

國立交通大學教育研究所
碩士論文

運用腦波及眼動探討 2D 和 3D 動畫對學生
科學概念建構與心智模式之影響

Explore the Impact of 2D and 3D Animation on Students'
Scientific Concept Construction and Mental Model with the
Use of EEG and Eye Movement

研究生：蕭米珊

指導教授：余曉清 教授

中華民國一百年七月

運用腦波及眼動探討 2D 和 3D 動畫對學生科學概念建構與
心智模式之影響

Explore the Impact of 2D and 3D Animation on Students'
Scientific Concept Construction and Mental Model with the
Use of EEG and Eye Movement

研究 生：蕭米珊

Student : Mi-Shan Hsiao

指 導 教 授：余 曉 清 博 士

Advisor : Hsiao-Ching She, Ph. D



Submitted to Institute of Education
College of Humanities and Social Science
National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Education

July 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 百 年 七 月

運用腦波及眼動探討 2D 和 3D 動畫對學生科學概念建構與心智模式之影響

研究生：蕭米珊

指導教授：余曉清 博士

國立交通大學教育研究所碩士論文研究計畫

摘要

本研究為 2×2 的二因子實驗設計，旨在探討不同空間能力（高、低）之學生，經由不同型式之多媒體動畫（2D、3D）教材學習「現代原子模型」單元，其學習成效、心智模式、眼動變化模式和腦波動態變化為何。本研究的研究對象為新竹市某高中之一年級學生，學生學習前先施以空間能力測驗、科學概念成就測驗前測及科學概念心智模式測驗前測等三項測驗，並依科學概念成就測驗前測結果，將 60 名學生指定分配到兩個不同組別，每組人數均為男生 18 人，女生 12 人，此兩組學生在科學概念成就測驗前測成績未達顯著差異。兩組學生分別使用 2D 或 3D 多媒體動畫進行網路學習。學習過程中會記錄學生之腦波變化及眼動變化兩項資料，以探討學生利用 2D 或 3D 多媒體動畫教材進行學習時，其腦波變化及眼動變化為何。待學生學習完畢，施以科學概念成就測驗後測及科學概念心智模式測驗後測，藉由前、後測結果比較之差異，探討 2D 及 3D 動畫教材對學生科學概念建構之學習成效、心智模式、眼動模式以及腦波動態變化為何。

研究結果顯示，在科學概念成就測驗方面，空間能力與多媒體動畫型式二因子之間並無交互作用，高空間能力與低空間能力兩組在組間的比較達顯著差異，高空間能力組的成績顯著優於低空間能力組；多媒體動畫型式 2D 及 3D 兩組之科學概念成就測驗成績在組內的前測及後測比較達顯著差異，即後測的結果均顯著優於前測，但兩組間之比較則未達顯著差異。在心智模式測驗方面，2D 及 3D 組兩組之科學概念心智模式測驗成績在組內的前測及後測比較達顯著

差異，即後測的結果均顯著優於前測，而兩組間的比較為 3D 組優於 2D 組，只是未達顯著差異。在眼動變化模式方面，3D 組的學生無論是在全域的凝視時間與關鍵區凝視時間、掃視時間及回視時間，均顯著較 2D 組長；空間能力低的學生在平均凝視時間顯著較空間能力高的學生長，而在全域掃視時間則較短。在腦波動態歷程方面，3D 組無論在 θ 波、upper α 波及 upper β 波之平均功率值都顯著較 2D 組來得強；低空間能力學生在 θ 波之平均功率值都顯著較高空間能力組來得強，而在 upper α 波及 upper β 波則顯著較弱。

關鍵字：多媒體動畫、空間能力、科學概念建構、心智模式、腦電圖、眼動



Explore the Impact of 2D and 3D Animation on Students' Scientific Concept Construction and Mental Model with the Use of EEG and Eye Movement

Student : Mi-Shan Hsiao

Advisor : Hsiao-Ching She, Ph. D

National Chiao Tung University, Institute of Education

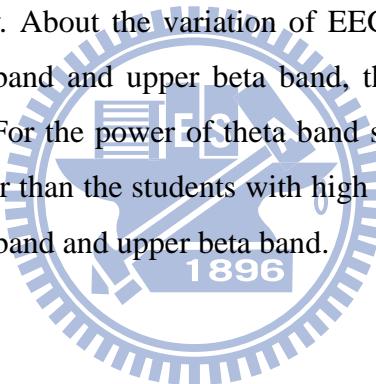
Abstract

The quasi-experimental design with 2 x 2 factors used in this study. Aim to explore the student with different spatial ability (high and low) used different type of animation (2D and 3D) to learn the scientific concept about atomic orbital model, the impact of their scientific concept construction learning achievement, mental model construction, eye movement patterns and variation of EEG.

Students from a high school at Hsin-Chu Country were involved in this study. Three different tests were administered to all of students which are spatial ability test, the pre-test of scientific conception test and the pre-test of mental model test. A total of sixty ten-grade students were assigned into two different groups by the results of the pre-test of scientific conception test. There are 18 male and 12 female in each group. The results of the pre-test of scientific conception test are not significantly between two groups. Two group students were learning through the 2D or 3D multimedia animation on web-based learning environment. Students' EEG and eye movement were recorded when they are learning, employed to explore the variation of EEG and eye movement by learning from the multimedia animation. After learning, two different tests were administered to all of students which are the post-test of scientific conception test and the post-test of mental model test. Students' different performance in pre- and post-test employed to explore how 2D and 3D animation impact their achievement of scientific concept construction, mental model construction, eye movement patterns and variation of EEG.

Results indicate that there are not any interaction between spatial ability and type of multimedia animation in the scientific conception test. And students with

high spatial ability outperform significantly than students with low spatial ability. Regardless the 2D or 3D group all perform better in post-test than pre-test in the scientific conception test, but there are not significantly different between two groups. Results also indicated that regardless the 2D or 3D group all perform better in post-test than pre-test in the mental model test. In spite of the 3D group outperform than 2D group, there are not significantly between two groups. About the patterns of students' eye movement, results of total duration on whole picture, total duration on special areas, total duration of saccade on special areas and total duration of regression on special areas showed that the 3D group significantly outperform than 2D group. For mean fixation duration showed that the students with high spatial ability outperform than the students with low ability. For total duration of saccades on whole picture showed that the students with low ability outperform than the students with high ability. About the variation of EEG, regardless of the power of theta band, upper alpha band and upper beta band, the 3D group all significantly stronger than 2D group. For the power of theta band showed that the students with low spatial ability stronger than the students with high spatial ability, and weaker for the power of upper alpha band and upper beta band.



Keywords : multimedia animation 、 spatial ability 、 scientific concept construction 、
mental model 、 EEG 、 eye movement

誌謝

研究生涯三年的時光，轉眼間就這麼過去了。回憶起三年前的此刻，滿懷著雀躍又緊張的心情，踏進了位於國立交通大學電子資訊研究大樓 805 室的「認知與科學學習實驗室」，似乎就奠定了我與這間實驗室的不解之緣，就讀研究所期間大半的時光，是在這裡度過的。

教育所繁重的課業完全顛覆我對研究所生活的想像，剛入學時所懷抱的雄心壯志，在永遠來不及讀完的書堆及做不完的報告中，逐漸被無力感與挫敗感所取代，即便如此，仍需強逼自己打起精神去面對這一切，其中心情的轉折，非三言兩語能道得盡。回憶過去這段日子以來的點點滴滴，心中仍是五味雜陳，我想，只有同樣走過一遭的人才能明白箇中滋味。即便這段日子總是倍感壓力，不快樂遠多過快樂，我卻真心地覺得，這是我的人生截至目前為止，學到最多，收穫也最豐碩的一段時光。而能有這樣特別的際遇，要感謝的人太多太多了。

首先，感謝我的指導教授余曉清博士，完全尊重我在論文題目上的選擇權，讓我選擇自己感興趣的多媒體動畫作為研究題目，並提供腦波儀、眼動儀及數位學習網等研究工具予我使用，使我的研究題目跳脫傳統的科學教育研究，變得創新且獨特。在論文創作的過程中，不時給予我諸多的指點與挑戰，除了培養我問題解決的能力，也磨練我的耐力及抗壓性。在訓練我面對挑戰的同時，也不忘時時關心我的身心狀況，讓我在異鄉仍能感受到如同母親般的溫暖問候。除此之外，並為我安排資源豐富的實習學校，讓我在攻讀碩士學位的期間，同時得以順利完成中等教育學程的培訓，並取得合格教師證。

接著，感謝口試委員張文華和段正仁兩位博士，不吝於提供學術上寶貴的研究經驗，悉心給予許多中肯的建議，協助我將論文修改得更加完善，以提升其學術價值。更感謝協助施測的韓中梅老師及其任教班級中的 66 名學生，因為有您們的參與，使我能順利完成論文資料的蒐集與分析。感謝楊文宗與張秀濬兩位資深教師，在設計多媒體教材的課程內容以及測驗卷的開發上助我一臂之力，使我能順利完成這兩項艱鉅的任務。感謝杜立仁動畫師，協助製作課程教

材中所需的動畫，讓我能順利施測。感謝教育所辦嘉凌姊、師培中心雅怡姊、佩萱姊在這段日子以來，無論是在課業方面或是師培方面的協助，以及平時所給予的關心與照顧，提供我許多機會充實自己的經歷，我會記得與你們在教育所辦相處的愉快時光。

感謝「認知與科學學習實驗室」的所有伙伴們，助理思瑋、佩樺、秉叡、瑄騰及盛杰，感謝你們協助處理包含腦波及眼動等各項資料分析，尤其特別感謝瑄騰總是為了寫程式而加班到很晚，謝謝思瑋常發起許多團購，讓我枯燥的研究所生活能感受到團購所帶來的喜悅，以及佩樺與秉叡不時傳達的加油與打氣。感謝辛苦的博士班前輩文己、聖昌、明樺以及莉郁，在論文創作的過程中給予我許多有用的指導與建議，並在我的資料出問題時，撥空協助我找出解決的方法。尤其特別感謝文己及明樺，除了在學術上不時提供我專業的協助外，在我遇到人生的瓶頸與疑問時，總能聽我訴苦，並像盞明燈般指引我往最正確的道路前進。感謝學姊佩蓉、君婷，在最後論文撰寫的日子，能聚在一起閒聊，分享彼此的心情，舒緩我累積已久的苦悶情緒。感謝學妹育炆、依伶、婷婷，協助我處理龐大的腦波資料以及在論文口試時的鼎力相助，並預祝妳們之後的研究也能一切順利。

感謝研究所同窗好友汝紋、筱嵐、晏如以及力升，在修課期間彼此相濡以沫的互相陪伴，我想，在人社一館各間教室度過的那些修課時光，都會是我們心中難以忘懷的特別回憶。其中特別感謝汝紋及筱嵐一路走來的相互扶持，因為有妳們，我的研究所生活才顯得多采多姿，那些大吃大喝、熬夜唸書做報告、做RA工作以及為了科學活動努力找尋主題和成為教具生產線的日子，都是我心中難以忘懷的美好回憶。也許過程中某些時刻，我們之間的友情曾經歷現實的考驗，無論是冷戰亦或是吵架，值得慶幸的是，我們都走過來了。未來的道路還很長，雖然我們分開各自努力，但期望我們三人都能擁有最璀璨亮麗的人生。另外，感謝同窗七年的好伙伴，在大學四年以及研究所三年的這段時光裡，感謝妳對我的照顧與陪伴，衷心期盼妳能完成對自己的期望，並期許妳能在未來的日子變得更加獨立與堅強，試著給自己多一點的勇氣嘗試新的事物，妳會

發現其實許多事情沒有妳想像中的難，而我相信妳可以做到的。

感謝摯友蕙珊及邦政，你們總在我失去信心時適時地出現，給我許多的力量。謝謝你們不求回報地聽我訴說心中的徬徨、挫敗與沮喪，每每與你們聯繫過後，總能讓我看見原來的自己，因而不至於在現實的壓力中迷失方向，以及被挫折與沮喪給打敗，喪失前進的勇氣。也因為有你們，才能讓我在最後得以用平靜地心情完成論文撰寫的工作。感謝多年的好姊妹尚紋、宛倫與靜瑜，抱歉因為太過低調而沒能讓妳們參加我的畢業典禮，謝謝妳們多年來的支持與鼓勵，並體諒我因繁忙的課業常常缺席姊妹們的聚會，但也因此讓我更加珍惜我們之間的友情，即便我們分開各地，我仍堅信我們的友情會歷久彌新。

感謝我最親愛的家人，母親以芸、姊姊米君、妹妹米伶、大弟義懷及小弟義橙，謝謝你們尊重我對未來道路的選擇，並給予我無論是精神或是金錢上無條件的關懷與支持，讓我能無後顧之憂的走在研究這條艱辛的道路上。每當我感到身心俱疲時，總會想起我仍有一個可以休憩的港灣，也體會到「家是永遠的避風港」這句話的真諦。感謝四個幽默風趣的手足，在成長過程中帶給我許多的歡樂，這些都轉換成我繼續前進的動力，也讓我更加珍惜血脈親情的可貴。尤其感謝母親以芸的疼愛與包容，總是放手讓我嘗試想做的事，並體諒我因忙碌而無法時常回家相聚，身為您的女兒，是我一輩子的驕傲，也希望我能成為您的驕傲。

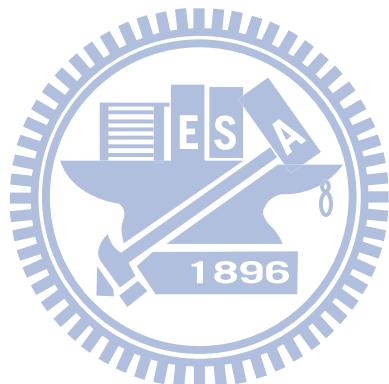
感謝男友少能，謝謝你當初在大學畢業之際，鼓勵我繼續攻讀碩士學位，開啟我研究生涯的契機，我才有機會與能仔一同體會這充實的研究生涯。感謝你總是無條件的包容我在這段日子中的所有的一切，給予我最溫暖的陪伴與無微不至的照顧，分享我生活中所有的喜怒哀樂，容忍我偶爾的任性與壞脾氣。即使在我陷入低潮而變得自閉，或是忙碌地抽不出時間陪你，你始終對我不離不棄。這段難熬的時光，若沒有你時時刻刻在身旁的加油打氣，以及在我感到難過時給予適時地安慰與鼓勵，我想我很難獨自一人走到終點。感謝你拓展了我的視野，替我開啟了一個不一樣的人生，認識你，是我一生中最幸運的事。

最後，僅以這篇論文獻給在天上的父親禮貴，感謝您和母親以芸賜給我寶

貴的生命以及健全的身體，使我在這二十多年的人生中，得以有機會完成許多自己的理想。並感謝您在冥冥之中的保佑，讓我存有相信自己的力量，即使在這三年內，腦海中浮現不下百次放棄的念頭，最終仍能擊敗心中的恐懼與不安，堅信自己定能克服重重難關，順利完成論文，取得碩士學位。也許成品尚有許多不盡完美之處，但也總算是不負眾人與自己的期待，完成人生旅程中一項重要的階段性任務了。

米珊 謹誌

民國一百年七月



目錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	ix
表目錄	xi
圖目錄	xiv
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與研究動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究問題與研究假設	2
第四節 重要名詞釋義	4
第五節 研究範圍與限制	5
第二章 文獻探討	7
第一節 科學概念學習	7
第二節 多媒體動畫與科學學習	8
第三節 空間能力與科學學習	11
第四節 腦波與科學學習	14
第五節 眼動與科學學習	17
第三章 研究方法	21
第一節 研究對象	21
第二節 研究設計	21
第三節 研究流程	24
第四節 研究工具	25
第五節 教學設計	27

第六節	資料蒐集與分析	28
第四章	研究結果與討論	31
第一節	不同平面空間能力學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程分析	31
第二節	不同立體空間能力學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程分析	50
第三節	學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、心智模式變化、眼動模式及腦波動態歷程分析	70
第四節	學生觀看不同類型之眼動模式及腦波動態歷程分析	85
第五章	結論與建議	93
第一節	結論	93
第二節	建議	96
參考文獻	99
附錄		
附錄一	多媒體網路課程內容架構	107
附錄二	科學概念成就測驗	117
附錄三	科學概念心智模式測驗	123
附錄四	科學概念心智模式測驗結果質性分析表及評分標準表	125
附錄五	科學概念心智模式測驗結果之整體變化分佈表	127
附錄六	lower α 波之各式統計分析表	129
附錄七	lower β 波之各式統計分析表	133



表目錄

表 1	現代原子模型科學概念成就測驗前測和後測之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表	31
表 2	眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間	32
表 3	眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析單純主要效果考驗摘要表	34
表 4	眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間	34
表 5	θ 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表.....	36
表 6	θ 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表	39
表 7	upper α 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表	40
表 8	upper β 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表	42
表 9	現代原子模型科學概念成就測驗前測和後測之二因子（動畫型式、立體空間能力）共變數分析表	51
表 10	眼動變化模式之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間	52
表 11	眼動變化模式之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區	

掃視時間、關鍵區回視時間	53
表 12 θ 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表.....	55
表 13 θ 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析單純主 要效果考驗摘要表	57
表 14 upper α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析 表	58
表 15 upper α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析 單純主要效果考驗摘要表	60
表 16 upper β 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析 表	61
表 17 upper β 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析 單純主要效果考驗摘要表	64
表 18 現代原子模型科學概念成就測驗之成對樣本 t 檢定表	71
表 19 現代原子模型科學概念成就測驗之單因子共變數分析表	71
表 20 現代原子模型心智模式測驗之成對樣本 t 檢定表	72
表 21 現代原子模型心智模式測驗之單因子單變量共變數分析表	72
表 22 現代原子模型之心智模式分類表	74
表 23 整體心智模式改變情形之敘述性統計分析表	75
表 24 眼動變化模式之單因子單變量變異數分析表：全域凝視點平均時間、 全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、 關鍵區回視平均時間	76
表 25 眼動變化模式之單因子單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域 掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間 ...	76
表 26 θ 波之單因子單變量共變數分析表.....	78
表 27 upper α 波之單因子單變量共變數分析表	79
表 28 upper β 波之單因子單變量共變數分析表	80
表 29 眼動變化模式之重複量數分析表：2D.....	85

表 30	眼動變化模式之重複量數分析表：3D.....	86
表 31	θ 波之重複量數分析表：2D.....	87
表 32	θ 波之重複量數分析表：3D.....	87
表 33	upper α 波之重複量數分析表：2D	88
表 34	upper α 波之重複量數分析表：3D	89
表 35	upper β 波之重複量數分析表：2D	90
表 36	upper β 波之重複量數分析表：3D	90

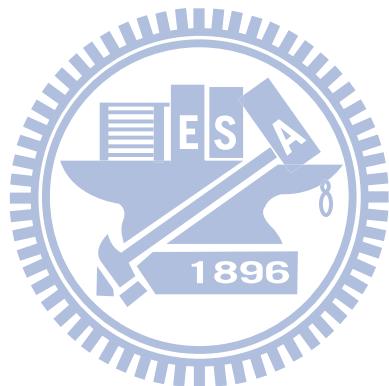
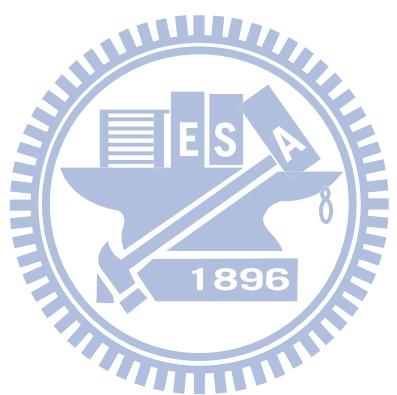


圖 目 錄

圖 1	Mayer 的多媒體模型 (Mayer, 2001)	10
圖 2	研究架構圖	23
圖 3	額葉區於 FZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻 譜變化分析結果	44
圖 4	頂葉區於 CZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關 頻譜變化分析結果	46
圖 5	顳葉區於 PZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻 譜變化分析結果	47
圖 6	枕葉區於 OZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關 頻譜變化分析結果	48
圖 7	額葉區於 FZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻 譜變化分析結果	65
圖 8	頂葉區於 CZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關 頻譜變化分析結果	66
圖 9	顳葉區於 PZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻 譜變化分析結果	67
圖 10	枕葉區於 OZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關 頻譜變化分析結果	68
圖 11	額葉區於 FZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果	81
圖 12	頂葉區於 CZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果	82
圖 13	顳葉區於 PZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果	83
圖 14	枕葉區於 OZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果	83



第一章 緒論

本章共分為五節，內容包含本研究的研究背景與研究動機、研究目的、研究問題與研究假設、重要名詞釋義以及研究範圍與限制。

第一節 研究背景與研究動機

在課室教學中，為了幫助學生進行學習，教師經常選用許多不同的教學媒材來提升學生的學習動機或是學習成效。而隨著科技的日新月異，電腦的普及化以其使用上便利性的提升，教師在課室中使用電腦來進行教學已是現今各級學校中相當常見的情形（Sankey, 2003）。

電腦可用來播放投影片、圖像、影片、動畫等教材。其中動畫的部分，大多數為人造之模擬情境，也因此一特質，在科學課程中，動畫常被用作是將微觀世界巨觀化或是將抽象概念具體化的有利工具。過去許多研究者以多媒體學習理論的角度切入，探討不同表徵搭配組合對學生學習的影響，目前普遍認定以動畫加聲音的搭配模式對學生的學習有最佳之成效（Mayer & Moreno, 2003）。除此之外，亦有研究探討 2D 及 3D 兩種不同型式動畫，何者對學習成效較有幫助，但目前並未得出一致的結論。

多媒體教材在現今的科學教學中已佔有舉足輕重的地位，因此，了解各種多媒體教材對於促進學生科學學習的效能及機制，便成了一件研究上十分重要的課題，我們必須進一步去了解多媒體教材與學生學習間之關係，以作為未來設計教材的參考依據。因此，研究者欲透過此研究，探討 2D 及 3D 兩種不同型式動畫對於學生建構微觀科學概念之成效有何影響。

空間能力被認為是學生科學學習成效的影響因素之一，學生具備一定程度的空間能力有助於理解較為抽象或是需要操弄心智模式的科學概念。過去一些研究顯示，空間能力高的學生在科學學習及問題解決能力上，較空間能力低的學生有更佳的成就表現（Carter, LaRussa, & Bodner, 1987），且透過培養學生的空間能力，能確實提升學生在科學學習上的學習成效（Small & Morton, 1983;

Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991)。因此本研究試圖探討空間能力不同的學生，在經由 2D 或 3D 多媒體動畫進行學習後，其科學學習成效有何差異。

教育研究的研究，通常是利用學習成果來推論學生利用各式教學媒材或是教學法的學習成效，但顯少有學者利用腦波儀及眼動儀等工具，探討學生學習歷程中的生理變化。因此，本研究除觀察學生在多媒體網路教材進行科學學習的學習成效，並同時以腦波儀及眼動儀記錄腦波變化及眼動變化兩種生理反應，企圖探討學生利用不同型式動畫進行學習時，其腦波及眼動的差異為何。

第二節 研究目的

基於了解多媒體教材對於促進學生科學學習的效能及機制是研究上相當重要的課題，且透過腦波及眼動探討相關議題的研究尚不多見，故本研究希望能從此面向著手，由神經生理的角度切入看學生的科學學習，企圖探討學生經由多媒體教材進行學習時，其眼動變化模式及腦波動態歷程模式為何，這些生理反應和與科學概念的學習成效間有何相關性。因此，本研究之研究目的如下：

1. 探討學生在網路上使用 2D 動畫和 3D 動畫兩種多媒體教材進行學習前後，學生的學習成效與科學概念心智模式變化為何，以及學習歷程中之眼動模式與腦波動態歷程為何。
2. 探討不同空間能力的學生在運用 2D 動畫或 3D 動畫兩種多媒體教材進行學習前後，其學習成效差異，以及學習歷程中之眼動模式與腦波動態歷程為何。

