標準差）與平均潛伏期（標準差）

維度	電極點	振幅（單位：μV）	潛伏期（單位：ms）
2D	Fz	6.63 (5.24)	377.10 (68.59)
	Cz	10.81 (5.42)	443.50 (79.58)
	Pz	14.23 (6.02)	460.15 (82.64)
3D	Fz	3.60 (4.18)	426.45 (113.81)
	Cz	7.41 (5.37)	481.05 (118.36)
	Pz	10.75 (5.37)	481.30 (105.27)

本實驗結果在 P300 振幅進行維度（2D、3D）×電極點（Fz, Cz, Pz）之二因子變異數分析，分析結果發現，P300 振幅在維度×電極點的二因子交互作用，未達顯著水準， $F(1, 19) = .21, p > .05, \eta^2 = 0.01$ ，因此，進一步分析主要效果檢定，發現在維度差異達顯著水準 $F(1, 19) = 14.65, p < .001, \eta^2 = 0.44$ ，另外在電極點的主要效果檢定差異也達顯著水準 $F(1, 19) = 45.64, p < .001, \eta^2 = 0.71$ 。

P300 的潛伏期在維度與電極點的交互作用，發現未達顯著效果 $F(2, 38) = 0.8, p = .46, \eta^2 = 0.04$ ，維度的主要效果發現未達顯著 $F(1, 19) = 2.98, p = .1, \eta^2 = 0.14$ ，電極點的主要效果發現達顯著 $F(2, 38) = 16.3, p < .001, \eta^2 = 0.46$ 。

由分析結果發現，2D 圖形與 3D 圖形在 P300 振幅差異達顯著水準。2D 圖形與 3D 圖形在 Pz 電極位置誘發最大的 P300 振幅，且 2D 圖形誘發的 P300 振幅大於 3D 圖形誘發的，此結果與 Mecklinger 和 Pfeifer (1996) 利用簡單形狀作為刺激物的研究結果，發現在頂葉電極區的平均振幅最大結果相同，他們推論刺激在編碼的運作歷程反應在 P300 的變化上。經由事後比較發現 P300 的振幅 $Pz > Cz > Fz$ ，由於 P300 反應著認知處理過程中神經電生理的活化情形 (Polich & Kok, 1995)，可以作為量測心智資源分配的工具。當受試者若能確定刺激物的類別時，P300 振幅會有增大的情形；若無法確定刺激類別時，振幅會變小 (Luck, 2005)。因此，可以推論 2D 與 3D 圖形在圖形辨識階段有相同刺激比較、辨識的機制，只是圖形刺激不同，

所造成的腦波結果也有差異。此神經活動的結果也許可以作為 2D 與 3D 圖形辨識的指標。

圖 5 是 2D 與 3D 圖形辨識在腦中央區三個電極位置的 P300 平均波形比較圖。2D 圖形 P300 的平均潛伏期介於 377 ms 到 460 ms；3D 圖形 P300 的平均潛伏期介於 420 ms 到 481 ms，在 Fz、Cz 與 Pz 電極點，2D 圖形的平均振幅大於 3D 的平均振幅。