第三節 研究問題與研究假設

本研究旨在透過比較 2D 動畫和 3D 動畫兩種多媒體教材，來探討不同空間能力之學生經由 2D 或 3D 多媒體教材學習後，其科學概念學習成效、眼動變化模式以及腦波動態歷程有何差異。本研究共有四個研究問題，就每個研究問題之差異，選擇性探討包含科學概念學習成效、心智模式建構、眼動變化模式及腦波動態歷程四大部分其中數項。研究問題與假設如下：

1. 不同平面空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習後，其科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程有何差異？平面空間能力和多媒體動畫型式兩自變數間是否有交互影響？
 - 1-1 不同平面空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念後的學習成效上達顯著差異。
 - 1-2 平面空間能力和多媒體動畫型式間有交互影響。
 - 1-3 不同平面空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念時的眼動變化模式為何？
 - 1-4 不同平面空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念時的腦波動態歷程為何？
2. 不同立體空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習後，其科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程有何差異？立體空間能力和多媒體動畫型式兩自變數間是否有交互影響？
 - 2-1 不同立體空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念後的學習成效上達顯著差異。
 - 2-2 立體空間能力和多媒體動畫型式間有交互影響。
 - 2-3 不同立體空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念時的眼動變化模式為何？
 - 2-4 不同立體空間能力(高、低)的學生經由不同型式之多媒體動畫(2D、3D)學習「現代原子模型」科學概念時的腦波動態歷程為何？
3. 2D 和 3D 兩種多媒體動畫對於在學生科學概念的學習成效、心智模式建構、眼動變化模式及腦波動態歷程上有何差異？
 - 3-1 2D 和 3D 動畫對於學生學習「現代原子模型」科學概念的學習成效上達顯著差異。
 - 3-2 2D 和 3D 動畫對於學生學習「現代原子模型」科學概念的心智模式建構上達顯著差異。

- 3-3 學生經由 2D 或 3D 動畫學習「現代原子模型」科學概念時的眼動變化模式為何？
- 3-4 學生經由 2D 或 3D 動畫學習「現代原子模型」科學概念時的腦波動態歷程為何？
4. 學生觀看網路多媒體動畫課程中不同類型之主要概念頁面時，眼動變化模式與腦波動態歷程為何？
- 4-1 學生觀看「現代原子模型」網路多媒體動畫課程歷程中，其在不同類型主要概念頁面之眼動變化模式為何？
- 4-2 學生觀看「現代原子模型」網路多媒體動畫課程歷程中，其在不同類型主要概念頁面之腦波動態歷程為何？



第四節 重要名詞釋義

本研究計畫中出現許多名詞，為避免讀者混淆或是有不清楚之處，特此針對數個名詞做簡要的定義及解釋。各名詞釋義如下：

1. 現代原子模型：

取代過去軌道式的行星式原子模型，現代原子模型為現今科學家較為認可的原子模型。各原子所具有之電子以機率式出現在各個軌域內，一個軌域最多可填入 2 個電子，不同原子依其所具軌域及電子數不同而有不同的電子組態（選自 97 化學-上，龍騰文化）。

2. 多媒體 (multimedia)：

結合文字、圖形、聲音、影像和動畫等應用的媒體。因整合多項媒體於一項，故稱之為多媒體（Mayer, 2001）。

3. 2D 和 3D 動畫 (2D and 3D animation)：

動畫為平面式圖像的連續快速轉換，因視覺暫留現象導致圖像中物體看起來像是在動而稱之。本研究中所使用之教學動畫包含 2D 動畫及 3D 動畫，兩種動畫皆包含聲音及文字說明的部分。2D 動畫與 3D 動畫主要差別在於 2D 動畫不牽涉視角的轉換，3D 動畫則有包含視角的轉換（Mayer

& Moreno, 2003) 。

4. 心智模式 (mental model) :

心智模式為知識表徵的一種方式，是個體為了瞭解、解釋其經驗，依據個人信念所建構的一個知識架構 (Johnson-Laird, 1983)。

5. 科學概念建構 (scientific concept construction) :

學生透過教材學習、自身經驗或科學課堂而建構出符合科學家所認定之科學知識 (Lawson, Alkhoury, Benford, Clark, & Falconer, 2000)。

6. 腦波 (brain wave) :

大腦在進行認知活動時，會依照各區域神經訊息傳導的不同，而產生不同的電位變化，此電位變化即為腦波 (Andreassi, 2000)。

7. 腦電圖 (electroencephalogram, EEG) :

大腦的神經細胞同時進行活動時，其所產生的電位差變化即可在頭皮上經由腦波儀加以測量與記錄，將所記錄的電位差變化訊號透過放大器加以放大後，以波的形式顯示所記錄到的腦細胞活動記錄圖，即為腦電圖 (Andreassi, 2000)。

8. 眼動 (eye movement) :

學習者進行認知活動時，眼球運動的資料，包含凝視點數 (number of fixations)、凝視時間 (fixation duration)、視線軌跡 (scanpath)、回視 (regression) 等 (Keith Rayner, 2001)。

第五節 研究範圍與限制

本研究的研究對象為新竹市某高中之一年級學生，為特定地區之少數學生，故不具有全體高中一年級學生的代表性。因此，本研究的研究結果有其限制性，不宜推論到不同學校或是不同學年齡層的學生，也無法做更廣大範圍的推論。

除對象有其限制性之外，教材的選用也只針對「現代原子模型」單元做討論，故本研究結果也只適用此單元的教學結果，並不適用於推論至其他單元或是其他學科上做討論。

若要將本研究之研究結果推論至其他學年或是其他科學概念上，則應先行探討是否所欲使用的科學概念及研究對象與本研究的科學概念及研究對象有相似之處，並先進行其他文獻探討等工作，以評估本研究之結果是否適用，否則不宜冒然推論及使用。



第二章 文獻探討

本章共分為五節，針對本研究的主題，分為五部分的文獻回顧與探討，內容包含科學概念學習、多媒體動畫與科學學習、空間能力與科學學習、腦波與科學學習及眼動與科學學習。

第一節 科學概念學習

學生對於科學概念的學習，一直以來是科教學者所關注的議題，許多研究者傾注畢生之力來探討科學概念的學習。過去一些研究指出，由於有些科學概念是微觀的（Brook, Briggs, & Driver, 1984; Gabel, Samuel, & Hunn, 1987），而造成學生理解上的困難。而「現代原子模型」此單元之科學概念是屬於微觀特質的科學概念，因此造成許多學生對於此單元皆產生學習理解上之困難，甚至產生迷思概念（Concannon, Buzzetta, & Maegan, 2010; Fisher, 1985; Mills Shaw, Van Horne, Zhang, & Boughman, 2008; Tsaparlis, 1997; Venville & Treagust, 1998）。因此本研究即針對此二單元進行研究。

科學教師往往難以解釋那些肉眼看不見或是即使利用顯微鏡也無法看見之科學概念，學生常常會因此而對於這些科學概念理解錯誤而產生另有概念。過往有許多研究已針對微觀的「原子與分子」進行深入研究，且大多是以立體化學、分子結構等角度切入，探討學生學習此類概念可能產生之學習困難或迷思，以及利用各式的模型，如棍棒模型，促進化學微觀概念的學習（Urhahne, Nick, & Schanze, 2009）。

而「現代原子模型」則較少被探討，研究指出，學生在學習「現代原子模型」單元常會產生以下之另有概念，包含（1）無法清楚理解原子、分子的軌域（orbital）及斯萊特行列式（Slater determinant）等概念，（2）難以理解現實和數學形式原子軌域的概念相似性，（3）不同原子軌域表徵的混淆，（4）不瞭解多電子原子的原子軌域性質相似等（Tsaparlis, 1997）。故本研究設計之「現代原子模型」多媒體動畫教材，即包含前述所提及之另有概念的澄清，詳細介紹

軌道與軌域定義的差別、不同原子軌域的形狀、多電子原子的原子軌域在空間中的分佈情形。除破除另有概念外，並詳細介紹過去行星式原子模型和現代原子模型之異同，試圖讓學生能將國中與高中的課程作一良好銜接。

好的科學教師會利用一些模型來幫助學生理解科學課程中的微觀概念，以具體實物表徵的方式促進學生理解微觀概念的困難 (Concannon, et al., 2010)。除了實物模型，將科學概念利用動畫的方式呈現，使微觀概念以模型具體呈現，也是輔助學生學習的一種方式。本研究所選用「現代原子模型」科學概念，如同前文所述，具有微觀而導致理解不易的特質，而研究者認為利用多媒體動畫將微觀概念以模型具體呈現，應能有效幫助學生學習。故以此科學概念為主題，製作 2D 和 3D 兩種型式之動畫加聲音的網路多媒體教材，探討學生經由此兩種教材學習「現代原子模型」科學概念的成效為何？並進一步探討 2D 和 3D 動畫何者較能有效幫助學生學習？



第二節 多媒體動畫與科學學習

過去一些研究指出，多媒體因具有多種表徵，包含聲音、圖像、文字等，較單一表徵能提供多種訊息來源，且不同型式之表徵組合會對學習成效有不同的影響 (Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2003)。因近年來多媒體融入教學的蓬勃發展，一系列的研究文章也逐漸問世，其中最為人們所關切的就是多媒體融入教學究竟如何幫助學生學習，其中機制為何？

Paivio (1969) 提出雙重編碼理論 (Dual Coding Theory)，根據此理論，Paivio 認為人們在處理訊息時，會分為圖像與語文兩種方式進行編碼以表徵訊息，經由編碼後的表徵便可進行操弄、儲存及方便日後的提取。如視覺圖像的部分會經由圖像編碼，產生心像表徵；而文字的部分則會經由語文編碼，產生符號表徵。Paivio (1975) 的研究認為人類對於圖像的記憶編碼獨立於語文的記憶編碼，圖像編碼與語文編碼會分開記憶，卻能透過兩邊的互動而提取出來，而對同一件事物若具有兩種記憶編碼，會比只具有其中一種記憶編碼的事物更容易被回想起來。

Baddeley 與 Hitch (1974) 首次提出工作記憶模型，同樣將記憶編碼分為視覺圖像與語文兩種，和 Paivio 不同的是，Baddeley 的語文編碼強調的是聽覺上的資訊，而 Paivio 則是強調語義上的資訊。兩者產生不同的原因為，Paivio 是強調長期記憶 (long term memory, LTM) 中的語義編碼；而 Baddeley 則是強調短期記憶 (short term memory, STM) 中的語音編碼 (Craik & Lockhart, 1972)。Baddeley 與 Hitch 原先提出的工作記憶模式包含三個部分：(1) 語音迴路 (phonological loop)，收錄與語音相關的訊息，等待中央執行器處理；(2) 視覺空間模板 (visuo-spatial sketchpad)，收錄與視覺圖像相關的訊息，等待中央執行器的處理；(3) 中央執行系統 (central executive)，負責協調與監控子系統的運作，整理聲音及影像的訊息。之後的研究中又加入了第四個部分，(4) 事件緩衝器 (episodic buffer)，作為一個限量的暫時儲存系統，可整合不同來源的訊息，由中央執行器所控制 (Baddeley, 2000, 2002, 2003)。

Sweller (1988) 依據 Baddeley 的工作記憶模型，提出認知負荷理論，認為每一訊息處理通道所能處理的訊息量十分有限，超過其所能處理的最大量即會產生認知負荷 (cognitive load)。因學生在認知過程中，訊息的處理是透過工作記憶，適當的多媒體融入教學能幫助學生學習，但不當的多媒體組合則會增加學生的認知負荷。Sweller (1994) 以教學設計的觀點切入，將認知負荷分為內在認知負荷 (intrinsic cognitive load)、外在認知負荷 (extraneous cognitive load) 及相關認知負荷 (germane cognitive load)。內在認知負荷來自教學內容難易程度的影響，無法藉由結構化的教學或調整教材呈現方式而改變；外在認知負荷來自教學內容的呈現方式對工作記憶的負載，可藉由適當的教學設計而降低；相關認知負荷則是用以處理建構及自動化基模。

Mayer (2001) 結合了 Paivio 的雙重編碼理論、Baddeley 的工作記憶模型、Sweller 的認知負荷理論，而提出了其多媒體學習理論，此理論認為人的學習會有三個假設：(1) 雙通道假設 (the dual channel assumption)，Mayer 應用 Paivio 的雙重編碼理論，認為人類會先將訊息轉換成視覺及語義的表徵，再整合以建立心智表徵；(2) 有限的能力假設 (the limited capacity assumption)，Mayer 應

用 Baddeley 的工作記憶模型與 Sweller 的認知負荷理論，認為每一通道能處理的訊息量有限，超過即會產生認知負荷；(3) 主動學習假設 (the active learning assumption)，Mayer 認為有意義的學習需由學習者主動選擇欲學習的訊息加以編碼、組織，以和其先備概念作一良好的連結。

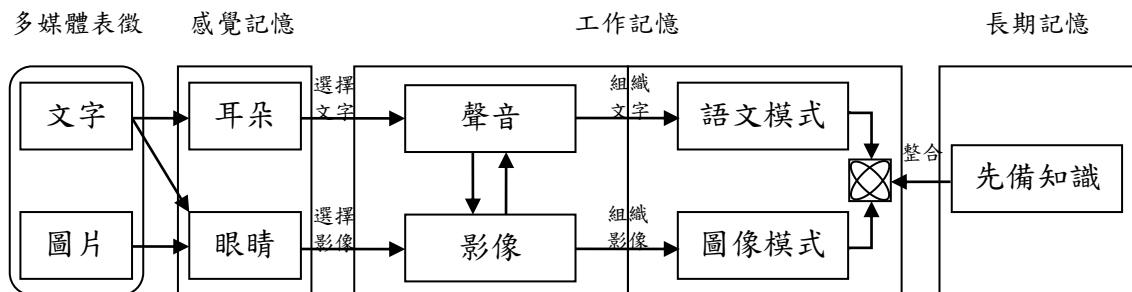


圖1

Mayer 的多媒體模型 (Mayer, 2001)

而在應用多媒體認知理論的研究下，現今關於教學動畫之研究，多數以認知負荷的角度切入，關注動畫本身之多重表徵的組合型式，例如「動畫加文字」、「動畫加聲音」，對學習成效的影響，普遍已得出結論，以「動畫加聲音」的對學生的學習有最佳之成效 (Mayer & Moreno, 2003)。

綜合以上所述，本研究所使用之多媒體動畫教材，整合先前各重要研究發現成果，採用過去研究指出最能有效幫助學習者學習的多媒體組合，以動畫加上聲音的模式製作而成，以期能帶給學習者最佳的學習成效。

動畫除了可依多重表徵的組合型式進行分類外，亦可以視覺空間的維度不同而分為 2D 動畫及 3D 動畫兩種型式。過去的研究指出，學生會因所欲學習的內容不同而選用 2D 或 3D 兩種不同的表徵進行學習，較為簡單的化學分子結構學生偏向使用 3D 立體結構表徵進行學習，但較複雜的化學分子結構學生則偏向使用 2D 平面表徵進行學習，若能讓學生自由選擇將 2D 和 3D 兩種表徵交替使用，則更能促使學生理解化學分子的立體結構 (Pavlinic, Buckley, Davies, & Wright, 2002)。

3D 的模擬動畫讓學生能夠清楚看到三度空間中分子在各方向的排列情形，

學生不需自己想像此微觀概念，故能降低學習過程中產生的認知負荷而達到較好的學習成效（Barnea & Dori, 1999; Copolo & Hounshell, 1995; Dori & Barak, 2001; Ealy, 1999; Williamson & Abraham, 1995; Wu, Krajcik, & Soloway, 2001）。

Urhahne 等人（2009）研究指出中學生在學習化學分子的結構及其特性時，使用 3D 模擬動畫進行學習的學習成效較使用 2D 模擬動畫進行學習的學習成效為佳，並達到顯著差異，但相同的單元內容應用在大學生身上，2D 和 3D 兩種型式的教材的學習成效卻沒有顯著差異，因此推測 3D 模擬動畫可幫助學生建構尚未學習過的科學概念之心智表徵，但針對已學習過的科學概念，因學習者本身已具備相關的心智表徵，故 3D 模擬動畫便無顯著效用。因研究中的大學生受試者，在中學時期已學過化學分子的結構與特性，故原先便已持有特定的心智表徵，而使得經由 2D 和 3D 模擬動畫學習後，無產生顯著的學習成效差別。

關於 2D 或 3D 兩種動畫之呈現型式，何者對於學生的科學學習有較佳的幫助，雖大部分研究皆支持 3D 動畫在與立體結構相關的科學概念上能帶給學習者較好的學習成效，但仍有少部分的研究並未產生一致的結論，故 2D 或 3D 究竟孰優孰劣，目前仍無一致的定論。而本研究所選用的「現代原子模型」科學概念，因單元內容內牽涉大量和立體空間結構相關的概念，依照先前大部分研究的發現，似乎使用 3D 動畫進行學習的成效會較佳，因此研究者，企圖以此角度切入，探討不同空間能力的學生，經由 2D 和 3D 不同型式之多媒體動畫進行學習後，其學習成效有何差異？3D 動畫是否較 2D 動畫有較佳的學習成效？

第三節 空間能力與科學學習

空間能力（spatial ability）是一種認知的能力，其定義因各理論觀點的不同而有差異。Lohman（1979）透過因素分析，歸納出十種不同類型的空間能力，其中三個最主要的因素包含視覺化（visualization）、空間定位（spatial orientation）和空間關係（spatial relation）。視覺化是指能將平面的圖形想像成為立體物體的能力；空間定位是指能從不同角度去觀察物體的能力；而空間關係則是指能利用心智操弄物體的能力。

科學概念中常有許多微觀且抽象的概念，需要透過心智的想像、觀察與操弄來學習，也因此緣故，許多研究者認為空間能力和科學概念的學習應有某種程度的相關。Urhahne 等人（2009）的研究指出視覺空間能力和科學概念性知識的獲得有顯著相關，且視覺空間能力顯著的影響學生在化學式平衡任務上的表現（Staver & Jacks, 1988）。其它研究也顯示，學生若具有較高的空間能力，可在某些化學概念的學習上有較深層的理解（Barke, 1993; Bodner & McMillen, 1986; Pribyl & Bodner, 1987; Yang, Andre, & Greenbowe, 2003）。除此之外，空間能力是可以被訓練的，過去有些研究顯示，透過一些視覺空間任務的訓練，提升學生的視覺空間能力，能有效提升學生在化學學習上的表現（Small & Morton, 1983; Tuckey, et al., 1991）。

Carter 等人（1987）以有機化學為主題，進行空間能力與有機化學學習間的關聯的研究，發現空間能力對於：(1) 學生需利用心智操作以解決 2D 化學分子表徵的問題，和 (2) 學生需具備高階層（如問題解決）認知技巧才能解決的問題有影響。此研究發現學生的空間能力和與空間相關的有機化學問題解決技巧上有顯著相關，空間能力較高的學生在解和空間有關的有機化學問題過程中，傾向畫一些圖像表徵來輔助解題，即使這些圖像表徵並非是題目本身所要求或需要的，而這些圖像表徵似乎可以幫助空間能力高的學生成功解決問題；反觀空間能力較低的學生則較少畫圖，且有較高的機率會畫出錯誤或是不適當的圖，而這項研究發現也和 Pribyl 與 Bodner（1987）的研究發現一致，顯示空間能力和問題解決技巧間存在一定的關聯。

透過文獻探討，研究者推測空間能力與科學學習、問題解決技巧間有相關性。除此之外，研究者更想進一步探討，空間能力高低是否會影響學生利用 2D 或 3D 多媒體動畫進行科學學習的成效？過去研究顯示，空間能力為理解 3D 視覺表徵的一個重要影響因素之一（Keehner, Montello, Hegarty, & Cohen, 2004）。而探討空間能力與 2D、3D 學習成果的研究結果目前出現兩種不同的假說：(1) 能力補償假說（ability-as-compensator hypothesis），是指空間能力低的學習者，透過圖形式的教材學習，能獲得較多的助益（Hays, 1996; Hegarty & Sims, 1994）；

(2) 能力增強假說 (ability-as-enhancer hypothesis)，是指空間能力高的學習者，透過 3D 教材學習，能獲得較多的助益 (Mayer, 2001; Mayer & Sims, 1994)。

Huk (2006) 以細胞生物學的概念為主題，設計一些 3D 模型來協助學生進行細胞生物學的學習，其研究結果發現，和空間能力低的學習者相比，3D 模型較能幫助空間能力高的學習者進行學習，而此研究發現似乎也可做為能力增強假說的再次證明。除此之外，此研究亦發現，對於空間能力較低的學習者，3D 模型會造成其產生過重的認知負荷，而使得其需花費更多的時間來建立細胞的心智模型；而對於空間能力較高的學習者，因其認知負荷還在工作記憶的限制範圍內，未超過認知負荷，相較於空間能力較低的學習者，其只需要利用一點時間便可成功建立細胞的心智模型，故可由 3D 模型獲得較好的學習助益。

本研究中所選用之「現代原子模型」主題，為微觀的科學概念，故研究者設計 2D 及 3D 兩種不同型式的多媒體動畫，使微觀概念以模型呈現方式來協助學生理解此單元主題。研究者認為學生應具備一定空間能力方能學習立體結構的概念，而「現代原子模型」單元內容中，原子模型中最重要的概念即為立體空間中軌域的形狀、軌域的方向性及其所能容納之電子數，對於國中學習過行星式原子模型的學生來說，具高度立體空間概念的現代原子模型，應是較困難的概念，且較難建立正確的心智模式。研究者認為，空間能力高的學生應較空間能力低的學生容易建構有關現代原子模型的心智模式。

基於研究者認為學生欲學習「現代原子模型」此單元之微觀科學概念，空間能力的高低是影響其學習成效的重要因素之一，故將空間能力作為研究的其中一個自變項，探討不同空間能力的學生，經由 2D 和 3D 不同型式之多媒體動畫進行學習後，其學習成效有何差異？空間能力和多媒體動畫型式兩自變項間是否會產生交互影響？

第四節 腦波與科學學習

大腦是人類進行認知活動的一個重要區域，人類由外界所接收到的刺激，大部分會傳送到大腦進行訊息處理，如編碼產生表徵、儲存表徵等，以便日後的提取。也因大腦與人類認知活動如此息息相關，科學家便不免好奇，究竟大腦是產生認知過程的學習機制為何？

過去醫學上透過研究腦傷病患時發現，大腦不同區域可能控制不同的認知機制，不同腦區受傷可能產生如失憶、失語症等不同的症狀。為了解人類認知歷程中，大腦的運作情形，部分研究者開始利用腦電圖（electroencephalogram, EEG）來探討不同學習狀況下，人類大腦腦波的變化情形。不同的大腦區域在進行不同的認知活動時，因大腦皮質內的神經細胞會藉由改變細胞膜對帶電離子的選擇性通透程度，因而產生電位差的變化以傳遞訊息，此電位變化即為腦波（brain wave）。當大量的神經細胞同時進行活動時，其所產生的電位差變化即可在頭皮上經由腦波儀加以測量與記錄，將所記錄的電位差變化訊號透過放大器加以放大後，以波的形式顯示所記錄到的腦細胞活動記錄圖，即為腦電圖。

腦波的分析方式有許多種，針對不同的研究目的可採用不同的分析方式，以協助我們理解不同狀況下，腦部電位變化所代表的意義為何。截取特定事件相關時的腦波，以多次平均的方式消去與事件無關的電位活動，以抽取只跟事件相關的成分進行分析，稱為事件關聯電位（Event-Related Potential, ERP）。而直接利用快速傅立葉轉換（fast fourier transformation, FFT）將腦波分解為不同的頻譜，以比較不同情境下某段頻率的平均功率是否有差異，則是另一種常見的分析方式。

過去許多和腦波相關的研究都聚焦在 α 波（7.5-13Hz）的部分，越來越多的證據指出 α 波的功率大小和心智努力（mental effort）成反比，意即當 α 波的功率越大時，所花費的心智努力就越少（Butler & Glass, 1976; Donchin, Kutas, & McCarthy, 1977; Glass, 1964; Gutierrez & Corsi-Cabrera, 1988; Nunez, 1995）。Klimesch 等人更進一步將 α 波細分為 upper α (10.3–12.3 Hz) 和 lower α (8.3–10.3 Hz) 兩部分，以找出其和心智功能間更精細的關聯。研究發現 θ 波和 lower

α 主要和事實性記憶 (episodic memory) 和注意力處理相關，而 upper α 則主要和語意性記憶 (semantic memory) 處理相關 (Klimesch, Doppelmayr, Pachinger, & Ripper, 1997; Klimesch, Doppelmayr, Schimke, & Ripper, 1997)。

同調性 (coherence) 是接收位於頭皮表面不同電極位置的腦波，計算其間的相關性用以解釋大腦間的訊息傳遞 (von Stein, Rappelsberger, Sarnthein, & Petsche, 1999; Weiss & Rappelsberger, 2000)，同調性高表示大腦各腦區間的訊息傳遞旺盛，腦區間的連結強。

目前已知許多文獻支持多媒體教材有利促進學習者的學習，但即便如此，究竟實際的促進機制為何尚不能完全確定，因我們無法直接觀察人類的認知歷程，故只能利用其他形式的測驗或任務來量測學習者的學習情形，進而推論其可能之學習認知歷程。為能更深入了解人類思考的過程，可藉由如心跳、血壓或腦部電位活動等生理變化與人類認知處理間的相關性，以了解人類的認知歷程為何 (Kuhman, Lachnit, & Vaitl, 1985)。其中，觀察人類學習時的腦部電位變化是一個簡單且有效的方法，因此，現今已有部分學者從人類學習時腦波變化的角度切入，探討學生經由多媒體教材學習時的腦波變化為何。

Gerě and Jaušcvec (1999) 以預備教師為對象，研究受試者經由文本 (text)、圖片 (picture) 與影像 (video) 三種不同表徵的教材進行學習時，其腦波變化為何。研究結果發現受試者使用文本表徵進行學習時，其枕葉 (occipital lobes) 和顳葉 (temporal lobes) 的 α 波功率較高 (心智活動較低)，額葉 (frontal lobes) 的 α 波功率較低 (心智活動較高)。相反的，使用圖片和影像兩種多媒體表徵進行學習時，其枕葉和顳葉的腦部活動增加。枕葉被認為是處理視覺訊息，顳葉則是處理語音訊息，此結果支持多媒體確實能幫助學習者有效地進行訊息的處理，而文本則是花費了學習者較多的心智活動。

Gerě and Jaušcvec (2001) 更進一步研究，受試者經由文本與多媒體課程兩種不同的學習表徵進行物理相關課程的學習時，其腦波變化為何？研究結果發現使用多媒體學習的 α_1 與 α_2 在顳葉與枕葉處顯著低於使用文本學習。另外，研究亦發現在文本學習有較高的同調性，顯示大腦間訊息傳遞較頻繁，因此可

知文本學習比多媒體學習需要更多大腦區域間的連結。此研究結果可顯示，腦波的測量確實可以協助我們了解人類進行認知活動時的腦部變化情形，因而推論出可能的認知歷程機制。

Sauseng 等人（2005）利用一系列 top-down 的視覺空間任務，進行 α 波的去極化與工作記憶中視覺空間訊息處理兩者間關係的探討，其研究結果發現，與記憶保留的階段相比，受試者在操作的階段，其前額葉（prefrontal lobes）的 α 波功率增加較多，枕葉的 α 波則降低較多。依研究的結果推論，人類處理視覺空間的訊息會先從前方傳送至後方視覺處理區進行處理，但需應用資訊進行操作時，會將資訊傳至前額葉進行處理。由此研究可知，EEG 確實可用來探知人類認知歷程的機制為何。

除了探討不同多媒體表徵對腦波的影響外，多媒體教材對科學學習的成效上仍有許多未知的面向，而針對 2D 或 3D 動畫結合腦波的研究目前尚不多見，因此本研究企圖以此角度切入，探討學習者使用 2D 和 3D 兩種不同型式的動畫進行學習時，其腦波變化有何不同。

Kim 等人（2005）利用虛擬實境結合包含腦波等各式生理現象變化研究 cybersickness 的病徵，其研究發現在受試者經歷虛擬實境的過程中，在 F3 和 T3 的位置 δ 波的功率增加，在 F3 和 P3 的位置 slow β 的功率降低，在 T3 的位置 β 波則是從頭到尾都維持一定。因此我們可知，當人們在處理和空間相關的訊息時，在腦波的部分可能會產生如上述的變化。3D 動畫較 2D 動畫偏向虛擬實境的特質，故可觀察經由 3D 動畫學習的學習者，在 F3、T3 和 P3 的位置，是否也產生相同的腦波變化，藉此比較 2D 和 3D 兩者所傳遞之空間訊息是否有所不同。

透過文獻探討，可發現腦波變化結合多媒體學習或是認知活動的研究探討，目前已有一些結果。而針對 2D 或 3D 動畫結合空間能力在腦波變化的研究則尚不多見，因此研究者企圖以此角度切入，探討學生經由 2D 或 3D 不同型式動畫學習歷程中，其腦波變化有何不同？空間能力的不同是否會影響學生在經由 2D 或 3D 動畫多媒體教材學習時的腦波差異？其差異為何？

第五節 眼動與科學學習

眼球追蹤技術（eye tracking）是一種能藉由測量受測者眼球凝視位置而觀察到受測者在看哪裡的技術，目前普遍用作探討受測者認知過程的工具之一，一些學者認為在人們的認知過程中，其視覺所見與其思考間應有一些關聯存在（Just & Carpenter, 1980）。為探討人類視覺所見與其認知過程間究竟有何相關之處，現今許多研究者便利用眼球追蹤技術進行人類閱讀行為與其閱讀活動期間之眼動變化情形兩者間關聯的研究（Juhasz & Rayner, 2003; Just & Carpenter, 1980, 1984; K. Rayner, 1998; Williams & Morris, 2004）。

人類進行閱讀時的眼動技巧包含凝視（fixations）、掃視（saccades）和回視（regressions）（Keith Rayner, 2001）。以一般的閱讀行為來說，過去研究指出，當讀者以正常速度閱讀文章時，若讀到低頻字，則眼睛會有較長的凝視時間，且讀者對於內容字的凝視比例高於功能字（Just & Carpenter, 1980, 1984）。而當讀者在閱讀整合文字和圖像的文件時，傾向花費較多的時間在閱讀文字上，凝視點也大多停留在文字區域內；但在凝視時間及掃視軌跡路線兩部分數據則是圖像部分較文字部分長。大部分的讀者會傾向先凝視較大的字體，接著是較小的字體，最後才是圖像（Keith Rayner, Rotello, Stewart, Keir, & Duffy, 2001）。

過去認知心理學結合眼球追蹤技術的研究中，大部分都是在探討人類閱讀的相關認知技巧。近年開始，部分學者以認知的角度切入，以眼球追蹤技術作為工作，來探討多媒體學習的可能機制。以往無論是 Mayer 所提出之多媒體學習理論，亦或是 Sweller 所提出的認知負荷理論，其研究證據都是透過各式各樣的成就表現（如轉化測驗或計時任務）來下結論，而經由知覺過程中所產生之直接感官證據（如眼動變化歷程）則較少，因此若能運用眼球追蹤技術來探討多媒體學習歷程中眼動的變化，應能為人類經由多媒體材料學習的認知過程有更進一步的發現，以作為多媒體學習理論的另一佐證資料。

Van Gog 與 Scheiter（2010）整合多篇眼球追蹤技巧結合多媒體學習或是多重表徵學習的研究結果，指出在多媒體學習或多重表徵學習的過程中，所記

錄下來的眼球追蹤數據，包含視覺上的注意位置、注視順序、凝視時間長短等資料，至少可以有三種以上的用途。首先，這些眼球追蹤數據可以提供一些過去研究上已發現的效果更進一步的詳細說明，如分散注意力效果 (split-attention effect)、形式效果 (modality effect)、重複效果 (redundancy effect)、目標專一效果 (goal-specificity effect) 等，因而可用來幫助產生或作為解釋這些效果的佐證。其次，這些眼球追蹤數據可用作改進多媒體教材設計的依據，若能了解學習者如何運用多媒體教材學習知識的過程，可協助提升多媒體教材的使用成效。

由以上所述可知，在多媒體學習結合眼球追蹤技術的研究上，目前已有一些豐碩的研究成果。除此之外，近年來已有學者將眼球追蹤技術與科學學習結合進行研究，試圖探討學生科學學習過程中的眼動變化為何，此變化和科學學習成效間有何關聯。

She 與 Chen (2009) 以遺傳單元中的細胞分裂和減數分裂為主題，探討學生經由不同組合之多媒體教材（動畫 vs. 模擬、聲音 vs. 文字）學習此兩種科學上的微觀概念時，各組學生眼動變化的差異。其研究結果發現，當學生利用動畫加聲音學習時，其所花費的時間與凝視的時間顯著較動畫加文字組多；而在模擬組的狀況則正好相反，當學生利用模擬加文字學習時，其所花費的時間與凝視的時間顯著較模擬加聲音組多。當學生所花費的凝視時間越長時，其學習成效越好。因此可推知，學生凝視教材的時間越長，其訊息處理的過程也越長，因此可以得到較好的學習成效。

透過文獻探討，可發現眼球追蹤技術結合多媒體學習的研究設計，大多數聚焦在探討不同型式之多重表徵搭配（如動畫搭配語音或動畫搭配文字）、不同型式的線索提示，或是不同播放速度對學習的影響 (van Gog & Scheiter, 2010)。而針對 2D 或 3D 動畫或是空間能力在眼球追蹤變化數據的研究則尚不多見，因此研究者企圖以此角度切入，探討學生經由 2D 或 3D 不同型式動畫學習歷程中，其眼球追蹤數據有何差異？若 3D 動畫較 2D 動畫對學生有較佳的學習輔助，應用過去的研究發現可推測，學生在 3D 動畫的特定關鍵區域可能會產生較長的凝

視時間，以充分進行訊息處理，達到較好的學習成效。

因此本研究將進行以下問題進行探討，比較學生對於 2D 或 3D 動畫多媒體學習教材所產生的注意力、凝視區域、凝視時間是否不同？主要差異為何？此差異如何影響學生的學習成效？另外，空間能力的不同是否會影響學生在經由 2D 或 3D 動畫多媒體教材學習時的注意力、凝視區域、凝視時間等項目上產生差異？其差異為何？





第三章 研究方法

本研究是探討高中一年級學生經由 2D 或 3D 兩種其中之一多媒體動畫內容，學習「現代原子模型」單元的科學概念，其學習歷程及學習成效為何，並同時記錄學生在學習過程中之腦波變化與眼動變化情形。研究採用準實驗設計的方式進行。本章共分為六節，內容包含本研究的研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計以及資料的蒐集與分析。

第一節 研究對象

本研究的研究對象為新竹縣某高中的一年級學生，共 60 名學生為受試者。參與本研究之所有學生均未學習過「現代原子模型」單元的科學概念，因受試者之年齡未滿法定成年之標準，在經由監護人簽署同意書後，均為自願參與研究。



第二節 研究設計

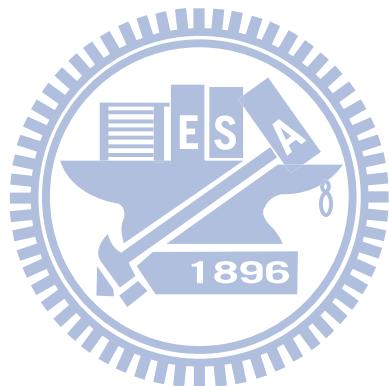
本研究採用準實驗研究設計法，60 名高中一年級學生作為研究對象，進行「現代原子模型」單元的多媒體網路教學。多媒體教學進行前，先施以科學概念成就測驗前測、科學概念心智模式測驗前測及空間能力測驗等三項測驗。

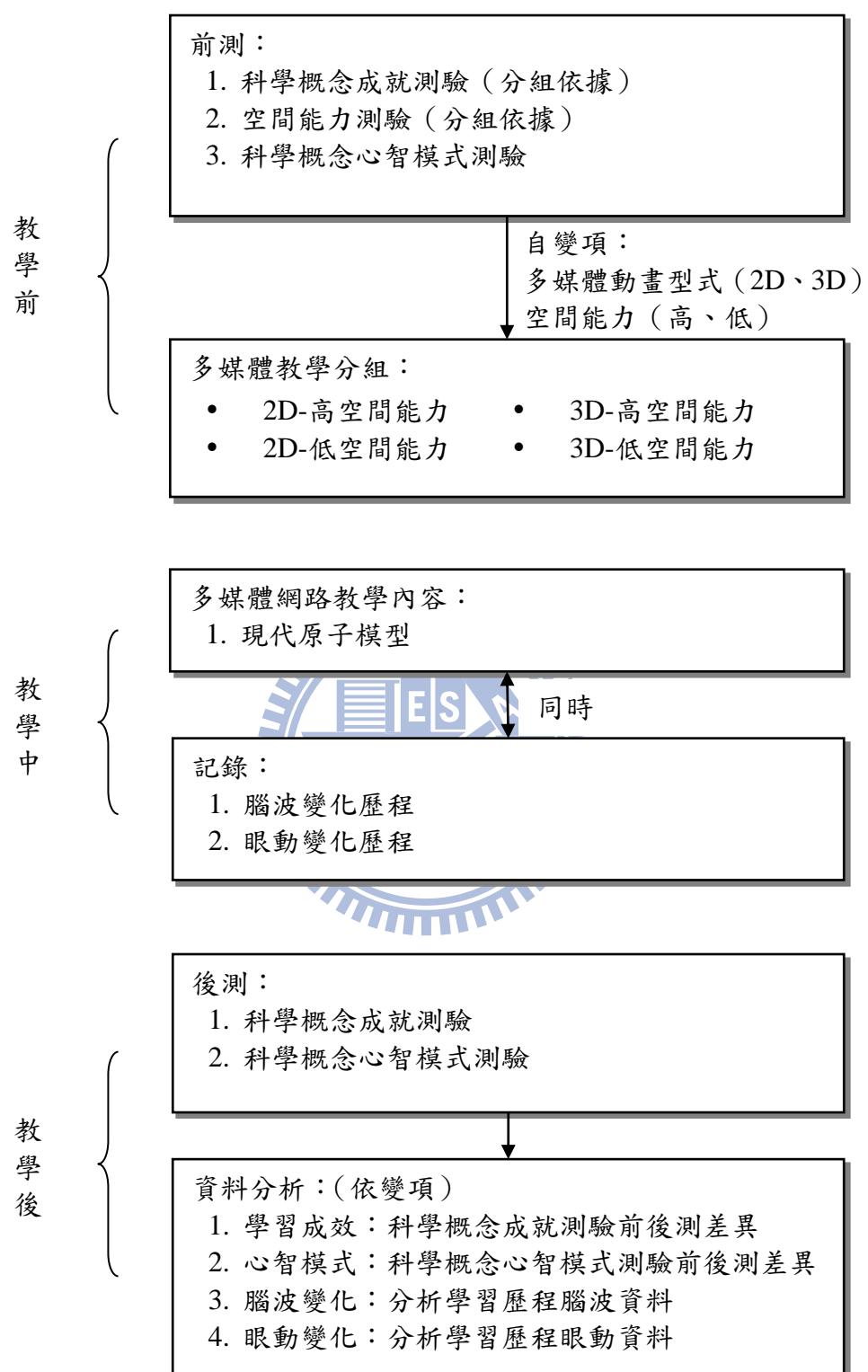
本研究之自變項為多媒體動畫型式（2D、3D）及空間能力（高、低），依研究需要利用科學概念成就測驗前測結果將此 60 名學生指定分配到 2D 及 3D 組兩個不同組別，每組人數均為男生 18 人，女生 12 人，此兩組學生在科學概念成就測驗前測成績未達顯著差異。

兩組學生使用不同型式之多媒體動畫進行網路學習，一組學生利用 2D 動畫進行學習，稱為 2D 組；一組學生利用 3D 動畫進行學習，稱為 3D 組。2D 及 3D 兩組學生再依組內學生之空間能力測驗成績，細分為 2D-高空間能力、2D-低空間能力、3D-高空間能力、3D-低空間能力四小組。

學生在學習多媒體動畫課程時的腦波變化及眼動變化兩項資料會同時被記

錄，以探討學生利用 2D 或 3D 動畫教材進行學習時，其腦波變化及眼動變化為何。待學生學習完畢，施以科學概念成就測驗後測及科學概念心智模式測驗後測，藉由前、後測結果比較之差異，探討 2D 及 3D 動畫教材對學生學習科學概念之學習成效、心智模式建構、眼動模式變化及腦波動態歷程的差異為何。





第三節 研究流程

本研究的研究流程主要分為三個階段，第一階段為事前的研究準備工作，第二階段為學科概念之教學與過程記錄，第三階段為後續的資料彙整與分析。以下針對此三階段作較為詳細的說明：

1. 研究準備：

此階段包含研究方向及研究問題的確立，進而收集過往文獻進行分析，找出可參考之研究發現或是理論架構的依據，並進行研究計畫的撰寫。除研究計畫的撰寫之外，還需與專家學者及專業教師進行研究工具的設計，包含教學動畫及網站的建置、發展「現代原子模型」科學概念之學習成就測驗、發展「現代原子模型」科學概念之心智模式測驗、空間能力測驗的購買與翻譯、腦波儀與眼動儀的運作測試。待各研究工具設置完成後，選定研究對象，實施科學概念成就測驗前測及空間能力測驗，並利用科學概念成就測驗前測之成績將研究對象進行分組。

2. 多媒體動畫教材網路教學：

此階段主要是請研究對象利用已設置好之多媒體動畫教學網站進行「現代原子模型」科學概念之學習，並在學習過後進行科學概念成就測驗後測及科學概念心智模式測驗後測。在進行線上學習的過程中，同時利用腦波儀和眼動儀記錄研究對象學習時的腦波動態歷程和眼動模式變化。因教學過程中學生可自行操控學習速度，故每位學生花費於網路多媒體課程的學習時間不一，範圍約在 20 分鐘至 40 分鐘之間。

3. 資料彙整與分析：

此階段主要是將研究過程中所蒐集到之各類資料做彙整以及進一步的分析，最終歸納整理出研究的結果。針對研究結果與專家進行討論，同時與他人之研究結果作比較，撰寫研究報告。

第四節 研究工具

本研究所運用之研究工具包含科學概念成就測驗、空間能力測驗、科學概念心智模式測驗、科學概念心智模式測驗結果質性分析表、腦波儀、眼動儀、網路多媒體課程、科學概念建構數位學習網及 SPSS 統計分析軟體等九項。以下針對此九項目作詳細之說明：

1. 科學概念成就測驗：

本測驗（附件二）用於檢測學生對於現代原子模型單元科學概念的學習成效，由研究者與 3 位中學科學教師、3 位科學教育博班生，以及一位科教學者共同設計發展，以求內容效度。測驗內容為現代原子模型單元中相關之科學概念之測驗題，測驗題型為二階層單一答案選擇題，題數共 18 題，每小題答對者給 1 分，Cronbach's α 值前測為 0.71，後測為 0.86。

2. 空間能力測驗：

本研究所使用之空間能力測驗購買於 ETS 美國教育考試服務中心，採用 Kit of Factor-Referenced Cognitive Tests (1976 Edition) 中兩份和空間能力測定有關之測驗卷，由研究者將其內容翻譯為中文，以便受試者進行測驗。

第一份為卡片旋轉測驗，題數共 20 題 (Cronbach's α 值為 0.97)，用以測量平面空間能力；第二份為方塊旋轉測驗，題數共 42 題 (Cronbach's α 值為 0.82)，用以測量立體空間能力。兩份測驗皆為計時測驗，計分方式參照測驗使用手冊計分。

3. 科學概念心智模式測驗：

本測驗（附件三）用於探索學生對於現代原子模型所理解之心智模式為何。測驗題目是由研究者與 3 位中學科學教師、3 位科學教育博班生，以及一位科教學者共同設計發展，以求內容效度。測驗內容包含現代原子模型心智模式題 2 題，轉化應用題 1 題。

4. 科學概念心智模式測驗結果質性分析表：

依照學生在科學概念心智模式測驗的回答內容，由研究者與一位科學教育學者共同製定質性資料編碼分析表，再由兩位科學教育碩士班學生共同進行質性資料之編碼與分析，以檢測評分者信度。若在編碼分析過程中產生有疑義之編碼問題，則所有編碼人員需共同進行討論，以產生最終定案。本研究所採用之「現代原子模型」質性資料編碼分析表，評分者信度為 0.94，詳細內容請見附錄四。

5. 腦波儀：

本研究所使用的腦波放大器為 SynAmps2，其具有高時間解析度，取樣頻率為 1000Hz，能將腦波圖（eletroencephalography, EEG）依照同一事件觸發的腦波訊號平均並累加，藉此可獲得腦部認知運作時的量化資料。

6. 眼動儀：

本研究所使用的眼球凝視追蹤系統為 Eyelink，利用鏡頭捕捉眼球凝視軌跡的歷程變化，可利用程式計算其在固定時間特定區域內之凝視時間、凝視次數、眼球移動軌跡等量化資料。



7. 網路多媒體課程：

本研究所使用之網路多媒體課程，課程內容包含學科概念內容及穿插測驗題兩部分。學科概念內容又細分為平面動畫頁面、立體動畫頁面及文字說明頁面，平面動畫頁面及立體動畫頁面兩部分皆有旁白解說。網路多媒體課程依照立體動畫頁面中動畫型式的不同，又分為 2D 版及 3D 版兩種版本，兩種版本之唯一差異為 2D 版在立體動畫頁面中之動畫播放過程全程皆採同一視角，3D 版則是在立體動畫頁面中之動畫播放過程中變換多個視角。除此之外，其餘課程內容包含平面動畫頁面、文字說明頁面及穿插測驗題頁面等部分，2D 版及 3D 版呈現方式均完全相同。

8. 科學概念建構數位學習網：

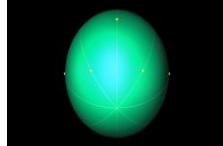
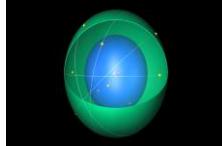
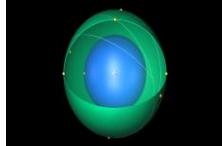
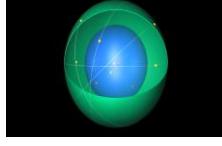
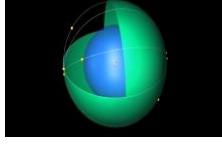
本研究所使用之教學網站內容由研究者與專家學者共同討論設計「現代原子模型」科學概念之課程內容，再請坊間動畫設計師協助進行動畫之製作，最後建置於「科學概念的建構與重建數位學習研究」的 Web Server 下，Web Server 使用 Apache Server，主要程式使用 PHP 語言所撰寫，再配合 MySQL 資料庫為資料儲存系統。

9. SPSS 統計分析軟體：

本研究所使用之統計分析軟體為 SPSS 18 中文版，研究中之敘述性統計分析及推論性統計分析皆使用此軟體進行統計分析，再將分析結果彙整為各式圖表。

第五節 教學設計

本研究所使用之教材為網路多媒體課程，由學生單獨使用一台電腦進行網路多媒體課程之學習，學習過程中，學生具有控制學習速度之操控權，可自行選擇何時進入下一頁面，但不可倒回上一頁再次觀看已觀看過之課程內容。課程主題為「現代原子模型」單元主題，詳細課程內容架構請參考附件一。以下針對「現代原子模型」單元挑選一個主題概念作 2D 及 3D 版本之比較，2D 版動畫全程皆採同一視角，3D 版則是在過程中變換多個視角：

概念：介紹行星式原子模型。			
2D	2D 版皆為同一視角，第二張圖開始是綠色球殼被打開，以觀看球殼內部情形。		
2D			
3D	3D 版在第三張圖時已轉換視角至模型側邊觀看。		
3D			