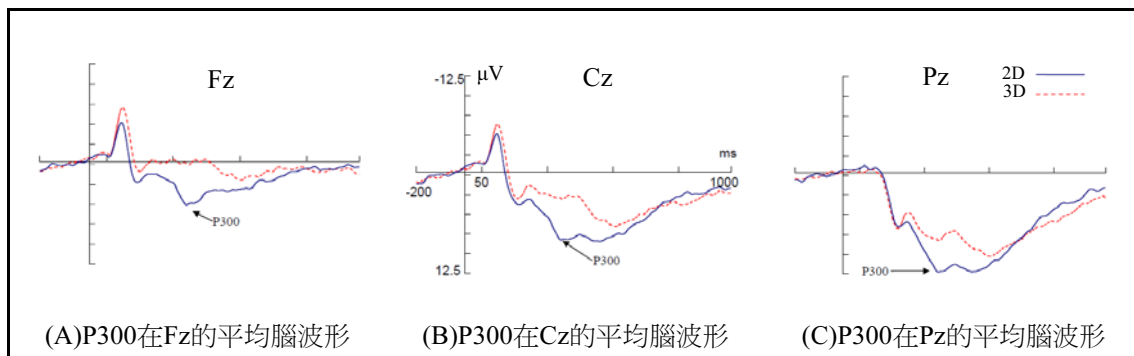


圖5. 2D與3D圖形辨識在中線區三個電極位置的P300平均波形比較

肆、結論與建議

本實驗以 2D 圖形和 3D 圖形辨識為任務，探討 20 位高中職學生圖形辨識之腦機制。研究設計以 Shepard-Metzler 的空間旋轉實驗設計為依據，受試者判斷啟動刺激與探測刺激是否是一致或是不一致的圖形，在施測過程中同步紀錄受試者 EEG 腦波及答題反應結果，希冀能瞭解不同維度圖形辨識的腦機制。結果發現：一、2D 的答對率顯著優於 3D 的答對率，2D 圖形的反應時間比 3D 圖形的反應時間快。二、3D 圖形辨識在 Fz、Cz 電極點的 N1 振幅比 2D 圖形辨識的 N1 振幅大；3D 圖形辨識在 Pz 電極點的 N1 振幅比 2D 圖形辨識小。三、3D 圖形辨識在 T5、O1、T6、O2 電極點的 P1 振幅大於 2D 圖形辨識誘發的 P1 振幅，但是 2D 圖形辨識在 T5、O1、T6、O2 電極點的 P1 潛伏期比 3D 圖形辨識誘發的 P1 潛伏期短。四、3D 與 2D 圖形辨識作業在右半腦的潛伏期比左半腦短。

本實驗以 2D 和 3D 圖形辨識為任務，由答對率與反應時間的分析結果可以發現 2D 圖形的反應時間比 3D 圖形的反應時間快，此研究結果與其他學者在心像旋轉的相關研究結果相同。但是以往的研究主要探討受試者的反應時間與旋轉角度以及作業難易度和空間旋轉速度之間的關係，在本研究中進一步分析相關的神經生理機制，以提供神經生理及教育研究相關之神經生理的證據，研究結論與建議如下。

在實驗設計上，3D 圖形與 2D 圖形不同處在於深度的空間訊息，研究結果發現，3D 圖形辨識在枕顳區的 P1 振幅大於 2D 圖形辨識的 P1 振幅。枕葉位於大腦半球後部區域，是初級視

覺皮質區，具有視覺處理、空間工作記憶等功能 (Byrnes, 2001/2004)，且枕顳葉的 P1 視覺誘發電位會受到 3D 圖形的深度知覺的影響 (Omoto et al., 2010)，因此可推論 P1 也許可以作為學生是否可以進行維度辨識的神經生理的指標。Gilbert (2008) 指出，表徵可以分為三維、二維和一維，不同的維度還包含不同的層級，但是學生在視覺空間上，3D 與 2D 模型間的轉換已經容易造成困擾 (Wu & Shah, 2004)，也許藉由此電生理的分析可以瞭解學生在不同維度轉換上發生困難的腦機制。由本研究發現不同的圖形結構會促發不同的腦機制，因此圖形在教科書籍的使用與編輯上更需要小心與謹慎，Schnotz (2002) 就指出，在教科書的圖形呈現上，如果圖形選得好是可以支援內在的視覺感知，進而形成表徵或模型；相反地，如果使用不當可能會干擾意義的形成，對學習者產生誤導。