第六節 資料蒐集與分析

本研究設計包含空間能力與多媒體動畫型式兩個自變項，為 2×2 的二因子實驗設計，探討不同空間能力學生（能力高、能力低）經由不同型式多媒體動畫（2D、3D）教材學習之學習成效為何。研究中所蒐集到之資料分為量化資料及質性資料兩種，量化資料包含空間能力測驗成績、科學概念成就測驗前後測成績、腦波變化數據及眼動變化數據；質性資料則包含科學概念心智模式測驗結果。以下針對各項目的分析方式作詳細之說明：

1. 空間能力測驗成績：

利用測驗使用手冊所列之計分標準進行分數之計算，並利用卡片旋轉測驗之測驗成績進行平面空間能力之分組（高平面空間能力、低平面空間能力），利用方塊旋轉測驗之測驗成績進行立體空間能力之分組（高立體空間能力、低立體空間能力）。分組依照受試者在空間能力測驗之成績，由高至低排序，取前 40% 高分者為高空間能力組，後 40% 為低空間能力組，藉以比較空間能力高低是否影響學生利用 2D 或 3D 動畫學習的學習成效。

2. 科學概念成就測驗前、後測成績：

利用此測驗前測成績進行分組（2D 動畫、3D 動畫），比較 2D、3D 兩種動畫型式是否影響學生學習的學習成效。

利用二因子（多媒體動畫型式、空間能力）單變量共變數分析（2-way ANCOVA）統計方法比較不同空間能力學生（能力高、能力低）經由不同型式多媒體動畫（2D、3D）在科學概念成就測驗前測及後測成績的差異情形，探討哪一組別學生有較好的學習成效。再利用單因子單變量共變數分析（1-way ANCOVA）統計方法，比較 2D 及 3D 兩組學生在科學概念成就測驗前測及後測成績的差異情形是否有所不同。

3. 科學概念心智模式測驗結果：

利用研究者與一位科學教育學者所共同製定之科學概念心智模式測驗結果質性分析表，將學生在科學概念心智模式測驗前測及後測回答之質性資料進行

編碼，再依編碼結果轉成量化之分數，以進行統計分析。利用單因子單變量共變數分析（1-way ANCOVA）統計方法，比較 2D 及 3D 兩組學生在科學概念心智模式前測及後測成績的差異情形是否有所不同。

4. 眼動變化數據：

課程內容僅選用動畫部分之主要概念頁面，分出 150 x 150 像素之關鍵區。依據學生學習過程中所記錄到之多媒體動畫各主要概念頁面的眼動資料，計算全域之凝視時間、掃視時間、平均凝視點時間及平均掃視時間，關鍵區內之凝視時間、掃視時間、回視時間、平均凝視點時間、平均掃視時間及平均回視時間等十項資料。

利用二因子(多媒體動畫型式、空間能力)單變量變異數分析(2-way ANOVA)統計方法，比較不同空間能力學生觀看不同型式多媒體動畫時，眼動變化模式是否有所不同。再利用單因子單變量變異數分析（1-way ANOVA）統計方法，比較 2D 及 3D 兩組學生在觀看不同型式多媒體動畫時，眼動變化模式是否有所不同。以及利用重複量數（repeated measure）比較 2D 及 3D 兩組在觀看立體動畫頁面及平面動畫頁面時的眼動變化模式差異為何。

5. 腦波變化數據：

腦波資料的處理使用 Neuron Scan 4.4 套裝軟體分析，先去除明顯雜波、眼電等干擾訊號後，再依不同事件，如學習前、文字頁面、動畫頁面、問題頁面等，分段匯出 θ 波 (4-8 Hz)、upper α 波 (10-13 Hz) 及 upper β 波 (18-25 Hz) 之功率強度平均值，以進行統計分析。

本研究僅選用課程內容中動畫頁面部分以及學習前一小段之腦波資料，進行統計分析。利用二因子(多媒體動畫型式、空間能力)單變量共變數分析(2-way ANCOVA)統計方法，以學習前 1.5 秒之腦波資料當作共變數，比較不同空間能力學生觀看不同型式多媒體動畫時，腦波動態歷程是否有所不同。再利用單因子單變量共變數分析（1-way ANCOVA）統計方法，比較 2D 及 3D 兩組學生在觀看不同型式多媒體動畫時，腦波動態歷程是否有所不同。以及利用重複量

數 (repeated measure) 比較 2D 及 3D 兩組在觀看立體動畫頁面及平面動畫頁面時的腦波動態差異為何。

除此之外，另外鎖定額葉區之 FZ、頂葉區之 CZ、顳葉區之 PZ 及枕葉區之 OZ 等四個電極位置，利用事件相關頻譜變化 (Event-related spectral perturbation，ERSP) 分析來計算學習事件發生前後之頻譜變化，藉此觀察各腦區之腦部活動在不同時間點上的頻譜差異。



第四章 研究結果與討論

本章主要依據科學概念成就測驗、科學概念繪圖測驗、眼動記錄資料及腦波記錄資料之結果，進行統計分析及質性分析，藉以了解不同空間能力的高中生經由不同型式之網路多媒體動畫學習後，在現代原子模型單元之科學概念學習成效、腦波動態歷程、眼動模式及心智模式上有何不同。

第一節 不同平面空間能力學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程分析

1. 科學概念成就測驗資料分析

為了瞭解網路多媒體動畫課程型式及平面空間能力對學生在現代原子模型單元科學概念建構的影響為何，於學習前後實施二階層成就測驗，並將其前測總分與後測總分進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的網路多媒體動畫組別及平面空間能力組別作為自變數，科學概念成就測驗前測成績作為共變數，後測成績作為依變數，進行二因子單變量共變數分析。推論性統計之二因子單變量共變數分析結果如表1所示。

表1

現代原子模型科學概念成就測驗前測和後測之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
	前測				0.21	0.645	
科學概念成就測驗	動畫型式	2D	24	23.42	4.93	0.00	0.975
		3D	24	23.54	4.69		
	平面空間能力	高	24	25.42	3.32	8.44 ^{**}	0.006
		低	24	21.54	5.24		高>低
	交互作用				0.38	0.539	

註：^{**}p<0.01

由表 1 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上並無顯著差異，但平面空間能力高之學生與平面空間能力低之學生在現代原子模型科學概念成就測驗上則達到顯著差異 ($F=8.44, p=0.006$)，且兩者間的交互作用未達顯著，因此可推論平面空間能力確實為影響學生學習成效的因素。平面空間能力高的學生在現代原子模型科學成就測驗的表現比平面空間能力低的學生為佳。

2. 眼動模式資料分析

為了瞭解不同平面空間能力的學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其眼動模式的差異為何，將其在學習期間所記錄到之眼動資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別及平面空間能力組別作為自變數，全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間、全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間等十項各別作為依變數，分別進行二因子單變量變異數分析。推論性統計之二因子單變量變異數分析結果如表 2 及表 4 所示。

表2

眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視點 平均時間	動畫型式	2D 24	474.52	85.87	1.08	0.304	
		3D 24	510.20	152.26			
	平面空間能力	高 24	453.30	80.36	5.18*	0.028	低>高
		低 24	531.42	146.90			
交互作用					0.52	0.474	

(續下頁)

全域掃視 平均時間	動畫型式	2D	24	2.51	0.61	0.99	0.326
		3D	24	2.36	0.39		
	平面空間能力	高	24	2.55	0.57	2.38	0.130
		低	24	2.32	0.42		
交互作用					0.07	0.798	
關鍵區凝視 點 平均時間	動畫型式	2D	24	564.24	161.15	1.08	0.304
		3D	24	621.45	227.73		
	平面空間能力	高	24	540.50	91.87	3.62	0.064
		低	24	645.19	255.70		低>高
交互作用					1.64	0.207	
關鍵區掃視 平均時間	動畫型式	2D	24	1.21	0.15	0.50	0.481
		3D	24	1.17	0.21		
	平面空間能力	高	24	1.22	0.14	1.22	0.276
		低	24	1.16	0.21		
交互作用					4.81 [*]	0.034	
關鍵區回視 平均時間	動畫型式	2D	24	541.11	135.64	1.04	0.314
		3D	24	592.95	221.43		
	平面空間能力	高	24	530.69	101.54	2.04	0.160
		低	24	603.37	236.15		
交互作用					3.92	0.054	

註：^{*} p<0.05

由表 2 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間及關鍵區回視平均時間等四項上皆無顯著差異，不同平面空間能力的學生在全域掃視平均時間及關鍵區回視平均時間等二項上並無顯著差異，但在全域凝視點平均時間 ($F=5.18, p=0.028$) 達到顯著差異，在關鍵區凝視點平均時間 ($F=3.62, p=0.064$) 上則將近達到考驗水準.05 顯著差異，且組別及平面空間能力兩者間的交互作用未達顯著，因此可推論平面空間能力確實為影響學生在全域平均凝視時間及關鍵區平均凝視時間差異等二項眼動變化模式的因素，而平面空間能力低的學生在全域及關鍵區的平均凝視時間皆較平面空間能力高的學生來得長。關鍵區掃視平均時間出現交互作用，其單純主要效果考驗摘要表如表 3 所示。

表3

眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析單純主要效果考驗摘要表

項目	分組	F.	p.	Post-hoc
關鍵區掃視	動畫型式	2D	0.78	0.387
		3D	4.38*	0.048 高>低
平均時間	平面空間能力	高	1.66	0.211
		低	3.15	0.090

註：^{*} p<0.05

由表 3 的結果顯示，3D 組內之不同平面空間能力學生在關鍵區掃視平均時間達到顯著差異 ($F=4.38, p=0.048$)，經由事後比較之後，發現平面空間能力高學生之關鍵區掃視時間較平面空間能力低學生來得長。

表4

眼動變化模式之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視時間	動畫型式	2D 24	69690.69	10860.37	3.98	0.052	3D>2D
		3D 24	75358.29	8448.56			
	平面空間能力	高 24	71118.79	9919.77	0.98	0.328	
		低 24	73930.19	10176.42			
交互作用					0.00	0.945	
全域掃視時間	動畫型式	2D 24	341.17	109.64	0.00	0.954	
		3D 24	339.47	95.27			
	平面空間能力	高 24	367.20	105.73	3.39	0.072	高>低
		低 24	313.44	91.72			
交互作用					0.05	0.820	

（續下頁）

關鍵區凝視 時間	動畫型式	2D	24	45998.69	15830.42	3.85	0.056	3D>2D
		3D	24	54629.95	14267.60			
關鍵區掃視 時間	平面空間能力	高	24	49843.39	12593.82	0.05	0.831	
		低	24	50785.25	18274.80			
交互作用						0.96	0.333	
關鍵區回視 時間	動畫型式	2D	24	69.39	27.19	3.99	0.052	3D>2D
		3D	24	86.49	31.71			
關鍵區凝視 時間	平面空間能力	高	24	83.11	28.62	1.46	0.234	
		低	24	72.77	31.97			
交互作用						0.15	0.699	
關鍵區掃視 時間	動畫型式	2D	24	26545.47	9406.34	2.87	0.097	3D>2D
		3D	24	30500.25	6944.08			
關鍵區回視 時間	平面空間能力	高	24	30220.87	6879.37	2.11	0.153	
		低	24	26824.85	9566.44			
交互作用						1.92	0.172	

由表 4 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全域掃視時間上並無顯著差異，但在全域凝視時間 ($F=3.98, p=0.052$)、關鍵區凝視時間 ($F=3.85, p=0.056$)、關鍵區掃視時間 ($F=3.99, p=0.052$) 及關鍵區回視時間 ($F=2.87, p=0.097$) 等四項上接近考驗水準.05 顯著差異，且皆為 3D 組大於 2D 組。不同平面空間能力的學生在全域凝視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間及關鍵區回視時間等四項上並無顯著差異，但在全域掃視時間 ($F=3.39, p=0.072$) 將近達到考驗水準.05 顯著差異，平面空間能力高的學生的全域掃視時間較平面空間能力低的學生來得長。在組別及平面空間能力兩者間的交互作用則未達顯著。因此可推論組別及平面空間能力確實為影響學生在全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間及關鍵區回視時間等五項眼動變化模式差異的因素。

由以上結果可推論，因 3D 組的學生無論是在全域或是關鍵區的凝視時間均較 2D 組長，3D 組在關鍵區的掃視時間及回視時間也較 2D 組長，顯示 3D 組學生需花費較長的時間觀看課程內容。平面空間能力低的學生較平面空間能力高的學生花費較長的平均凝視時間，顯示平面空間能力低的學生需花費較長的時

間觀看課程內容，而平面空間能力高的學生在全域掃視時間及關鍵區掃視平均時間較平面空間能力低之學生來得長，顯示平面空間能力高的學生花費較長的時間在掃視螢幕畫面。

3. 腦波動態歷程資料分析

(1) 平均功率值統計分析

為了瞭解不同平面空間能力的學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其腦波動態歷程的差異為何，將其在學習期間所記錄到之腦波資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別及平面空間能力組別作為自變數，學習前之θ波(4~8Hz)、upper α波(10~13Hz)及upper β波(18~25Hz)等頻率之平均功率值分別作為共變數，動畫頁面之θ波、upper α波及upper β波等頻率之平均功率值分別作為依變數，進行二因子單變量共變數分析。θ波、upper α波及upper β波之推論性統計分析之二因子單變量共變數分析結果如表5、表7及表8所示，θ波之單純主要效果摘要表如表6所示。

表5

θ波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	1000 (ms)	F1	學前基準				2.84	0.099	
			動畫型式	2D 24	0.145	0.047	4.65*	0.037	3D>2D
			平面空間能力	3D 24	0.180	0.075			
		FZ	高	24	0.168	0.065	0.11	0.746	
			低	24	0.156	0.065			
			交互作用				0.97	0.329	
額葉區	2000 (ms)	F1	學前基準				0.70	0.409	
			動畫型式	2D 24	0.214	0.089	0.38	0.541	
			平面空間能力	3D 24	0.197	0.086			
		FZ	高	24	0.196	0.080	0.81	0.374	
			低	24	0.215	0.094			
			交互作用				4.20*	0.047	

(續下頁)

額葉區 (ms)	F1	學前基準						
			2D	24	0.156	0.065	3.35	0.074
		動畫型式	3D	24	0.194	0.089		3D>2D
		平面空間能力	高	24	0.176	0.076	0.06	0.804
			低	24	0.174	0.084		
	FZ	交互作用					0.00	0.953
							2.54	0.118
		學前基準	2D	24	0.167	0.066	3.28	0.077
			3D	24	0.205	0.088		3D>2D
		平面空間能力	高	24	0.191	0.076	0.03	0.855
			低	24	0.180	0.084		
頂葉區 (ms)	C1	交互作用					0.07	0.800
							1.85	0.181
		學前基準	2D	24	0.166	0.083	0.05	0.824
			3D	24	0.161	0.086		
		平面空間能力	高	24	0.142	0.053	4.66*	0.036
			低	24	0.185	0.102		低>高
	CZ	交互作用					1.01	0.320
							2.75	0.105
		學前基準	2D	24	0.180	0.078	0.03	0.870
			3D	24	0.175	0.084		
		平面空間能力	高	24	0.158	0.063	4.71*	0.036
			低	24	0.197	0.091		低>高
顳葉區 (ms)	C2	交互作用					2.17	0.148
							1.48	0.231
		學前基準	2D	24	0.166	0.082	0.00	0.968
			3D	24	0.164	0.088		
		平面空間能力	高	24	0.143	0.057	4.43*	0.041
			低	24	0.187	0.100		低>高
	P1	交互作用					1.63	0.209
							0.67	0.418
		學前基準	2D	24	0.128	0.066	0.00	0.963
			3D	24	0.127	0.059		
		平面空間能力	高	24	0.109	0.036	5.25*	0.027
			低	24	0.146	0.075		低>高
交互作用							0.29	0.592

(續下頁)

額葉區	PZ	1000 2000 (ms)	學前基準	0.57	0.456
			動畫型式	2D 24 0.140 0.065 0.00 0.949	
				3D 24 0.138 0.066	
			平面空間能力	高 24 0.122 0.041 3.80 0.058 低>高 低 24 0.156 0.080	
			交互作用	0.43 0.513	
	P2		學前基準	1.05 0.310	
			動畫型式	2D 24 0.134 0.076 0.03 0.869	
				3D 24 0.129 0.063	
			平面空間能力	高 24 0.113 0.039 4.06 0.050 低>高 低 24 0.149 0.087	
			交互作用	0.20 0.655	
枕葉區	P2	2000 3000 (ms)	學前基準	0.26 0.613	
			動畫型式	2D 24 0.104 0.062 1.02 0.317	
				3D 24 0.121 0.059	
			平面空間能力	高 24 0.098 0.040 2.93 0.094 低>高 低 24 0.127 0.074	
			交互作用	0.02 0.880	
	O1		學前基準	0.19 0.667	
			動畫型式	2D 24 0.177 0.071 0.04 0.840	
				3D 24 0.174 0.072	
			平面空間能力	高 24 0.155 0.071 3.57 0.065 低>高 低 24 0.196 0.066	
			交互作用	1.27 0.266	

註：^{*} $p < 0.05$

由表 5 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 θ 波平均功率值在額葉區達到顯著差異或是將近考驗水準.05 顯著差異，0 至 1000 毫秒時在 F1 位置達到顯著差異 ($F=4.65, p=0.037$)，而 2000 至 3000 毫秒時，在 F1 ($F=3.35, p=0.074$) 及 FZ ($F=3.28, p=0.077$) 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異，且皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在額葉區 0 至 1000 毫秒及 2000 至 3000 毫秒的 θ 波平均功率值皆大於 2D 組，且動畫型式與平面空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為此時間區段影響額葉區 θ 波平均功率值差異的因素。

不同平面空間能力的學生之 θ 波平均功率值在頂葉區達到顯著差異，1000 至 2000 毫秒時，在 C1 ($F=4.66, p=0.036$)、CZ ($F=4.71, p=0.036$)、C2 ($F=4.43, p=0.041$) 位置皆達到顯著差異；顳葉區於 1000 至 2000 毫秒時，在 P1 ($F=5.25, p=0.027$) 位置達到顯著差異，在 PZ ($F=3.80, p=0.058$) 及 P2 ($F=4.06, p=0.050$) 位置則將近達到考驗水準.05 顯著差異，而 2000 至 3000 毫秒時，在 P2 ($F=2.93, p=0.094$) 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異；枕葉區於 1000 至 2000 毫秒時，在 O1 ($F=3.57, p=0.065$) 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異。以上顯著差異或將近顯著差異皆為低能力組大於高能力組，顯示低平面空間能力學生在這些腦區之 θ 波平均功率值大於高平面空間能力學生，且在動畫型式及平面空間能力兩者間的交互作用則未達顯著，因此可推論，動畫型式及平面空間能力，確實為學生 θ 波之平均功率值在這些腦區有差異的影響因素。

此外，1000 至 2000 毫秒時，在 FZ 位置出現交互作用 ($F=4.20, p=0.047$)，其單純主要效果考驗摘要表見表 6。

表6

θ 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表

區域	時間	項目	分組	共變數		依變數		Post-hoc	
				F.	p.	F.	p.		
額葉區	1000	FZ	動畫型式	2D	0.19	0.664	0.60	0.447	
				3D	0.71	0.409	4.99*	0.037 低>高	
	2000 (ms)		平面空間能力	高	0.18	0.674	5.02*	0.036 2D>3D	
				低	6.49*	0.019	1.74	0.201	

註：^{*} $p<0.05$

針對額葉區之 FZ 位置進行單純主要效果考驗之結果如表 6。由表 6 的結果顯示，3D 組內之不同平面空間能力學生在 θ 波之平均功率值達到顯著差異 ($F=4.99, p=0.037$)，經由事後比較之後，發現平面空間能力低學生之 θ 波平均功率值較平面空間能力高學生來得高。在高平面空間能力組內之 2D 組與 3D 組學生在 θ 波之平均功率值達到顯著差異 ($F=5.02, p=0.036$)，經由事後比較之後，

發現 2D 組學生之 θ 波平均功率值較 3D 組學生來得高。

表7

upper α 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	1000 2000 (ms)	F1	學前基準				1.79	0.188	
			動畫型式	2D 24	0.051	0.031	3.38	0.073	3D>2D
				3D 24	0.066	0.030			
		FZ	平面空間能力	高 24	0.057	0.029	0.28	0.602	
				低 24	0.060	0.033			
			交互作用				1.49	0.228	
	2000 (ms)	FZ	學前基準				2.77	0.103	
			動畫型式	2D 24	0.052	0.021	5.46*	0.024	3D>2D
		F2		3D 24	0.067	0.028			
			平面空間能力	高 24	0.060	0.027	0.02	0.896	
				低 24	0.059	0.025			
枕葉區	1000 2000 (ms)	F1	交互作用				0.64	0.429	
			學前基準				5.09*	0.029	
		F2	動畫型式	2D 24	0.054	0.022	4.84*	0.033	3D>2D
				3D 24	0.067	0.028			
			平面空間能力	高 24	0.061	0.028	0.05	0.821	
				低 24	0.059	0.024			
	0 1000 (ms)	O1	交互作用				0.79	0.379	
			學前基準				0.03	0.866	
		O2	動畫型式	2D 24	0.034	0.020	0.00	0.977	
				3D 24	0.035	0.031			
			平面空間能力	高 24	0.042	0.036	2.94	0.095	高>低
				低 24	0.028	0.011			
			交互作用				0.03	0.860	
			學前基準				0.37*	0.020	
			動畫型式	2D 24	0.027	0.013	3.60	0.065	3D>2D
				3D 24	0.039	0.029			
			平面空間能力	高 24	0.038	0.029	1.14	0.292	
				低 24	0.028	0.014			
			交互作用				1.15	0.289	

(繼下頁)

			學前基準		3.07	0.087	
1000 2000 (ms)	OZ	動畫型式	2D 24	0.037	0.027	0.10 0.758	
			3D 24	0.040	0.027		
		平面空間能力	高 24	0.048	0.033	4.98* 0.031 高>低	
			低 24	0.029	0.015		
交互作用					0.37	0.547	
枕葉區					2.54	0.119	
2000 3000 (ms)	O2	動畫型式	2D 24	0.034	0.017	3.04 0.089 3D>2D	
			3D 24	0.045	0.033		
		平面空間能力	高 24	0.042	0.032	0.02 0.891	
			低 24	0.038	0.020		
交互作用					1.82	0.185	

註：^{*}p<0.05

由表 7 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper α 波平均功率值在額葉區達到顯著差異或是將近達到考驗水準.05 顯著差異，1000 至 2000 毫秒時在 FZ ($F=5.46, p=0.024$) 及 F2 ($F=4.84, p=0.033$) 位置達到顯著差異，而在 F1 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.38, p=0.073$)；在枕葉區之 O2 位置於 0 至 1000 毫秒 ($F=3.60, p=0.065$) 與 2000 至 3000 毫秒 ($F=3.04, p=0.089$) 時將近達到考驗水準.05 顯著差異。以上顯著差異或將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 upper α 波平均功率值顯著大於 2D 組，且動畫型式與平面空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為學生 upper α 波之平均功率值在這些腦區有差異的影響因素。

不同平面空間能力的學生之 upper α 波平均功率值在枕葉區達到顯著差異或是將近考驗水準.05 顯著差異，0 至 1000 毫秒時，在 O1 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=2.94, p=0.095$)，而 1000 至 2000 毫秒時在 OZ 位置則是達到顯著差異 ($F=4.98, p=0.031$)，且皆為高能力組大於低能力組，顯示高平面空間能力學生在枕葉區於 0 至 1000 毫秒及 1000 至 2000 毫秒的 upper α 波平均功率值大於低平面空間能力學生，且動畫型式與平面空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論平面空間能力確實為此時間區段影響枕葉區 upper α 波平均功率值差異的因素。

表8

upper β 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
頂葉區	0 1000 (ms)	C1	學前基準				13.64 ^{**}	0.001	
			動畫型式	2D 24	0.020	0.012	3.14	0.083	3D>2D
				3D 24	0.024	0.011			
			平面空間能力	高 24	0.023	0.012	0.16	0.691	
				低 24	0.021	0.012			
	O1 1000 (ms)	O1	交互作用				1.31	0.258	
			學前基準				0.11	0.739	
			動畫型式	2D 24	0.017	0.013	0.01	0.927	
				3D 24	0.017	0.014			
			平面空間能力	高 24	0.021	0.015	3.32	0.076	高>低
枕葉區	0 1000 (ms)	O2	低 24	0.014	0.011				
			交互作用				2.04	0.161	
			學前基準				0.07	0.797	
			動畫型式	2D 24	0.015	0.008	1.04	0.314	
				3D 24	0.013	0.008			
	2000 3000 (ms)	O2	平面空間能力	高 24	0.016	0.009	5.85 [*]	0.020	高>低
			低 24	0.011	0.006				
			交互作用				0.95	0.335	
			學前基準				0.21	0.652	
			動畫型式	2D 24	0.016	0.014	0.11	0.743	
	OZ 2000 3000 (ms)	O2		3D 24	0.017	0.015			
			平面空間能力	高 24	0.021	0.018	4.71 [*]	0.036	高>低
			低 24	0.012	0.005				
			交互作用				0.01	0.908	
			學前基準				0.00	0.955	
			動畫型式	2D 24	0.013	0.007	0.35	0.559	
				3D 24	0.015	0.009			
			平面空間能力	高 24	0.016	0.010	3.20	0.081	高>低
			低 24	0.012	0.005				
			交互作用				0.15	0.704	

註：^{*}p<0.05

由表 8 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper β 波平均功率值在頂葉區於 0 至 1000 毫秒時在 C1 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.14, p=0.083$)，且為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在額葉區 0 至 1000 毫秒的 upper β 波平均功率值大於 2D 組，且動畫型式與平面空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為此時間區段影響額葉區 upper β 波平均功率值差異的因素。

不同平面空間能力的學生之 upper β 波平均功率值在枕葉區達到顯著差異或是將近考驗水準.05 顯著差異，0 至 1000 毫秒時，在 O2 的位置達到顯著差異 ($F=5.85, p=0.020$)，而在 O1 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.32, p=0.076$)，於 2000 至 3000 毫秒時，在 OZ 位置達到顯著差異 ($F=4.71, p=0.036$)，而在 O2 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.20, p=0.081$)。以上顯著差異或是將近顯著差異皆為高能力組大於低能力組，顯示高平面空間能力學生在枕葉區 0 至 1000 毫秒及 2000 至 3000 毫秒的 upper β 波平均功率值大於低平面空間能力學生，且動畫型式與平面空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論平面空間能力確實為此時間區段影響枕葉區 upper β 波平均功率值差異的因素。

由以上結果可推論，3D 組學生無論是在 θ 波、upper α 波及 upper β 波的平均功率值都 2D 組學生來得高。而平面空間能力低的學生在 θ 波的平均功率值較平面空間能力高的學生來得高，但在 upper α 波及 upper β 波的平均功率值則恰巧相反，較平面空間能力高的學生為低。

(2) 事件相關頻譜變化 (Event-related spectral perturbation, ERSP) 分析

腦波資料除了以上述之單因子單變量共變數分析之外，另外鎖定額葉區之 FZ、頂葉區之 CZ、顳葉區之 PZ 及枕葉區之 OZ 等四個電極位置，利用事件相關頻譜變化 (Event-related spectral perturbation, ERSP) 分析來計算學習事件發生前後之頻譜變化，藉此觀察各腦區之腦部活動在不同時間點上的頻譜差異。以多媒體動畫型式及平面空間能力二因子作為分組依據，所得到之事件相關頻譜變化分析結果包含不同平面空間能力 (高、低) 學生使用不同型式動畫 (2D、

3D) 所引發之腦波頻率-時間圖，以及利用遮罩效果將四組之間未達顯著之頻率-時間圖遮蔽，僅留下四組之間達到顯著差異部分之頻率-時間圖，藉由遮蔽後之頻率-時間圖可方便觀察比較四組之間在達到顯著差異部分的各波段強度大小有何不同。FZ、CZ、PZ 及 OZ 之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻譜變化分析結果如圖 3、圖 4、圖 5 及圖 6 所示。

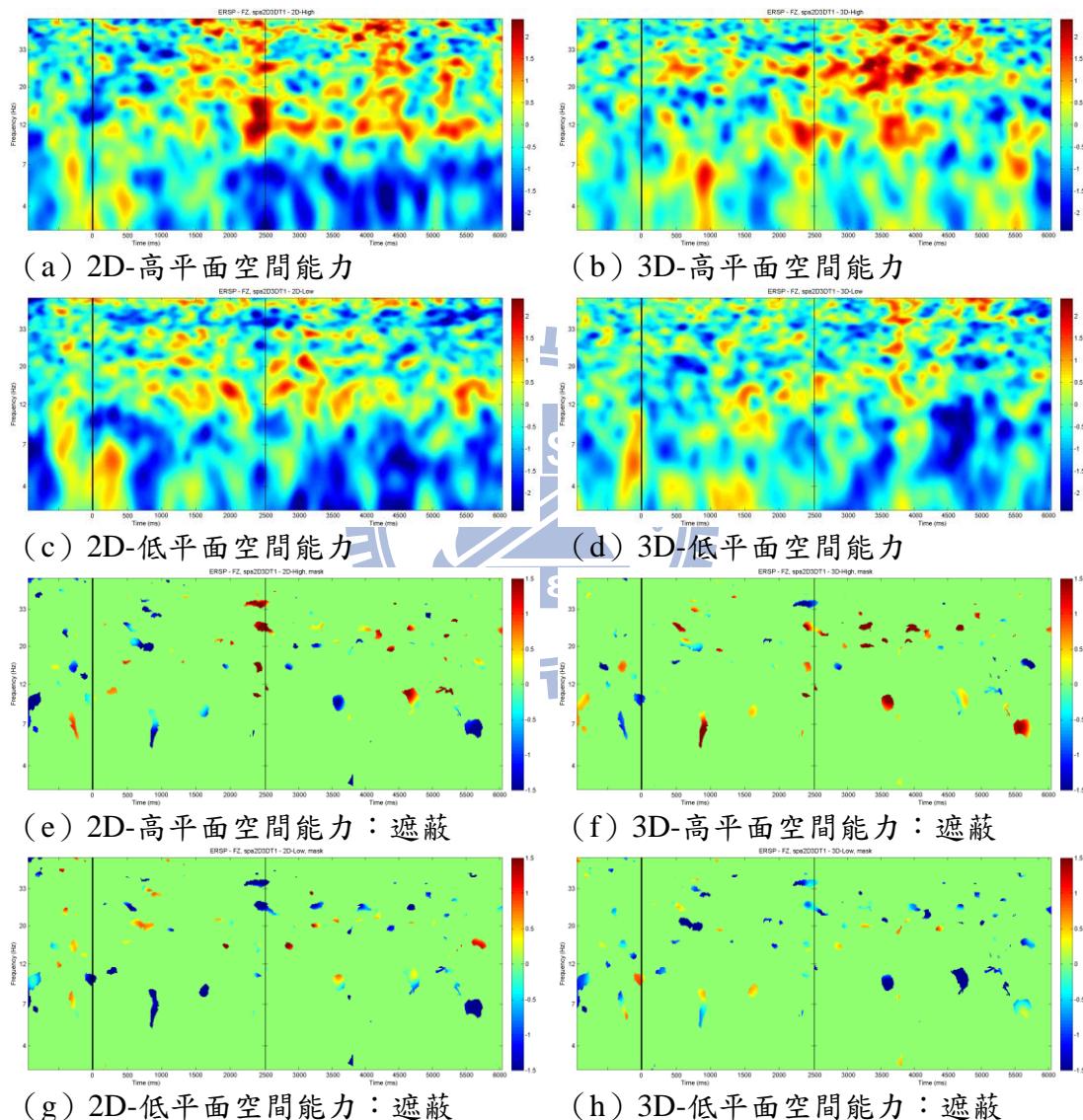
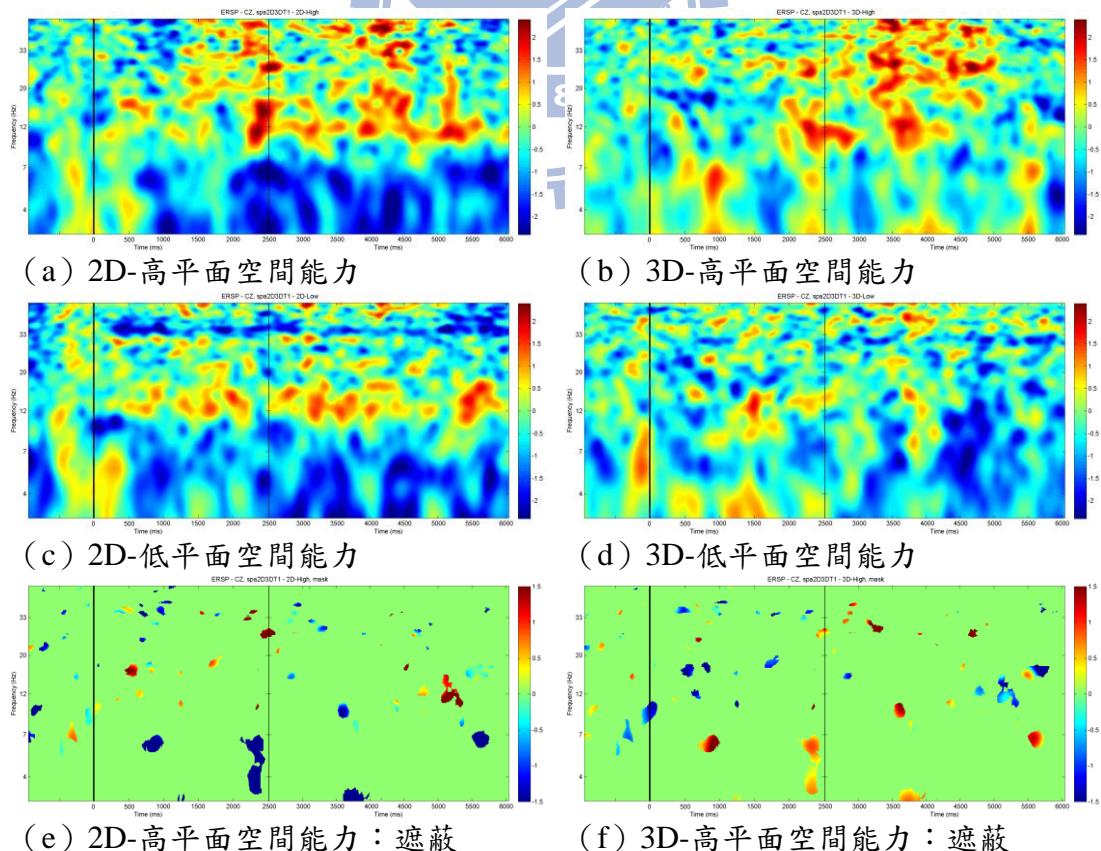


圖3 額葉區於 FZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖 3 的結果顯示，在額葉區之 FZ 位置，當使用 2D 動畫學習時，平面空

間能力低的學生在一開始即引發 θ 波的活化，且在 2000 毫秒後仍持續引發，而平面空間能力高之學生在 2000 毫秒後，其 θ 波的活化則較不明顯。upper α 波的部分，平面空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而平面空間能力高之學生由學習開始雖有活化，但在 2000 毫秒後，強度才大幅增加。而在 upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。當使用 3D 動畫學習時，平面空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波的活化。upper α 波的部分，平面空間能力高的學生在學習開始 2000 毫秒後，upper α 波的活化大幅增加，反觀平面空間能力低的學生，其 upper α 波的活化較為零星。而在 upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。

觀察 ERSP 的統計結果，可發現平面空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較平面空間能力低的學生來得強。



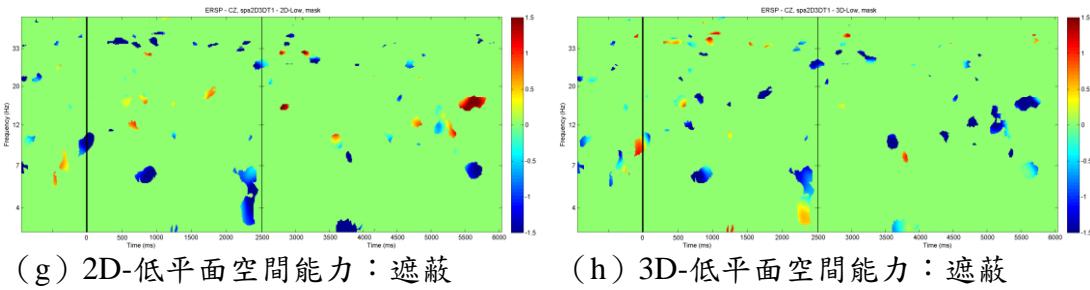
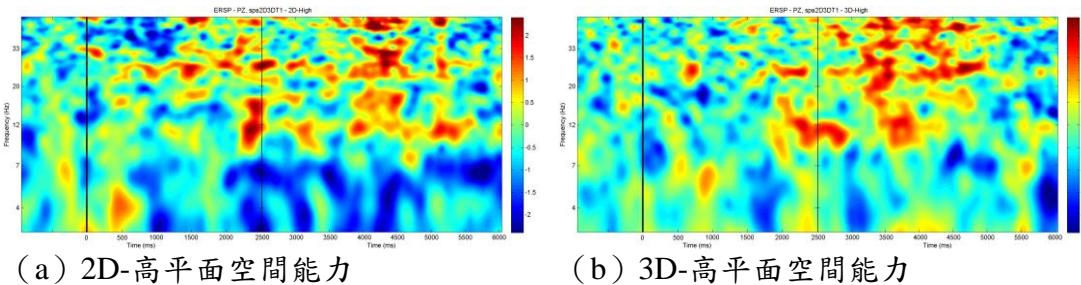


圖4 頂葉區於 CZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖 4 的結果顯示，在頂葉區之 CZ 位置，當使用 2D 動畫學習時，平面空間能力低的學生在一開始即引發之 θ 波的活化，且在 2000 毫秒後仍持續引發，而平面空間能力高之學生在 2000 毫秒後，其 θ 波的活化則較不明顯。upper α 波的部分，平面空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而平面空間能力高之學生由學習開始雖有活化，但在 2000 毫秒後，強度才大幅增加。而在 upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。當使用 3D 動畫學習時，平面空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波的活化。upper α 波的部分，平面空間能力高的學生在學習開始 2000 毫秒後，upper α 波的活化大幅增加，反觀平面空間能力低的學生，其 upper α 波的活化反而較為減弱。而在 upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。

觀察 ERSP 的統計結果，可發現平面空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較平面空間能力低的學生來得強。



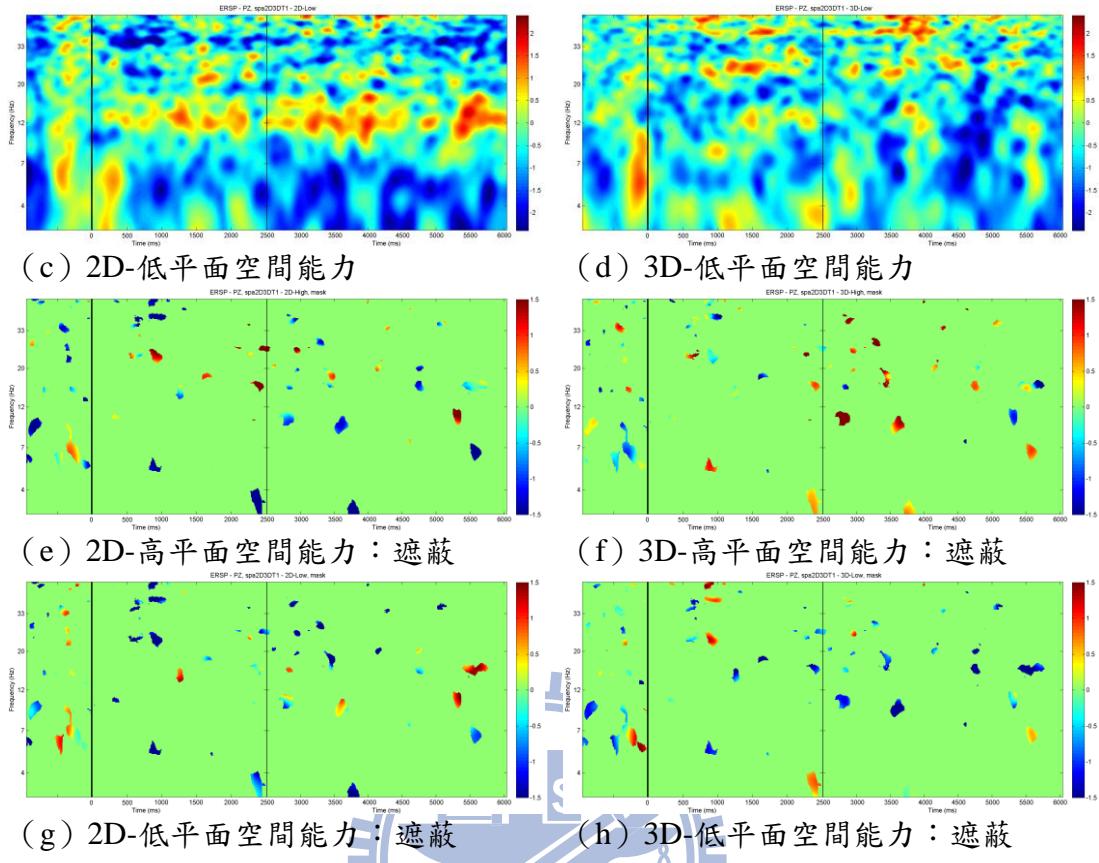


圖5 顳葉區於PZ位置之二因子(動畫型式、平面空間能力)事件相關頻譜變化
分析結果

由圖5的結果顯示，在顳葉區之PZ位置，當使用2D動畫學習時，平面空間能力低和高的學生在學習開始至2500毫秒時引發 θ 波之活化，2500毫秒後之 θ 波的活化則較為零星。upper α 波的部分，平面空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而平面空間能力高之學生由學習開始雖有活化，但在2000毫秒後，強度才大幅增加。而在upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發upper β 波的活化。當使用3D動畫學習時，平面空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波的活化。upper α 波的部分，平面空間能力高的學生在學習開始2000毫秒後，upper α 波的活化大幅增加，反觀平面空間能力低的學生，其upper α 波的活化反而較為減弱。而在upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發upper β 波的活化。

觀察ERSP的統計結果，可發現平面空間能力高的學生，無論是使用2D動

畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較平面空間能力低的學生來得強。

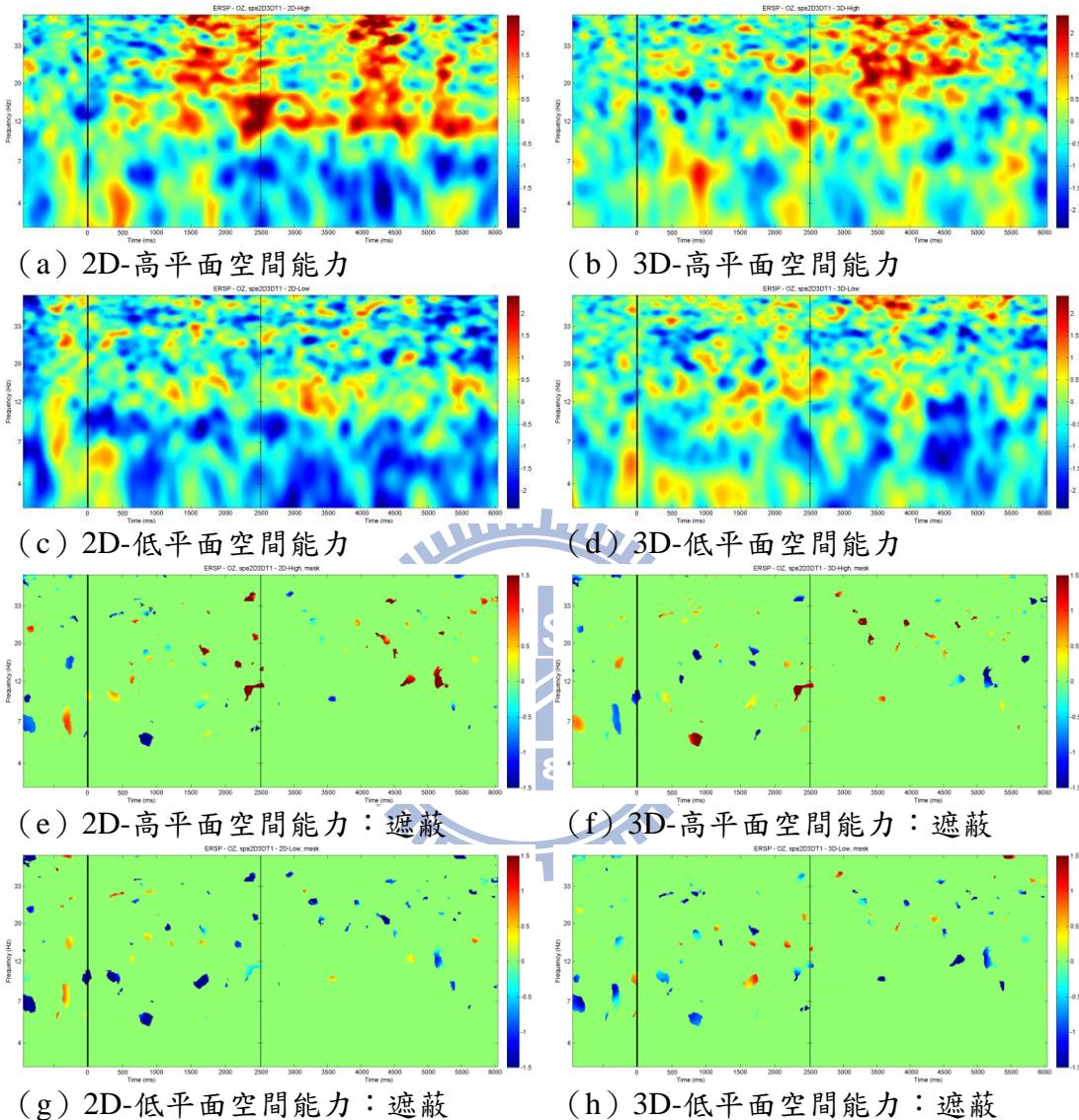


圖6 枕葉區於 OZ 位置之二因子（動畫型式、平面空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖 6 的結果顯示，在枕葉區之 OZ 位置，當使用 2D 動畫學習時，平面空間能力高的學生於學習開始持續引發 θ 波的活化，而平面空間能力高之學生在 2500 毫秒後，其 θ 波的活化則較不明顯。upper α 波的部分，平面空間能力高和低的學生由學習一開始即持續活化的活化。而在 upper β 波的部分，平面空間能

力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。當使用 3D 動畫學習時，平面空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波的活化。upper α 波的部分，平面空間能力高的學生在學習開始 2000 毫秒後，upper α 波的活化大幅增加，反觀平面空間能力低的學生，其 upper α 波的活化反而較為減弱。而在 upper β 波的部分，平面空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。

觀察 ERSP 的統計結果，可發現平面空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較平面空間能力低的學生來得強。

綜合以上的分析，雖 FZ、CZ、PZ 及 OZ 四個電極的位置在二因子（動畫型式、平面空間能力）ERSP 分析得出的結果稍有不同，但仍有其一致性。無論是哪一組，皆可發現當 θ 波的強度增加時，upper α 波的強度就會降低，而當 upper β 波的強度增加時，相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也會跟著增加。而比較不同平面空間能力學生使用不同型式動畫時，其腦波各頻率活化的結果，可發現平面空間能力高的學生在使用 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper β 波強度較 upper α 波強，而在使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波強度則較 upper β 波強。而平面空間能力低的學生無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper α 波強度均較 upper β 波強，且使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波及 upper β 波強度均較使用 3D 動畫進行學習時來得強。