Vogel 和 Luck (2000) 指出 N1 反映了在辨識作業中注意力的聚焦情形。當類別分類良好時，注意力容易聚焦，會使 N1 振幅增加，若是以辨識作業難易程度來區分，N1 的振幅在容易分類辨識的情況下會比分類困難的情況下來得大。Wang 和 Kameda (2005) 研究發現，容易的辨識作業在中線區的 Pz 電極點會誘發最大的振幅。Pz 位於後頂葉區，後頂葉是高級聯合皮質區，具有整合來自視、聽和體覺訊息的功能 (梅錦榮, 1991)，顯示 2D 圖形的辨識作業比 3D 圖形的辨識作業較容易分辨。但是研究分析也發現，3D 圖形誘發的 N1 振幅在額葉 Fz、Cz 電極點均大於 2D 圖形誘發的 N1 振幅，而額葉具有整合視覺訊息的功能，可以推論 3D 圖形在整合視覺訊息上需要較大的心理資源，因此在 Fz、Cz 誘發較大的振幅。視知覺需要大腦各部位的合作，每一視覺區只能提供它對某一物件的有限分析，而無法代表該物件的所有屬性，視覺處理過程是分散和各有所司的，這種功能性的特化會造成整合上的困難 (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 1998)，也因此還需要進一步的實驗設計加以檢視。

本研究假設刺激圖形是沒有蘊含意義的圖形，在實驗過程中視知覺主要是以圖形刺激驅動的上行歷程為主，然而辨識可以分為知覺導向與概念導向的作業，兩者的交互作用才能達到訊息的理解。在教育上所運用的圖形往往是概念負載的圖形，受到基模的知識和意圖的控制，因此本研究的結果在推論到教育上實須小心謹慎。圖形辨識歷程包含登錄刺激、旋轉刺激、比較刺激與反應四個階段，本研究分析主要聚焦在視知覺的階段，對於比較刺激階段的著墨較少，此部分尚且需要更多的研究分析，才能完整瞭解圖形辨識歷程。此外，在本研究實驗中，左右手按鍵方式未使用對抗平衡的方式進行實驗，因此在左右腦側化的研究結果，在推論上宜需謹慎。研究實驗中，2D 實驗與 3D 實驗的實驗順序未進行對抗平衡，對受試者而言，2D 實驗的記憶與學習效果，可能會影響 3D 圖形辨識的反應時間與答題表現。

就教育的意義而言，雖然圖形大量的被應用在教科書中，但是圖形的設計和學習的使用並沒有獲得一致的結果 (Gilbert, 2008)。有些學習者不認為教科書上所提供的圖形對學習有幫助，也有些學生認為，圖形讓他產生了迷思概念或者讓複雜現象的解釋受到局限 (Newberry, 2002)。本研究也發現 3D 圖形的複雜度或圖形深度會影響學生對於圖形辨識的表現，反應時

間就變長，答對率也變低，在事件相關電位的成分分析也發現 2D 與 3D 圖形的辨識有不同的神經生理機制。當學生空間能力不足時，3D 圖形可能會造成學生認知負荷增加，學習表現不佳的情形。Duval (1995) 則指出當學生幾何能力未達高層次時，學習幾何概念可經由圖形的操弄及維度的轉變，幫助學生解決原來並不容易解決的幾何問題。Wu 與 Shah (2004) 也指出在化學學習上，應該針對相同的結構同時展示出 2D 與 3D 模型，讓學生進行比照，並利用各種教學媒體或電腦動畫，盡量讓學生可以將 2D 與 3D 模型重疊，以加強學生 2D 和 3D 視覺表徵的轉換與配對，幫助學生圖形的理解與學習。

近年來由於神經科學的發展，對於人類的認知行為與活動已經有愈來愈多從神經系統與認知行為的觀點來進行研究，對於學生的學習行為更是需要以認知和神經系統的觀點來進行探討，才可以深入瞭解學生在科學學習時大腦的運作機制。在本研究中使用沒有概念蘊含的 2D 與 3D 圖形進行研究，未來可以針對蘊含相同概念不同維度的圖形進行探討，以瞭解學生在蘊含概念的圖形辨識是否具有相同的機制，以提供教育更多神經生理機制的參考。