平均功率值及 ERSP 兩項腦波資料的分析，因著重的分析面向不同，故取樣的時間長短不一，導致兩項分析結果產生少部分的出入，但就大體而言，仍能歸納出一致的結果。

4. 小結：

綜合上述分析結果，可發現經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上，雖 3D 組稍高於 2D 組的進步分數，但並未達到顯著差異，而 3D 組的學生無論是在全域的凝視時間或是關鍵區凝視時間、掃視時間及回視時間均較 2D 組的學生長，且其在 θ 波、upper α 波及 upper β 波

的平均功率值都較 2D 組學生來得高。

平面空間能力高之學生與平面空間能力低之學生在現代原子模型科學概念成就測驗上達到顯著差異，平面空間能力高之學生在現代原子模型科學成就測驗的表現較平面空間能力低之學生為佳。而平面空間能力低之學生在全域及關鍵區的平均凝視點時間較平面空間能力高之學生長，其在 θ 波的平均功率值也較平面空間能力高的學生來得高。平面空間能力高之學生在全域掃視時間較平面空間能力低之學生來得長，而其在 upper α 波及 upper β 波的平均功率值都較平面空間能力低之學生來得高。

θ 波的強度會跟 upper α 波的強度成反比， θ 波的強度增加，upper α 波的強度就降低；upper β 波的強度增加會引發相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也跟著增加。平面空間能力高的學生在使用 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper β 波強度較 upper α 波強，而在使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波強度則較 upper β 波強。而平面空間能力低的學生無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper α 波強度均較 upper β 波強，且使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波及 upper β 波強度均較使用 3D 動畫進行學習時來得強。

第二節 不同立體空間能力學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、眼動變化模式及腦波動態歷程分析

1. 科學概念成就測驗資料分析

為了瞭解網路多媒體動畫課程型式及立體空間能力對學生在現代原子模型單元科學概念建構的影響為何，於學習前後實施二階層成就測驗，並將其前測總分與後測總分進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的網路多媒體動畫組別及立體空間能力組別作為自變數，科學概念成就測驗前測成績作為共變數，後測成績作為依變數，進行二因子單變量共變數分析。推論性統計之二因子單變量共變數分析結果如表 9 所示。

表9

現代原子模型科學概念成就測驗前測和後測之二因子（動畫型式、立體空間能力）共變數分析表

項目	分組		N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
科學概念 成就測驗	動畫型式	前測				2.00	0.163	
		2D	24	23.33	4.46	1.12	0.297	
	立體空間能力	3D	24	24.54	3.93			
		高	24	25.83	2.76	11.87 ^{**}	0.001	高>低
		低	24	22.04	4.58			
	交互作用					0.01	0.925	

註：^{**}p<0.01

由表 9 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上並無顯著差異，但立體空間能力高之學生與立體空間能力低之學生在現代原子模型科學概念成就測驗上則達到顯著差異 ($F=11.87, p=0.001$)，且兩者間的交互作用未達顯著，因此可推論立體空間能力確實為影響學生學習成效的因素。立體空間能力高的學生在現代原子模型科學成就測驗的表現比立體空間能力低的學生為佳。

2. 眼動模式資料分析

為了瞭解不同立體空間能力的學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其眼動模式的差異為何，將其在學習期間所記錄到之眼動資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別及立體空間能力組別作為自變數，全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間、全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間等十項各別作為依變數，分別進行二因子單變量變異數分析。推論性統計之二因子單變量變異數分析結果如表 10 及表 11 所示。

表10

眼動變化模式之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量變異數分析表：全
域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視
平均時間、關鍵區回視平均時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.
全域凝視點 平均時間	動畫型式	2D 24	490.48	85.03	0.41	0.525
		3D 24	513.18	148.05		
	立體空間能力	高 24	489.58	85.78	0.48	0.493
		低 24	514.08	147.46		
交互作用					0.00	0.991
全域掃視 平均時間	動畫型式	2D 24	2.44	0.60	0.11	0.736
		3D 24	2.39	0.36		
	立體空間能力	高 24	2.46	0.61	0.38	0.539
		低 24	2.37	0.35		
交互作用					0.29	0.594
關鍵區凝視點 平均時間	動畫型式	2D 24	573.06	153.68	0.96	0.332
		3D 24	628.38	227.85		
	立體空間能力	高 24	570.25	149.17	1.17	0.286
		低 24	631.19	230.09		
交互作用					0.26	0.610
關鍵區掃視 平均時間	動畫型式	2D 24	1.23	0.17	0.78	0.382
		3D 24	1.18	0.18		
	立體空間能力	高 24	1.21	0.20	0.01	0.908
		低 24	1.20	0.16		
交互作用					0.00	0.994
關鍵區回視 平均時間	動畫型式	2D 24	542.54	117.23	1.22	0.275
		3D 24	598.89	219.77		
	立體空間能力	高 24	541.29	145.52	1.33	0.255
		低 24	600.14	201.78		
交互作用					0.37	0.548

由表 10 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全
域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視
平均時間及關鍵區回視平均時間等五項上皆無顯著差異，不同立體空間能力的

學生在全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間及關鍵區回視平均時間等五項上也皆無顯著差異，且動畫型式及立體空間能力兩者間的交互作用未達顯著，因此可推論無論是動畫型式或是立體空間能力皆非影響學生在此五項眼動變化模式差異的因素。

表11

眼動變化模式之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視時間	動畫型式	2D 24	69156.14	11493.16	5.01*	0.030	3D>2D
		3D 24	75430.45	6985.43			
	立體空間能力	高 24	72624.41	9237.98	0.06	0.814	
		低 24	71962.18	10763.78			
全域掃視時間	動畫型式	2D 24	322.73	108.75	0.46	0.499	
		3D 24	342.35	86.63			
	立體空間能力	高 24	341.29	102.11	0.37	0.547	
		低 24	323.80	94.58			
關鍵區凝視時間	動畫型式	2D 24	45655.25	15431.35	4.63*	0.037	3D>2D
		3D 24	54614.09	13709.15			
	立體空間能力	高 24	46990.10	17245.19	2.28	0.138	
		低 24	53279.23	12243.75			
關鍵區掃視時間	動畫型式	2D 24	68.95	27.37	4.21*	0.046	3D>2D
		3D 24	86.92	32.75			
	立體空間能力	高 24	75.12	34.39	0.41	0.523	
		低 24	80.75	28.12			
交互作用					1.12	0.295	

（續下頁）

關鍵區回視 時間	動畫型式	2D	24	26730.51	9030.11	2.02	0.163
		3D	24	30055.20	7010.33		
立體空間能力	高	24	26880.34	9030.76	1.67	0.203	
	低	24	29905.36	7079.96			
交互作用					0.04	0.837	

註：^{*}p<0.05

由表 11 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全域掃視時間及關鍵區回視時間上並無顯著差異，但在全域凝視時間 ($F=5.01, p=0.030$)、關鍵區凝視時間 ($F=4.63, p=0.037$) 及關鍵區掃視時間 ($F=4.21, p=0.046$) 等三項上達顯著差異，且皆為 3D 組大於 2D 組。不同立體空間能力的學生在全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間及關鍵區回視時間等五項上皆無顯著差異，且動畫型式及立體空間能力兩者間的交互作用則未達顯著，因此可推論動畫型式確實為影響學生在全域凝視時間、關鍵區凝視時間及關鍵區掃視時間此三項眼動變化模式差異的因素。

由以上結果可推論，3D 組的學生無論是在全域或是關鍵區的凝視時間均較 2D 組長，3D 組在關鍵區的掃視時間也較 2D 組長，顯示 3D 學生需花費較長的時間觀看課程內容，不同立體空間能力則非影響眼動模式差異的因素。

3. 腦波動態歷程資料分析

(1) 平均功率值統計分析

為了瞭解不同立體空間能力的學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其腦波動態歷程的差異為何，將其在學習期間所記錄到之腦波資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別及立體空間能力組別作為自變數，學習前之 θ 波、upper α 波及 upper β 波等頻率之平均功率值分別作為共變數，動畫頁面之 θ 波、upper α 波及 upper β 波等頻率之平均功率值分別作為依變數，進行二因子單變量共變數分析。 θ 波、upper α 波及 upper β 波之推論性統計之二因子單變量共變數分析結果如表 12、表 14 及表 16 所示， θ 波、upper α 波及 upper β 波之單純主要效果摘要表如表 13、表 15 及表 17 所示。

表12

θ波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
			學前基準				0.15	0.697	
	0		動畫型式	2D	24	0.137	0.043	2.93	0.094
	1000	F1		3D	24	0.168	0.075		3D>2D
	(ms)		立體空間能力	High	24	0.151	0.073	0.01	0.909
				Low	24	0.154	0.051		
額葉區			交互作用				0.09	0.767	
			學前基準				1.26	0.268	
	1000		動畫型式	2D	24	0.214	0.089	0.38	0.541
	2000	FZ		3D	24	0.197	0.086		
	(ms)		立體空間能力	High	24	0.196	0.080	0.81	0.374
				Low	24	0.215	0.094		
			交互作用				4.20*	0.047	
			學前基準				1.28	0.265	
	1000		動畫型式	2D	24	0.144	0.057	0.00	0.974
	2000	C1		3D	24	0.146	0.057		
	(ms)		立體空間能力	High	24	0.126	0.055	5.39*	0.025
				Low	24	0.164	0.052		低>高
			交互作用				0.73	0.399	
			學前基準				0.81	0.375	
頂葉區			動畫型式				2D	0.159	0.066
				3D	24	0.160	0.067		
	2000		立體空間能力	High	24	0.142	0.067	3.02	0.089
	3000	CZ		Low	24	0.177	0.062		低>高
	(ms)		交互作用				0.30	0.585	
			學前基準				0.82	0.371	
	2000		動畫型式				2D	0.102	0.054
	3000	PZ		3D	24	0.120	0.042		
	(ms)		立體空間能力	High	24	0.108	0.054	0.14	0.714
				Low	24	0.114	0.044		
			交互作用				4.55*	0.039	

(續下頁)

顴葉 區	2000 3000 (ms)	P2	學前基準	1.15	0.290				
			動畫型式	2D	24	0.094	0.054	1.59	0.215
				3D	24	0.111	0.040		
			立體空間能力	High	24	0.102	0.055	0.00	0.979
				Low	24	0.103	0.041		
枕葉 區	1000 2000 (ms)	O1	交互作用			6.17*	0.017		
			學前基準			0.01	0.936		
			動畫型式	2D	24	0.058	0.025	0.56	0.460
				3D	24	0.064	0.030		
			立體空間能力	High	24	0.054	0.027	3.40	0.073
				Low	24	0.069	0.027		
			交互作用			1.00	0.325		
			學前基準			0.21	0.653		
			動畫型式	2D	24	0.050	0.022	1.31	0.259
				3D	24	0.058	0.025		
枕葉 區	2000 3000 (ms)	O1	立體空間能力	High	24	0.046	0.021	5.30*	0.027
				Low	24	0.064	0.024		
			交互作用			0.00	0.966		
			學前基準			0.01	0.935		
			動畫型式	2D	24	0.059	0.047	2.89	0.097
				13D	24	0.084	0.047		
			立體空間能力	High	24	0.065	0.040	0.88	0.353
				Low	24	0.079	0.055		
			交互作用			0.39	0.538		
			學前基準			1.17	0.286		
枕葉 區	2000 3000 (ms)	O2	動畫型式	2D	24	0.045	0.022	4.65*	0.037
				3D	24	0.059	0.023		
			立體空間能力	High	24	0.048	0.020	1.22	0.277
				Low	24	0.056	0.025		
			交互作用			0.77	0.386		

註：^{*}p<0.05

由表 12 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 θ 波平均功率值在顴葉區之 F1 位置於 0 至 1000 毫秒時，將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=2.93, p=0.094$)；枕葉區於 2000 至 3000 毫秒時，O2 位置達到顯著差異 ($F=4.65, p=0.037$)，OZ 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=2.89,$

$p=0.097$)。以上顯著差異或將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在額葉區 0 至 1000 毫秒及枕葉區 2000 至 3000 毫秒的 θ 波平均功率值皆大於 2D 組，且動畫型式與立體空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為此時間區段影響額葉區及枕葉區 θ 波平均功率值差異的因素。

不同立體空間能力的學生之 θ 波平均功率值在頂葉區達到顯著差異或是將近考驗水準.05 顯著差異，1000 至 2000 毫秒時，在 C1 位置達到顯著差異 ($F=5.39, p=0.025$)，CZ 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.02, p=0.089$)；枕葉區在 O1 位置於 1000 至 2000 毫秒時，將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.40, p=0.073$)，而在 2000 至 3000 毫秒時，達到顯著差異 ($F=5.30, p=0.027$)。以上顯著差異或將近顯著差異皆為低能力組大於高能力組，顯示低立體空間能力學生在這些腦區之 θ 波平均功率值大於高立體空間能力學生，且在動畫型式及立體空間能力兩者間的交互作用則未達顯著，因此可推論動畫型式及立體空間能力確實為影響學生 θ 波之平均功率值在這些腦區差異的因素。

此外，額葉區於 1000 至 2000 毫秒時，在 FZ 位置出現交互作用 ($F=4.20, p=0.047$)；顳葉區於 2000 至 3000 毫秒時，在 PZ ($F=4.55, p=0.039$) 及 P2 ($F=6.17, p=0.017$) 位置出現交互作用。以上各交互作用之單純主要效果考驗摘要表見表 13。

表13

θ 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表

區域	時間	項目	分組	共變數		依變數		Post-hoc
				F.	p.	F.	p.	
額葉區	1000	FZ	動畫型式	2D	0.82	0.375	0.66	0.426
				3D	0.39	0.538	3.30	0.084
	2000 (ms)		立體空間能力	高	0.22	0.646	0.33	0.570
				低	1.07	0.312	0.09	0.764

(續下頁)

額葉區 (ms)	2000	PZ	動畫型式	2D	0.28	0.600	1.08	0.311	
				3D	0.69	0.417	4.52*	0.046	低>高
		3000	立體空間能力	高	0.03	0.868	0.14	0.714	
				低	2.06	0.166	10.23**	0.004	3D>2D
	P2	動畫型式	立體空間能力	2D	0.22	0.643	1.98	0.174	
				3D	1.98	0.174	4.66*	0.043	低>高
		3000	立體空間能力	高	0.15	0.699	0.51	0.484	
				低	1.80	0.194	13.55**	0.001	3D>2D

註：^{*} p<0.05, ^{**} p<0.01

由表 13 的結果顯示，額葉區之 FZ 位置於 1000 至 2000 毫秒時段之 θ 波平均功率值，在經過單純主要效果考驗後，發現變異來源為 3D 組內之不同立體空間能力學生，但其 θ 波之平均功率值未達到顯著差異。額葉區之 PZ 及 P2 位置於 2000 至 3000 毫秒時段之 θ 波平均功率值，在經過單純主要效果考驗後，均發現一致的結果，即 3D 組內之不同立體空間能力學生在 θ 波之平均功率值達到顯著差異 (PZ : $F=4.52, p=0.046$; P2 : $F=4.66, p=0.043$)，經由事後比較之後，發現立體空間能力低學生之 θ 波平均功率值較立體空間能力高學生來得高，而在低立體空間能力組內之 2D 組與 3D 組學生在 θ 波之平均功率值也達到顯著差異 (PZ : $F=10.23, p=0.004$; PZ : $F=13.55, p=0.001$)，經由事後比較之後，發現 3D 組學生之 θ 波平均功率值較 2D 組學生來得高。

表14

upper α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉 區	1000	F1	學前基準				1.30	0.261	
			動畫型式	2D	24	0.044	0.026	6.79*	0.013
		2000		3D	24	0.066	0.031		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.056	0.032	0.19	0.666
	(ms)	F1	Low		24	0.054	0.030		
			交互作用				0.20	0.660	
		2000							(續下頁)

額葉 區 (ms)	FZ	1000	學前基準	2.17	0.148
			動畫型式	2D 24 0.046 0.021 8.33 ^{**} 0.006 3D>2D	
			3D	24 0.067 0.030	
			High	24 0.057 0.030 0.24 0.623	
			Low	24 0.056 0.027	
	F2	2000	交互作用	0.17	0.683
			學前基準	2.64	0.111
			動畫型式	2D 24 0.046 0.022 8.24 ^{**} 0.006 3D>2D	
			3D	24 0.069 0.031	
			High	24 0.058 0.030 0.25 0.616	
枕葉 區 (ms)	O2	0	Low	24 0.057 0.028	
			交互作用	0.05	0.827
			學前基準	0.35 [*]	0.022
			動畫型式	2D 24 0.025 0.016 4.19 [*] 0.048 3D>2D	
			3D	24 0.039 0.028	
	O2	1000	High	24 0.035 0.029 0.76 0.387	
			Low	24 0.029 0.016	
			交互作用	0.54	0.466
			學前基準	7.19 [*]	0.011
			動畫型式	2D 24 0.029 0.015 4.76 [*] 0.035 3D>2D	
枕葉 區 (ms)	O2	2000	13D	24 0.038 0.019	
			High	24 0.036 0.018 1.65 0.206	
			Low	24 0.031 0.017	
			交互作用	0.05	0.826
			學前基準	1.12	0.295
	OZ	3000	動畫型式	2D 24 0.037 0.023 1.90 0.175	
			3D	24 0.051 0.038	
			High	24 0.047 0.036 0.78 0.382	
			Low	24 0.041 0.027	
			交互作用	4.09 [*]	0.050

註：^{*}p<0.05, ^{**}p<0.01

由表 14 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper α 波平均功率值在額葉區於 1000 至 2000 毫秒時，在 F1 ($F=6.79, p=0.013$)、FZ ($F=8.33, p=0.006$) 及 F2 ($F=8.24, p=0.006$) 位置達到顯著差異；在枕葉區之 O2 位置於 0 至 1000 毫秒 ($F=4.19, p=0.048$) 與 1000 至 2000 毫秒 ($F=4.76, p=0.035$)

時達到顯著差異。以上顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 upper α 波平均功率值顯著大於 2D 組，且動畫型式與立體空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為影響學生 upper α 波之平均功率值在這些腦區差異的因素。

不同立體空間能力的學生之 upper α 波平均功率值在所有腦區皆未達到顯著差異，且除了枕葉區於 2000 至 3000 毫秒時，在 OZ 位置出現交互作用 ($F=4.09, p=0.050$) 之外，其餘動畫型式與立體空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論立體空間能力並非為影響這些腦區 upper α 波平均功率值差異的因素。枕葉區之 OZ 位置於 2000 至 3000 毫秒時之單純主要效果考驗摘要表見表 15。

表15

upper α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表

區域	時間	項目	分組	共變數		依變數		Post-hoc	
				F.	p.	F.	p.		
枕葉區	2000	OZ	動畫型式	2D	12.80	0.002	0.62	0.442	
				3D	0.03	0.871	2.63	0.120	
	3000 (ms)		立體空間能力	高	0.16	0.692	4.53*	0.046 3D>2D	
				低	1.10	0.307	0.23	0.640	

註：* $p<0.05$

由表 15 的結果顯示，在高立體空間能力組內之 2D 組與 3D 組學生在 upper α 波之平均功率值達到顯著差異 ($F=4.53, p=0.046$)，經由事後比較之後，發現 3D 組學生之 upper α 波平均功率值較 2D 組學生來得高。

表16

upper β 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0 1000 (ms)	FZ	學前基準		1.03	0.315			
			動畫型式	2D	24	0.023	0.015	4.10*	0.049
			3D	24	0.033	0.016			3D>2D
		F2	立體空間能力	High	24	0.025	0.016	1.64	0.208
			Low	24	0.031	0.016			
			交互作用		1.31	0.259			
	1000 2000 (ms)	F2	學前基準		0.71	0.403			
			動畫型式	2D	24	0.024	0.014	3.49	0.068
			3D	24	0.032	0.015			3D>2D
		F2	立體空間能力	High	24	0.025	0.015	1.70	0.199
			Low	24	0.031	0.015			
			交互作用		1.27	0.266			
頂葉區	0 1000 (ms)	C1	學前基準		0.14	0.708			
			動畫型式	2D	24	0.026	0.013	3.28	0.077
			3D	24	0.033	0.015			3D>2D
		C1	立體空間能力	High	24	0.026	0.014	2.04	0.160
			Low	24	0.033	0.015			
			交互作用		0.01	0.924			
	1000 2000 (ms)	CZ	學前基準		4.81*	0.034			
			動畫型式	2D	24	0.018	0.012	5.28*	0.027
			3D	24	0.025	0.011			3D>2D
		CZ	立體空間能力	High	24	0.019	0.012	0.72	0.399
			Low	24	0.023	0.012			
			交互作用		0.68	0.416			

(續下頁)

頂葉 區 (ms)	1000 2000 (ms)	C1	學前基準	4.33*	0.043			
			動畫型式	2D 24 0.018 0.008	4.59*	0.038	3D>2D	
				3D 24 0.024	0.011			
			立體空間能力	High 24 0.019 0.010	0.61	0.438		
		CZ		Low 24 0.022 0.009				
			交互作用		0.00	0.957		
			學前基準		2.04	0.161		
			動畫型式	2D 24 0.019 0.008	3.49	0.068	3D>2D	
		C2		3D 24 0.024 0.010				
			立體空間能力	High 24 0.020 0.010	0.89	0.352		
				Low 24 0.023 0.009				
			交互作用		0.09	0.768		
		P1	學前基準		0.09	0.760		
			動畫型式	2D 24 0.019 0.008	3.97	0.053	3D>2D	
				3D 24 0.025 0.012				
			立體空間能力	High 24 0.020 0.010	1.23	0.274		
		PZ		Low 24 0.023 0.011				
			交互作用		0.63	0.431		
			學前基準		1.59	0.214		
			動畫型式	2D 24 0.015 0.008	2.29	0.137		
		O2		13D 24 0.018 0.010				
			立體空間能力	High 24 0.015 0.009	0.92	0.342		
				Low 24 0.018 0.009				
			交互作用		4.38*	0.042		
		枕葉 區 (ms)	學前基準		1.82	0.185		
			動畫型式	2D 24 0.015 0.008	3.31	0.076	3D>2D	
				3D 24 0.020 0.011				
			立體空間能力	High 24 0.016 0.010	1.02	0.317		
		O2		Low 24 0.019 0.010				
			交互作用		3.12	0.084		
			學前基準		7.28*	0.010		
			動畫型式	2D 24 0.012 0.006	5.00*	0.031	3D>2D	
		O2		3D 24 0.016 0.009				
			立體空間能力	High 24 0.014 0.008	0.07	0.794		
				Low 24 0.014 0.007				
			交互作用		0.00	0.951		

(續下頁)

枕葉 區 (ms)	2000	O2	學前基準	7.57 ^{**} 0.009						
			動畫型式	2D	24	0.013	0.007	4.42 [*]	0.042	3D>2D
	3000			3D	24	0.018	0.014			
			立體空間能力	High	24	0.017	0.015	2.63	0.113	
						Low	24	0.014	0.006	
						交互作用		0.10	0.752	

註：^{*}p<0.05, ^{**}p<0.01

由表 16 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper β 波平均功率值在額葉區之 FZ 位置於 0 至 1000 毫秒時達到顯著差異 ($F=4.10, p=0.049$)，而 F2 位置於 0 至 1000 毫秒 ($F=3.49, p=0.068$) 及 1000 至 2000 毫秒 ($F=3.28, p=0.077$) 則是將近達到考驗水準.05 顯著差異；頂葉區於 0 至 1000 毫秒時在 C1 位置達到顯著差異 ($F=5.28, p=0.027$)，CZ 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=2.88, p=0.097$)，而在 1000 至 2000 毫秒時，C1 位置達到顯著差異 ($F=4.59, p=0.038$)，CZ ($F=3.49, p=0.068$) 及 C2 ($F=3.97, p=0.053$) 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異；顳葉區於 0 至 1000 毫秒時在 PZ 位置將近考驗水準.05 達到顯著差異 ($F=3.31, p=0.076$)；枕葉區之 O2 位置於 1000 至 2000 毫秒 ($F=5.00, p=0.031$) 及 2000 至 3000 毫秒 ($F=4.42, p=0.042$) 時皆達到顯著差異。以上顯著差異或將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 upper β 波平均功率值大於 2D 組，且動畫型式與立體空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論動畫型式確實為此時間區段影響額葉區 upper β 波平均功率值差異的因素。