參考文獻

一、中文文獻

- 林玉雯、黃台珠、劉嘉茹 (2010)。探討圖形表徵與視知覺學習偏好對生物辨識學習之影響。
科學教育學刊, 18 (6), 1-26。
【Lin, Y.-W., Huang, T.-C., & Liu, C.-J. (2010). Exploring the effects of graphical representation and preference of visual perceptives on learning biological recognition. *Chinese Journal of Science Education*, 18(6), 1-26.】
- 周泰立、陸偉明、鄭秋瑾、吳瑞屯 (1996)。刺激複雜度與呈現方式對心象旋轉之不同階段的影響。
中華心理學刊, 38 (1), 31-40。
【Chou, T.-L., Luh, W.-M., Cheng, C.-C., & Wu, J.-T. (1996). Effect of stimulus complexity and type of presentation on mental rotation stages. *Chinese Journal of Psychology*, 38(1), 31-40.】
- 梅錦榮 (1991)。神經心理學。臺北市：桂冠。
【Boey, K.-W. (1991). *Neuropsychology*. Taipei, Taiwan: Laureate.】
- 鄭麗玉 (2009)。認知心理學：理論與應用 (三版)。臺北市：五南。
【Cheng, L.-Y. (2009). *Cognitive psychology* (3rd ed.). Taipei, Taiwan: Wu-Nan Book.】
- 韓承靜、洪蘭、蔡介立 (2010)。心像旋轉中之心智表徵特性－探討圖形複雜度與整合性的影響。
教育心理學報, 41 (3), 551-578。
【Han, C.-C., Hung, D. L., & Tsai, J.-L. (2010). The mental representation during the mental rotation task – Explore the complexity and integrity effects. *Bulletin of Educational Psychology*, 41(3), 551-578.】
- Byrnes, J. P. (2004)。心智、大腦與學習－認識心理及教育相關之神經科學研究 (游婷雅, 譯)。臺北市：洪葉。(原著出版於 2001 年)
【Byrnes, J. P. (2004). *Minds, brains, and learning – Understanding the psychological and educational relevance of neuroscientific research* (T.-Y. Yu, Trans.). Taipei, Taiwan: Hungyeh. (Original work published 2001)】

二、外文文獻

- Barba, G. D., Rosenthal, V., & Visetti, Y. M. (2002). The nature of mental imagery: How is the “null hypothesis”? *Behavioral and Brain Science*, 25(2), 187-188.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 20-43.
- Cooper, L. A., & Podgorny, P. (1976). Mental transformation and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(4), 503-514.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 75-176). New York, NY: Academic Press.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1975). Mental transformation in the identification of left and right

- hands. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 395-404.
- Dellantonio, A., & Spagnolo, F. (1990). Mental rotation of tactual stimuli. *Acta Psychologica*, 73(3), 245-257.
- Duval, R. (1995). Geometrical picture: Kinds of representation and specific processing. In R. Sutherland & J. Mason (Eds.), *Exploiting mental imagery with computers in mathematics education* (pp. 142-157). Berlin, Germany: Springer.
- Eimer, M. (1998). Methodological issues in event related brain potential research. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30(1), 3-7.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2000). *Cognitive psychology: A student's handbook* (4th ed.). Hove, UK: Psychology Press.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (1998). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*. New York, NY: Norton.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 1-24). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception* (6th ed.). Pacific Grove, CA: Wadsworth-Thomson Learning.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 20-25.
- Handy, T. C. (2005). *Event-related potentials: A methods handbook*. London, UK: MIT Press.
- Heil, M. (2002). The functional significance of ERP effects during mental rotation. *Psychophysiology*, 39(5), 535-545.
- Kasai, T., Morotomi, T., Katayama, J., & Kumada, T. (2003). Attending to a location in three-dimensional space modulates early ERPs. *Cognitive Brain Research*, 17(2), 273-285.
- Kastens, K. A., Agrawal, S., & Liben, L. S. (2009). How students and field geologists reason in integrating spatial observations from outcrops to visualize a 3-D geological structure. *International Journal of Science Education*, 31(3), 365-393.
- Kimura, D. (1973). The asymmetry of the human brain. *Scientific American*, 228, 70-80.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kosslyn, S. M., & Koenig, O. (1992). *Wet mind: The new cognitive neuroscience*. New York, NY: Free Press.

- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Martinez Peña, B., & Gil Quilez, M. J. (2001). The importance of images in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1125-1135.
- Mecklinger, A., & Meinshausen, R. M. (1998). Recognition memory for object form and object location: An event-related potential study. *Memory and Cognition*, 26, 1068-1088.
- Mecklinger, A., & Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Cognitive Brain Research*, 4(3), 211-224.
- Mitsuoka, T., Watanabe, C., Torii, T., Naka, T., Katayama, S., & Mizusaki, N., & Matsumoto, M. (2005). Visual event-related potentials evoked by three-dimensional images in healthy controls. *International Congress Series*, 1278, 153-155.
- Newberry, M. (2002). *Pupils' understanding of diagrams in science: Progression from key stage 3 (11-14 years) and across key stage 4 (14-16 years)*. Fareham, UK: Cams Hill School.
- Omoto, S., Kuroiwa, Y., Otsuka, S., Baba, Y., Wang, C., Li, M., ...Suzuki, Y. (2010). P1 and P2 components of human visual evoked potentials are modulated by depth perception of 3-dimensional images. *Clinical Neurophysiology*, 121(3), 386-391.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology*, 41(2), 103-146.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2003). Two-and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. *International Journal of Psychophysiology*, 50(3), 235-246.
- Schnotz, W. (2002). Commentary: Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101-120.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 3-11.
- Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppel, R. A. (1996). Dissociating verbal and spatial working memory

- using PET. *Cerebral Cortex*, 6(1), 11-20.
- Tanaka, J., Luu, P., Weisbrod, M., & Kiefer, M. (1999). Tracking the time course of object categorization using event-related potentials. *NeuroReport*, 10(4), 829-835.
- Todd, J. T. (2004). The visual perception of 3D shape. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), 115-121.
- Toga, A. W., & Thompson, P. M. (2003). Mapping brain asymmetry. *National Reviews Neuroscience*, 4(1), 37-48.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-585). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37(2), 190-203.
- Wang, G., & Bingo, J. (2010). Three-dimensional object recognition learning alters an early ERP component of N1. *Clinical Neurophysiology*, 121(9), 1473-1480.
- Wang, G., & Kameda, S. (2005). Event-related potential component associated with the recognition of three-dimensional objects. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 16(7), 767-771.
- Wang, G., & Suemitsu, K. (2007). Object recognition learning differentiates the representations of objects at the ERP component N1. *Clinical Neurophysiology*, 118(2), 372-380.
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492.
- Zeki, S. (1993). *A vision of the brain*. Oxford, UK: Blackwell.

Journal of Research in Education Sciences

2012, 57(2), 1-23

Using ERPs to Investigate Two-Dimensional and Three-Dimensional Image Recognition

Bao-Yuan Liu

Graduate Institute of Science Education,
National Kaohsiung Normal University

Chia-Ju Liu

Graduate Institute of Science Education,
National Kaohsiung Normal University

Abstract

Debates and arguments about the differences and similarities between two-dimensional and three-dimensional image recognition have long existed. This study aims at using event-related potentials (ERPs) to investigate the mechanisms of human brains and the differences and similarities of brain functions when the operation of two-dimensional and three-dimensional image recognition is triggered. The experiment for this study was practiced by performing ERP tasks designed separately by using two-dimensional and three-dimensional images. Simultaneously, off-line analyses of collected brain-wave data of the experimental subjects were performed. The subjects in the experiment were 20 volunteer senior high school and vocational school students. The results of this study suggest significant differences between the amplitude from N1 and P300 in the central midline sites and from P1 in the occipitotemporal cortex while two-dimensional and three-dimensional images were displayed to the subjects. Therefore, the researchers in this study infer that because the visual sense elements of the different dimensional visual messages passed from the retina are dissimilar, what the retina receives are not simply two-dimensional visual messages projected by three-dimensional images; there is even more visual information to stimulate the cortex. Therefore, this study provides evidence of neurophysiology to confirm image recognition.

Keywords: two-dimensional images, three-dimensional images, event-related potentials, image recognition