不同立體空間能力的學生之 upper β 波平均功率值在所有腦區皆未達到顯著差異，且除了顳葉區於 0 至 1000 毫秒時，在 P1 位置出現交互作用 ($F=4.38, p=0.042$) 之外，其餘動畫型式與立體空間能力之交互作用未達顯著，因此可推論立體空間能力並非為影響這些腦區 upper β 波平均功率值差異的因素。顳葉區之 P1 位置於 0 至 1000 毫秒時之單純主要效果考驗摘要表見表 17。

表17

upper β 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表

區域	時間	項目	分組	共變數		依變數		Post-hoc
				F.	p.	F.	p.	
顳葉區	1000 (ms)	P1	動畫型式	2D	0.20	0.658	0.65	0.429
				3D	1.41	0.249	3.65	0.070
		P1	立體空間能力	高	0.01	0.930	0.18	0.678
				低	1.88	0.185	7.30*	0.013 3D>2D

註：^{*} p<0.05

由表 17 的結果顯示，在低立體空間能力組內之 2D 組與 3D 組學生在 upper β 波之平均功率值達到顯著差異 ($F=7.30, p=0.013$)，經由事後比較之後，發現 3D 組學生之 upper β 波平均功率值較 2D 組學生來得高。

由以上結果可推論，3D 組學生無論是在 θ 波、upper α 波及 upper β 波的平均功率值都 2D 組學生來得高。而立體空間能力低的學生在 θ 波的平均功率值較立體空間能力高的學生來得高，但在 upper α 波及 upper β 波的平均功率值之統計結果則未看到顯著差異。

(2) 事件相關頻譜變化分析

以多媒體動畫型式及立體空間能力二因子作為分組依據，所得到之事件相關頻譜變化分析結果包含不同立體空間能力（高、低）學生使用不同型式動畫（2D、3D）所引發之腦波頻率-時間圖，以及利用遮罩效果將四組之間未達顯著之頻率-時間圖遮蔽，僅留下四組之間達到顯著差異部分之頻率-時間圖，藉由遮蔽後之頻率-時間圖可方便觀察比較四組之間在達到顯著差異部分的各波段強度大小有何不同。FZ、CZ、PZ 及 OZ 之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻譜變化分析結果如圖 7、圖 8、圖 9 及圖 10 所示。

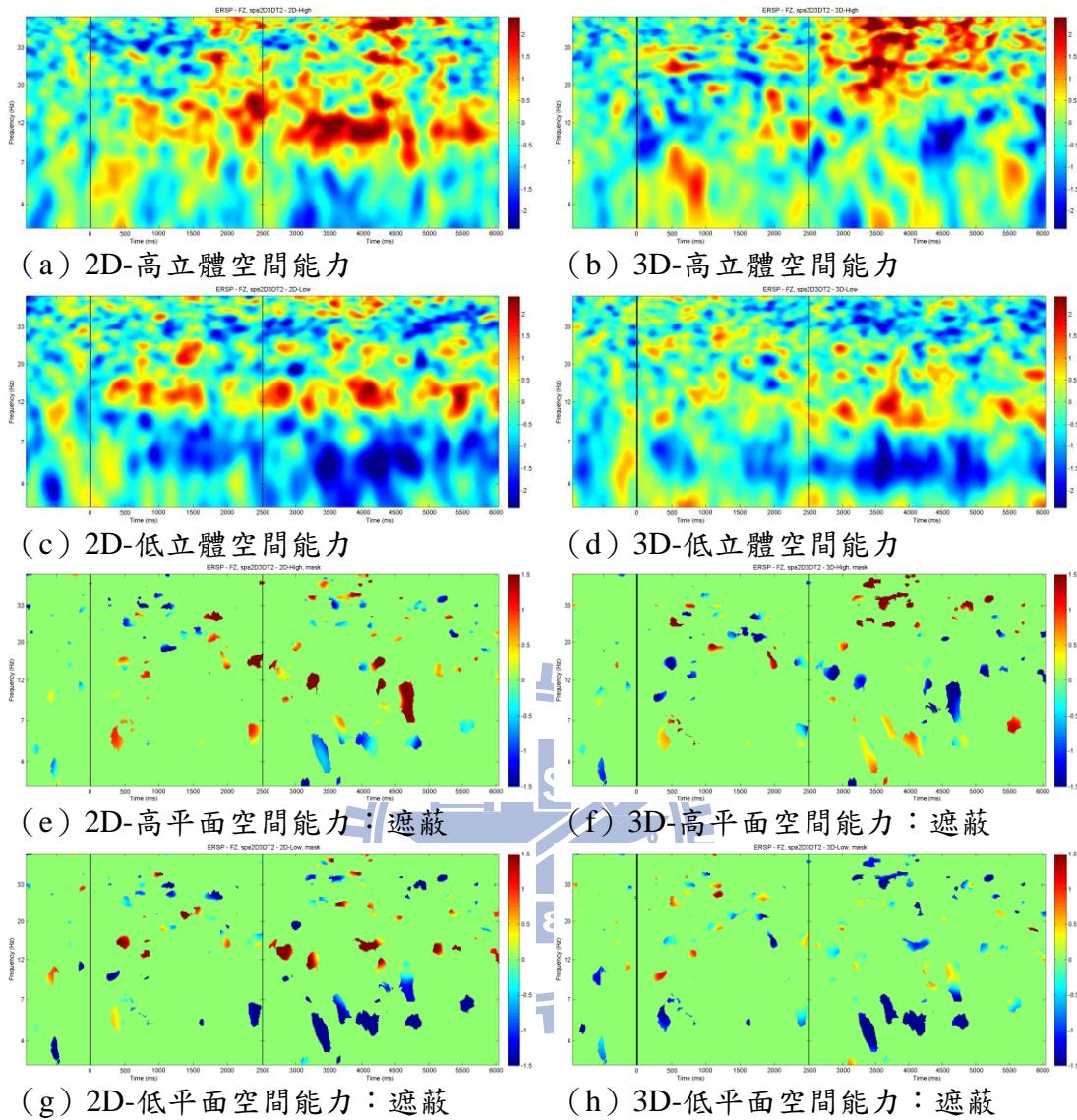


圖7 額葉區於FZ位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖7的結果顯示，在額葉區之FZ位置，當使用2D動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發θ波的活化。upper α波的部分，立體空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而立體空間能力高之學生由學習開始雖有活化，但在2000毫秒後，強度才大幅增加。而在upper β波的部分，立體空間能力高和低的兩組學生皆持續引發upper β波的活化。當使用3D動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發θ波、upper α波及upper β

波的活化。

觀察 ERSP 的統計結果，可發現立體空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較立體空間能力低的學生來得強。

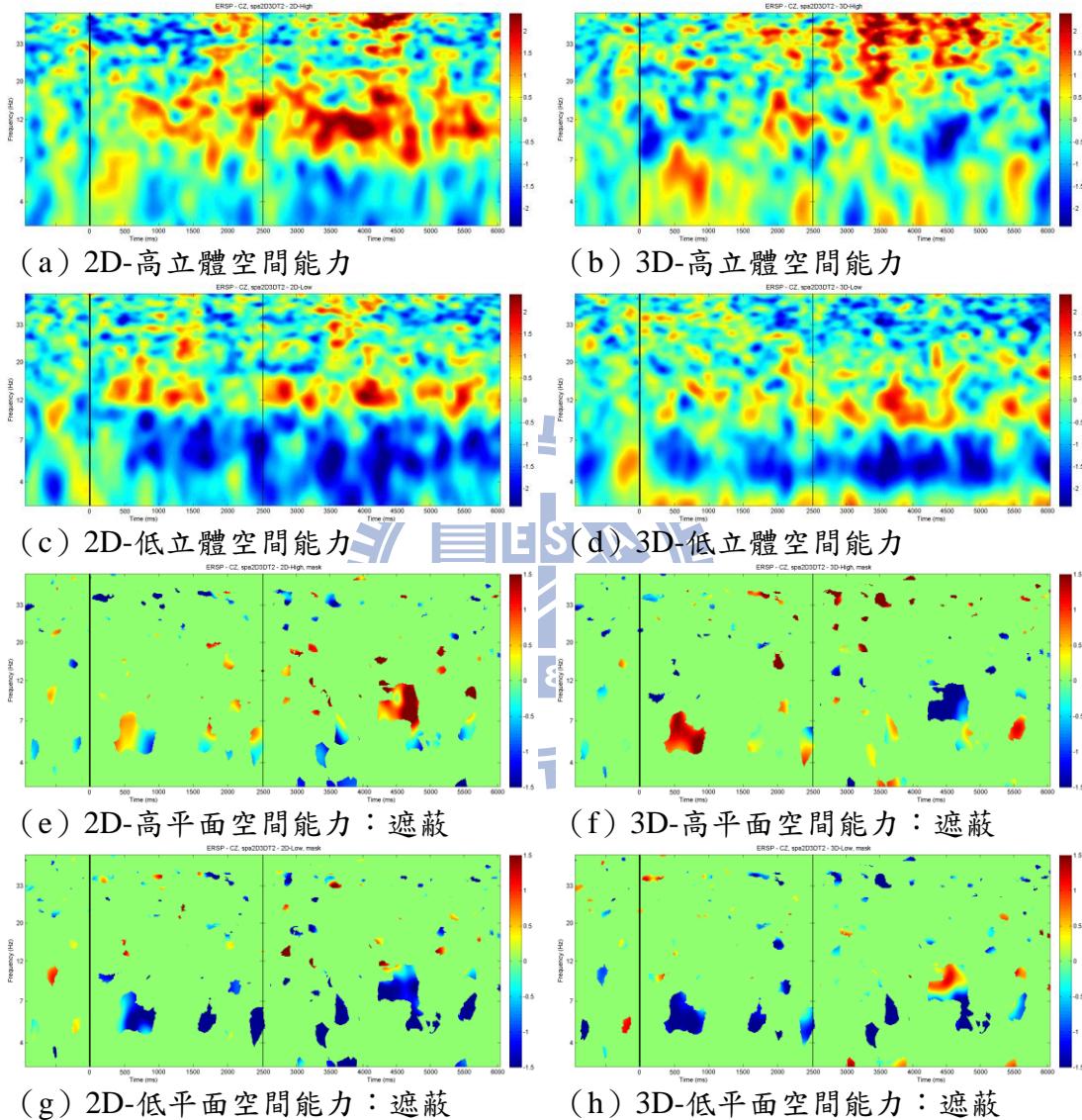


圖8 頂葉區於 CZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖 8 的結果顯示，在頂葉區之 CZ 位置，當使用 2D 動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波的活化。upper α 波的部分，立體空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而立體空間能力高之學生由

學習開始雖有活化，但在 500 毫秒後，強度才大幅增加。而在 upper β 波的部分，立體空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。當使用 3D 動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波的活化。

觀察 ERSP 的統計結果，可發現立體空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較立體空間能力低的學生來得強。

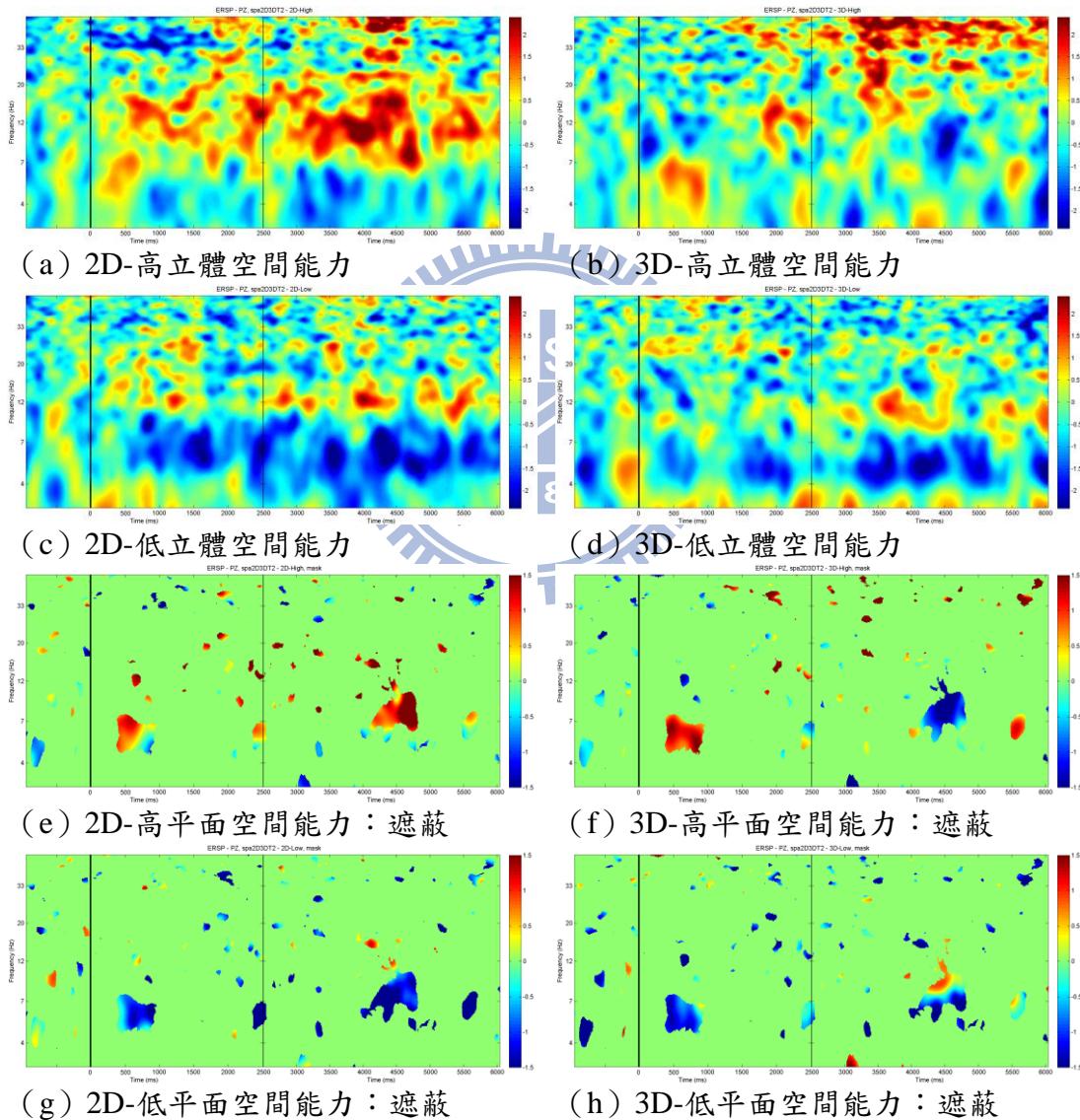


圖9 顳葉區於 PZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻譜變化

分析結果

由圖 9 的結果顯示，在顳葉區之 PZ 位置，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的活化。且觀察 ERSP 的統計結果，可發現立體空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較立體空間能力低的學生來得強。

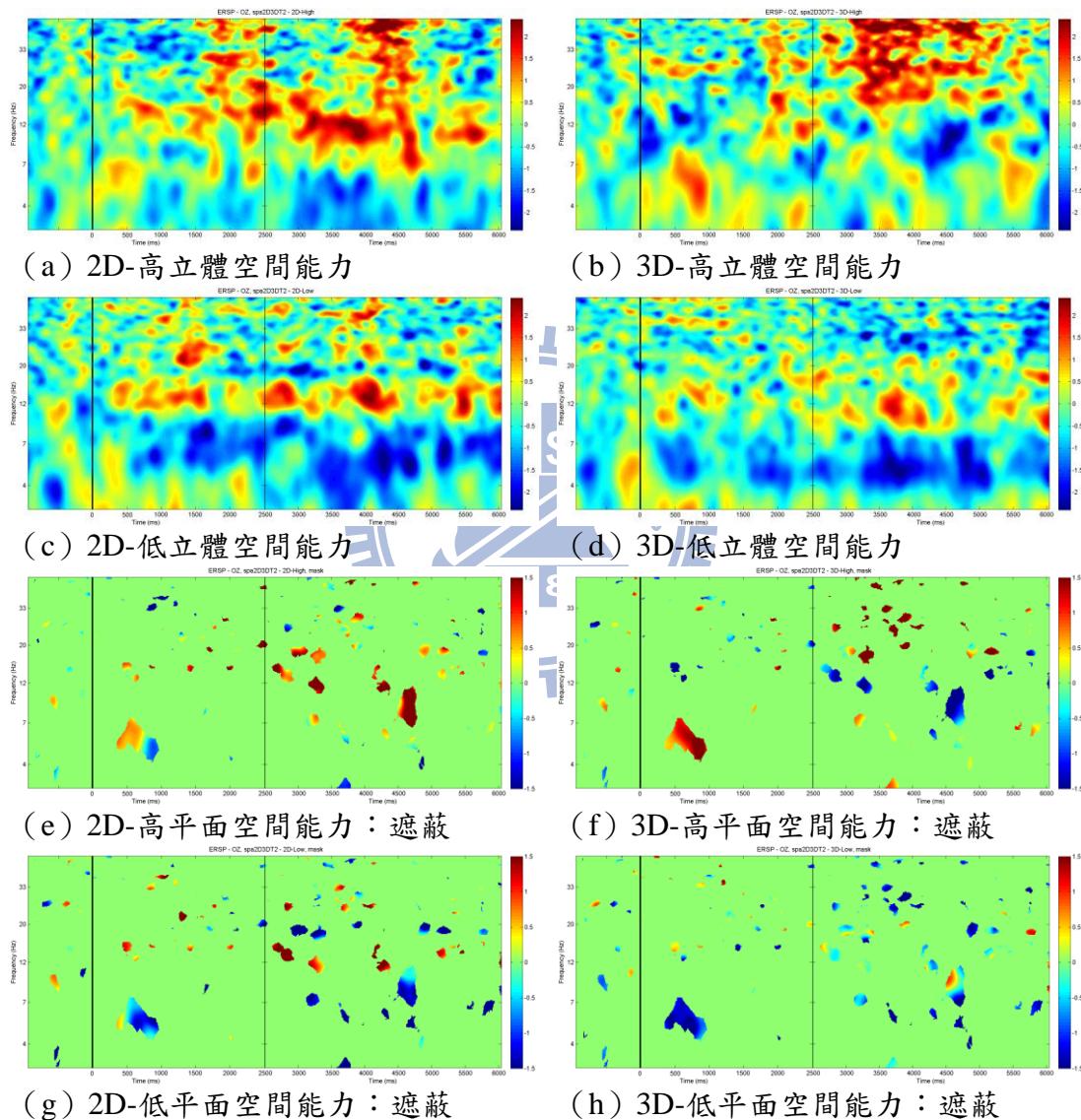


圖10 枕葉區於 OZ 位置之二因子（動畫型式、立體空間能力）事件相關頻譜變化分析結果

由圖 10 的結果顯示，在枕葉區之 OZ 位置，當使用 2D 動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波之活化。upper α 波的部分，立體空間能力低的學生由學習一開始即持續活化，且強度一致，而立體空間能力高之學生由學習開始雖有活化，但在 1500 毫秒後，強度才大幅增加。而在 upper β 波的部分，立體空間能力高和低的兩組學生皆持續引發 upper β 波的活化。當使用 3D 動畫學習時，立體空間能力高和低的學生皆持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波之活化。且觀察 ERSP 的統計結果，可發現立體空間能力高的學生，無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習，其所引發之 θ 波、upper α 波及 upper β 波的強度，都較立體空間能力低的學生來得強。

綜合以上的分析，雖 FZ、CZ、PZ 及 OZ 四個電極的位置在二因子（動畫型式、立體空間能力）ERSP 分析得出的結果稍有不同，但仍有其一致性。無論是哪一組，皆可發現當 θ 波的強度增加時，upper α 波的強度就會降低，而當 upper β 波的強度增加時，相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也會跟著增加。而比較不同立體空間能力學生使用不同型式動畫時，其腦波各頻率活化的結果，可發現立體空間能力高的學生在使用 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper β 波強度較 upper α 波強，而在使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波強度則較 upper β 波強。而立體空間能力低的學生無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper α 波強度均較 upper β 波強，且使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波及 upper β 波強度均較使用 3D 動畫進行學習時來得強。

平均功率值及 ERSP 兩項腦波資料的分析，因著重的分析面向不同，故取樣的時間長短不一，導致兩項分析結果產生少部分的出入，但就大體而言，仍能歸納出一致的結果。

4. 小結：

綜合上述分析結果，可發現經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上，雖 3D 組稍高於 2D 組的進步分數，但並未達到顯著差異，而 3D 組的學生無論是在全域的凝視時間或是關鍵區凝視時間

及掃視時間均較 2D 組的學生成長，且其在 θ 波、upper α 波及 upper β 波的平均功率值都較 2D 組學生來得高。

立體空間能力高之學生與立體空間能力低之學生在現代原子模型科學概念成就測驗上達到顯著差異，立體空間能力高之學生在現代原子模型科學成就測驗的表現較立體空間能力低之學生為佳。因立體空間能力在十項眼動模式統計上皆未達到顯著差異，顯示立體空間能力的高低並非影響學生眼動模式的因素。立體空間能力低之學生在 θ 波的平均功率值較立體空間能力高的學生來得高，而在 upper α 波及 upper β 波的平均功率值上兩組學生則未達到顯著差異。

θ 波的強度會跟 upper α 波的強度成反比， θ 波的強度增加，upper α 波的強度就降低；upper β 波的強度增加會引發相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也跟著增加。立體空間能力高的學生在使用 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper β 波強度較 upper α 波強，而在使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波強度則較 upper β 波強。而立體空間能力低的學生無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper α 波強度均較 upper β 波強，且使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波及 upper β 波強度均較使用 3D 動畫進行學習時來得強。

第三節 學生經由不同型式多媒體動畫學習之科學概念學習成效、心智模式變化、眼動模式及腦波動態歷程分析

1. 科學概念成就測驗資料分析

為了瞭解網路多媒體動畫課程型式對學生在現代原子模型單元科學概念建構的影響為何，於學習前後實施二階層成就測驗，並將其前測總分與後測總分進行敘述性統計分析及推論性統計分析，敘述性統計分析分別將 2D 及 3D 兩組學生的科學概念成就測驗前測及後測成績進行成對樣本 t 檢定分析，敘述性統計之成對樣本 t 檢定分析結果如表 18 所示。推論性統計分析以學生的網路多媒體動畫組別作為自變數，科學概念成就測驗前測成績作為共變數，後測成績作

為依變數，進行單因子單變量共變數分析。推論性統計之單因子單變量共變數分析結果如表 19 所示。

表18

現代原子模型科學概念成就測驗之成對樣本 t 檢定表

項目	分組	N	前測		後測		df	t	p.	Post-hoc	後測-前測 平均差
			Mean	SD	Mean	SD					
成就測驗	2D	30	8.57	3.50	23.30	4.89	29	-13.93***	0.000	後測>前測	14.73
	3D	30	9.50	3.74	24.00	4.36	29	-14.52***	0.000	後測>前測	14.50

註：*** $p<0.001$

由表 18 的結果顯示，經由 2D 組($t_{後-前}=13.93, p<0.001$)或 3D 組($t_{後-前}=14.52, p<0.001$)網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗前測及後測的成績皆有顯著的進步，因此可推論無論是 2D 動畫還是 3D 動畫皆能幫助學生學習現代原子模型的概念。

表19

現代原子模型科學概念成就測驗之單因子共變數分析表

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.
科學概念成就測驗	前測				0.42	0.521
	2D	30	23.30	4.89	0.24	0.624
	3D	30	24.00	4.36		

由表 19 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上並無顯著差異，因此可推論 2D 及 3D 兩組學生在經由網路多媒體課程學習後，得到差不多的學習成效。

2. 心智模式分析

為了瞭解網路多媒體動畫課程型式對學生在現代原子模型單元所建構之心智模式的影響為何，於學習前後實施心智模式繪圖測驗，並將其前測總分與後測總分進行敘述性統計分析及推論性統計分析，敘述性統計分析分別將 2D 及

3D 兩組學生的心智模式測驗前測及後測成績進行成對樣本 t 檢定分析，敘述性統計之成對樣本 t 檢定分析結果如表 20 所示。推論性統計分析以學生的網路多媒體動畫組別作為自變數，心智模式測驗前測成績作為共變數，後測成績作為依變數，進行單因子單變量共變數分析。推論性統計之單因子單變量共變數分析結果如表 21 所示。

表20

現代原子模型心智模式測驗之成對樣本 t 檢定表

項目	分組	N	前測		後測		df	t	p.	Post-hoc	後測-前測 平均差
			Mean	SD	Mean	SD					
心智模式 測驗	2D	30	3.47	3.88	14.50	7.10	29	-8.17***	0.000	後測>前測	11.03
	3D	30	3.10	3.98	16.73	9.14	29	-7.82***	0.000	後測>前測	13.63

註：*** $p<0.001$

由表 20 的結果顯示，經由 2D 組 ($t_{後-前}=8.17, p<0.001$) 或 3D 組 ($t_{後-前}=7.82, p<0.001$) 網路多媒體動畫學習的兩組學生在學習前後之心智模式測驗成績皆達到顯著差異，且皆為後測高於前測，顯示無論是 2D 動畫或是 3D 動畫均能有效幫助學生成功建構現代原子模型的心智模式。

表21

現代原子模型心智模式測驗之單因子單變量共變數分析表

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.
	前測				1.29	0.260
心智模式測驗 動畫型式	2D	30	14.50	7.10	1.24	0.271
	3D	30	16.73	9.14		

由表 21 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型心智模式測驗上並未達到顯著差異，但觀察兩組學生前、後測的平均差，可發現 3D 組較 2D 組來得高，未達到顯著差異可能是標準差過大而導致，雖未達到統計上的顯著，但可推論 3D 組學生在經由網路多媒體課程學習後，與

2D 組相較之下，在心智模式測驗上有較大的進步。

根據科學概念心智模式測驗前測及後測分類結果進行敘述性統計分析，以探討 2D 及 3D 兩組學生在學習前後心智模式的變化情形，現代原子模型之心智模式分類表如表 22 所示，整體心智模式改變情形之敘述性統計分析如表 23 所示。

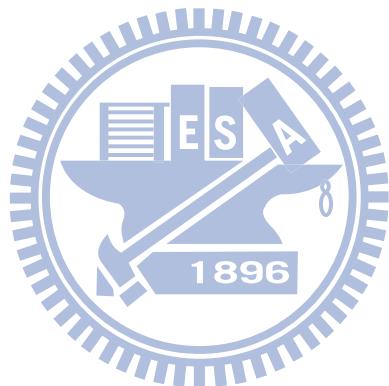


表22

現代原子模型之心智模式分類表

模型 種類	(A)平面模型	(B)平面殼層 模型	(C)立體分開軌域 模型	(D)立體重疊軌域 模型
範例				
層次	畫出原子核 數	畫出原子核 數	畫出原子核 數	畫出原子核 數
1	畫出正確電子 數	畫出正確電子 數	畫出正確電子數	畫出正確電子數
	畫出立體分開軌域 畫出平面殼層			畫出立體重疊軌域
層次	寫出軌域名稱 2	寫出平面殼層 數	寫出電子在立體分 開軌域內的分佈	寫出電子在立體重 疊軌域內的分佈
	寫出電子在平 面殼層間的分 佈	寫出正確的軌 域名稱	寫出正確的軌 域名稱	寫出正確的軌域名 稱
層次	寫出原子核 數	寫出原子核 數	寫出原子核 數	寫出原子核 數
3	寫出正確電子 數	寫出正確電子 數	寫出正確電子數	寫出正確電子數
	寫出立體分開軌域 寫出平面殼層		寫出電子在立體分 開軌域內的分佈	寫出立體重疊軌域
層次	寫出電子組態 3	寫出電子在平 面殼層間的分 佈	寫出正確軌域名 稱	寫出電子在立體重 疊軌域內的分佈
	寫出正確軌域 名稱	寫出正確電子 組態	寫出正確電子組 態	寫出正確軌域名 稱
	寫出正確電子 組態			寫出正確電子組 態

表22為現代原子模型之心智模式分類表，共分為四大類，分別為平面模型、平面殼層模型、立體分開軌域模型及立體重疊軌域模型。此四大類模型又依照概念完整性的層級各分為三個層次，層次越高代表概念越完整。將學生所繪出之心智模式圖分類後，依照其回答是否達到滿足該層次中所有條件為判斷基

準，再細分為完全正確及部分正確兩組。

表23

整體心智模式改變情形之敘述性統計分析表

	2D				3D			
	前測		後測		前測		後測	
	N	%	N	%	N	%	N	%
空白	21	70%	1	3%	22	73%	2	7%
(A) 平面模型	2%	7%					1	3%
(B) 平面殼層模型	7	23%	20	57%	8	27%	14	47%
(C) 立體分開軌域							1	3%
(D) 立體重疊軌域			9	29%			12	40%

由表 23 的結果顯示，2D 組和 3D 組學生在前測時皆有約 70% 的學生未畫出任何心智模式，顯示兩組學生在前測的程度相當。而後測的部分，2D 組有 57% 的學生心智模式提升至平面殼層模型，29% 的學生提升至立體重疊軌域模型；3D 組有 47% 的學生心智模式提升至平面殼層模型，40% 的學生提升至立體重疊軌域模型。由此可知，2D 組及 3D 組之學生在經由網路多媒體動畫學習之後，其心智模式皆有相當大幅度的進步，尤其在 3D 組之提升幅度更加明顯。3D 組學生在學習過後，有較高比例的學生之心智模式達到較高層次的立體重疊軌域模型。

3. 眼動模式資料分析

為了瞭解學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其眼動模式的差異為何，將其在學習期間所記錄到之眼動資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別作為自變數，全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間、全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間等十項各別作為依變數，分別進行單因子單變量變異數分析。推論性統計之單因子單變量變異數分析結果如表 24 及表 25 所示。

表24

眼動變化模式之單因子單變量變異數分析表：全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間、關鍵區回視平均時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.
全域凝視點 平均時間	動畫型式	2D 30	484.43	83.61	0.68	0.412
		3D 30	509.02	139.91		
全域掃視 平均時間	動畫型式	2D 30	2.43	0.58	0.34	0.562
		3D 30	2.35	0.38		
關鍵區凝視點 平均時間	動畫型式	2D 30	568.36	148.64	1.18	0.281
		3D 30	619.65	211.21		
關鍵區掃視 平均時間	動畫型式	2D 30	1.22	0.17	0.54	0.467
		3D 30	1.18	0.20		
關鍵區回視 平均時間	動畫型式	2D 30	542.90	125.96	1.03	0.315
		3D 30	586.98	202.30		

由表 24 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全域凝視點平均時間、全域掃視平均時間、關鍵區凝視點平均時間、關鍵區掃視平均時間及關鍵區回視平均時間等五項上皆無顯著差異，因此可推論多媒體動畫型式組別並非影響學生在此五項眼動變化模式差異的因素。

表25

眼動變化模式之單因子單變量變異數分析表：全域凝視時間、全域掃視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間、關鍵區回視時間

項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視 時間	動畫型式	2D 30	70249.69	10831.88	4.96*	0.030	3D>2D
		3D 30	75725.21	8010.05			
全域掃視 時間	動畫型式	2D 30	355.14	98.08	0.06	0.809	
		3D 30	360.62	75.72			
關鍵區凝視 時間	動畫型式	2D 30	46343.57	15578.44	5.80*	0.019	3D>2D
		3D 30	55379.63	13407.55			

(續下頁)

關鍵區掃視 時間	動畫型式	2D	30	69.98	26.94	6.04*	0.017	3D>2D
		3D	30	88.14	30.21			
關鍵區回視 時間	動畫型式	2D	30	26485.04	8765.61	3.90	0.053	3D>2D
		3D	30	30436.09	6580.17			

註：^{*} p<0.05

由表 25 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在全域掃視時間上並無顯著差異，但在全域凝視時間 ($F=4.96, p=0.030$)、關鍵區凝視時間 ($F=5.80, p=0.019$) 及關鍵區掃視時間 ($F=6.04, p=0.017$) 等三項上達顯著差異，而在關鍵區回視時間上則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.90, p=0.053$)，且皆為 3D 組大於 2D 組，因此可推論動畫型式確實為影響學生在全域凝視時間、關鍵區凝視時間、關鍵區掃視時間及關鍵區回視時間等四項眼動變化模式差異的因素。

由以上結果可推論，3D 組的學生無論是在全域或是關鍵區的凝視時間均較 2D 組長，3D 組在關鍵區的掃視時間與回視時間也較 2D 組長，顯示 3D 學生需花費較長的時間觀看課程內容。

4. 腦波動態歷程資料分析

(1) 平均功率值統計分析

為了瞭解學生在經由不同型式之網路多媒體動畫課程學習時，其腦波動態歷程的差異為何，將其在學習期間所記錄到之腦波資料進行推論性統計分析，推論性統計分析以學生的多媒體動畫組別作為自變數，學習前之 θ 波、upper α 波及 upper β 波等頻率之平均功率值分別作為共變數，動畫頁面之 θ 波、upper α 波及 upper β 波等頻率之平均功率值分別作為依變數，進行單因子單變量共變數分析。 θ 波、upper α 波及 upper β 波之推論性統計之單因子單變量共變數分析結果如表 26、表 27 及表 28 所示。

表26

θ波之單因子單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0-1000 (ms)	F1	學前基準				2.81	0.099	
			動畫型式	2D 30	0.138	0.045	3.79	0.057	3D>2D
				3D 30	0.167	0.072			
	2000 3000 (ms)	F1	學前基準				2.59	0.113	
			動畫型式	2D 30	0.149	0.063	4.84*	0.032	3D>2D
				3D 30	0.189	0.085			
額葉區	2000 3000 (ms)	FZ	學前基準				4.34*	0.042	
			動畫型式	2D 30	0.158	0.066	5.47*	0.023	3D>2D
				3D 30	0.201	0.085			
	2000 3000 (ms)	F2	學前基準				4.94*	0.030	
			動畫型式	2D 30	0.154	0.063	4.75*	0.033	3D>2D
				3D 30	0.192	0.083			
枕葉區	2000 3000 (ms)	OZ	學前基準				0.00	0.984	
			動畫型式	2D 30	0.058	0.044	3.13	0.083	3D>2D
				3D 30	0.079	0.044			
	2000 3000 (ms)	O2	學前基準				0.60	0.441	
			動畫型式	2D 30	0.049	0.024	3.10	0.084	3D>2D
				3D 30	0.060	0.023			

註：^{*}p<0.05

由表 26 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 θ 波平均功率值在額葉區達到顯著差異或是將近考驗水準.05 顯著差異，0 至 1000 毫秒時在 F1 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.79, p=0.057$)，而 2000 至 3000 毫秒時，在 F1 ($F=4.84, p=0.032$)、FZ ($F=5.47, p=0.023$) 及 F2 ($F=4.75, p=0.033$) 位置達到顯著差異；在枕葉區於 2000 至 3000 毫秒時，在 OZ ($F=3.13, p=0.083$) 及 O2 ($F=3.10, p=0.084$) 位置將近達到考驗水準.05 顯著差異。以上顯著差異及將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 θ 波平均功率值皆大於 2D 組，因此可推論動畫型式確實為此時間區段影響這些腦區 θ 波平均功率值差異的因素。

表27

upper α 波之單因子單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	1000 2000 (ms)	F1	學前基準				1.49	0.227	
			動畫型式	2D 30	0.049	0.029	6.75*	0.012	3D>2D
			3D 30	0.067	0.029				
	FZ	學前基準					2.82	0.099	
		動畫型式	2D 30	0.050	0.021	10.02**	0.002	3D>2D	
			3D 30	0.069	0.028				
頂葉區	1000 2000 (ms)	F2	學前基準				3.69	0.060	
			動畫型式	2D 30	0.051	0.023	8.05**	0.006	3D>2D
			3D 30	0.069	0.028				
	C1	學前基準					0.01	0.928	
		動畫型式	2D 30	0.049	0.036	3.08	0.085	3D>2D	
			3D 30	0.064	0.029				
顳葉區	1000 2000 (ms)	CZ	學前基準				0.66	0.421	
			動畫型式	2D 30	0.053	0.031	4.07*	0.048	3D>2D
			3D 30	0.068	0.028				
	P1	學前基準					0.11	0.746	
		動畫型式	2D 30	0.047	0.024	2.91	0.093	3D>2D	
			3D 30	0.059	0.029				
枕葉區	0-1000 (ms)	PZ	學前基準				1.03	0.314	
			動畫型式	2D 30	0.050	0.023	3.51	0.066	3D>2D
			3D 30	0.062	0.026				
	O2	學前基準					0.12*	0.045	
		動畫型式	2D 30	0.027	0.015	4.20*	0.045	3D>2D	
			3D 30	0.037	0.026				
枕葉區	1000-2000 (ms)	O2	學前基準				11.42**	0.001	
			動畫型式	2D 30	0.029	0.014	4.65*	0.036	3D>2D
			3D 30	0.036	0.019				

註：^{*} $p<0.05$, ^{**} $p<0.01$

由表 27 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper α 波平均功率值在額葉區之 F1 ($F=6.75, p=0.012$)、FZ ($F=10.02, p=0.002$) 及 F2 ($F=8.05, p=0.006$) 位置於 1000 至 2000 毫秒時達到顯著差異；頂葉區於 1000

至 2000 毫秒時，在 CZ 位置達到顯著差異 ($F=4.07, p=0.048$)，在 C1 位置則是將近達到考驗水準.05 顯著差異 ($F=3.08, p=0.085$)；顳葉區於 1000 至 2000 毫秒時，在 P1 ($F=2.91, p=0.093$) 及 PZ ($F=3.51, p=0.026$) 位置皆將近達到考驗水準.05 顯著差異；枕葉區之 O2 位置於 0 至 1000 毫秒 ($F=4.20, p=0.045$) 與 1000 至 2000 毫秒 ($F=4.65, p=0.036$) 時皆達到顯著差異。以上顯著差異或將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 upper α 波平均功率值顯著大於 2D 組，因此可推論動畫型式確實為影響學生 upper α 波之平均功率值在這些腦區差異的因素。

表28

upper β 波之單因子單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0-1000 (ms)	FZ	學前基準				8.66 ^{**}	0.005	
			動畫型式	2D 30	0.025	0.014	4.07	0.048	3D>2D
頂葉區	0 1000 (ms)	C1	學前基準				21.87 ^{***}	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.019	0.011	7.12 ^{**}	0.010	3D>2D
顳葉區	0-1000 (ms)	CZ	學前基準				16.79 ^{***}	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.019	0.011	4.13 [*]	0.047	3D>2D
	2000-3000 (ms)	PZ	學前基準				7.18 ^{**}	0.010	
			動畫型式	2D 30	0.016	0.008	2.95	0.091	3D>2D
			學前基準				7.39 ^{**}	0.009	
			動畫型式	2D 30	0.018	0.009	3.04	0.087	3D>2D

註：^{*} $p<0.05$, ^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$

由表 28 的結果顯示，經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生的 upper β 波平均功率值在額葉區之 FZ 位置於 0 至 1000 毫秒時達到顯著差異 ($F=4.07, p=0.048$)；頂葉區於 0 至 1000 毫秒時，在 C1 ($F=7.12, p=0.010$) 及 CZ ($F=4.13, p=0.047$) 位置達到顯著差異；顳葉區之 PZ 位置於 0 至 1000 秒 ($F=2.95, p=0.091$)

與 2000 至 3000 毫秒 ($F=3.04, p=0.087$) 時皆將近達到考驗水準.05 顯著差異。以上顯著差異或將近顯著差異皆為 3D 組大於 2D 組，顯示 3D 組在這些腦區的 upper β 波平均功率值顯著大於 2D 組，因此可推論動畫型式確實為影響學生 upper β 波之平均功率值在這些腦區差異的因素。

(2) 事件相關頻譜變化分析

以多媒體動畫型式為分組依據，所得到之事件相關頻譜變化分析結果包含 2D 組和 3D 組之頻率-時間圖，以及利用遮罩效果將 2D 及 3D 兩組之間未達顯著之頻率-時間圖遮蔽，僅留下 2D 及 3D 兩組之間達到顯著差異部分之頻率-時間圖，藉由遮蔽後之頻率-時間圖可方便觀察比較 2D 及 3D 兩組之間在達到顯著差異部分的各波段強度大小有何不同。, FZ、CZ、PZ 及 OZ 之事件相關頻譜變化分析結果如圖 11、圖 12、圖 13 及圖 14 所示。

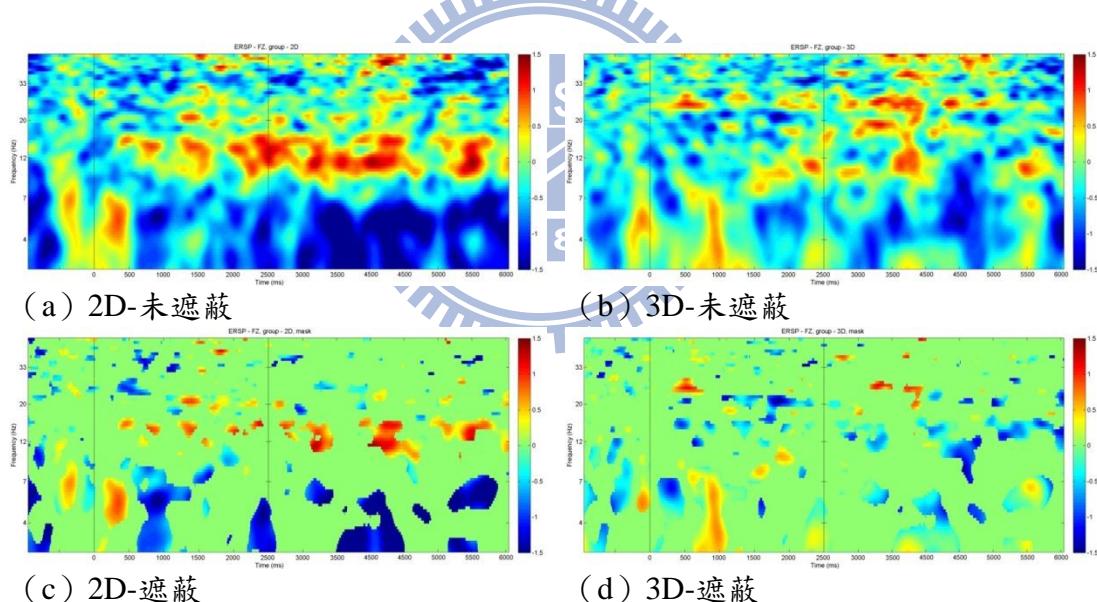


圖11 額葉區於 FZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果

由圖 11 的結果顯示，在額葉區之 FZ 位置，使用 2D 動畫進行學習的學生，僅在學習開始至 500 毫秒時引發較強烈之 θ 波的活化，500 毫秒之後 θ 波的活化相當零星。upper α 波及 upper β 波的部分則於學習開始時便持續活化。使用 3D 動畫進行學習的學生於學習開始時便持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波的

活化。觀察 ERSP 的統計結果，可發現使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。

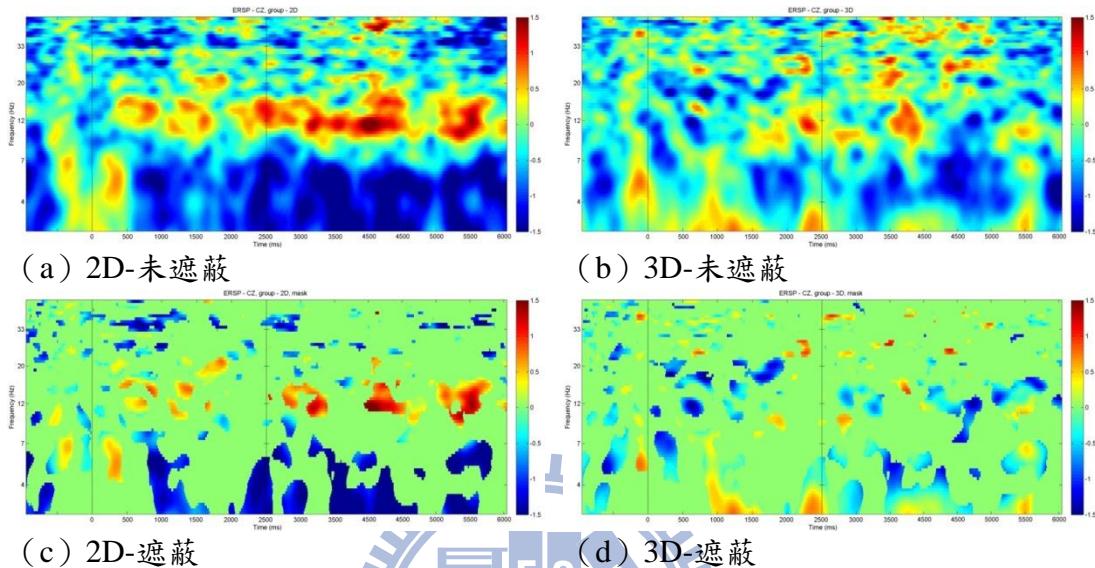
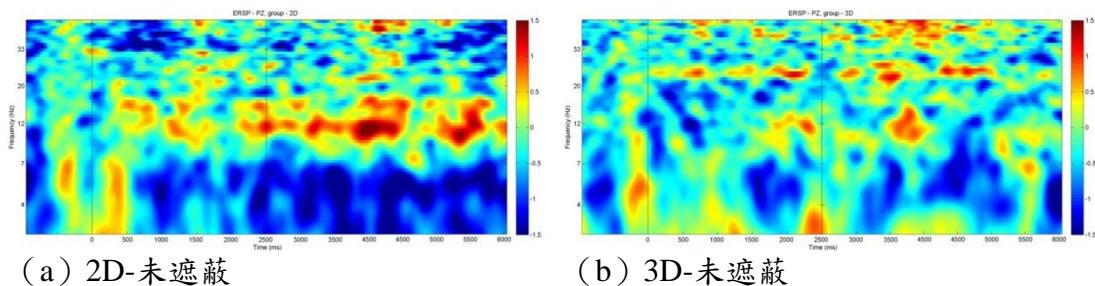


圖12 頂葉區於 CZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果

由圖 12 的結果顯示，在頂葉區之 CZ 位置，使用 2D 動畫進行學習的學生，僅在學習開始至 500 毫秒時引發較強烈之 θ 波的活化，500 毫秒之後 θ 波的活化相當零星。upper α 波及 upper β 波的部分則於學習開始時便持續活化。使用 3D 動畫進行學習的學生於學習開始時便持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波的活化。觀察 ERSP 的統計結果，可發現使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。



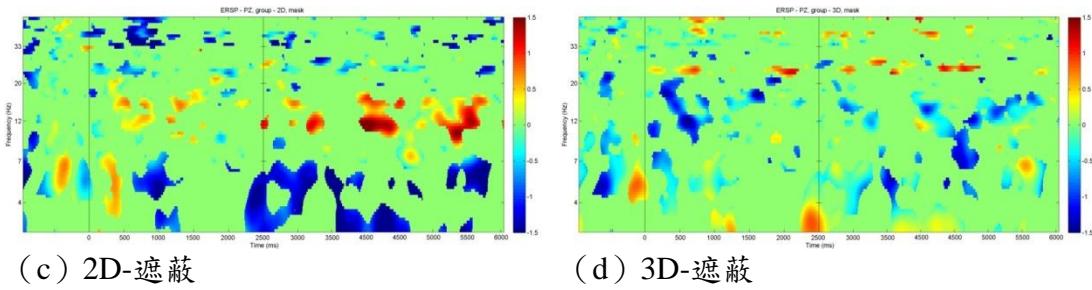


圖13 頸葉區於 PZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果

由圖 13 的結果顯示，在頸葉區之 PZ 位置，使用 2D 動畫進行學習的學生，僅在學習開始至 500 毫秒時引發較強烈之 θ 波的活化，500 毫秒之後 θ 波的活化相當零星。upper α 波及 upper β 波的部分則於學習開始時便持續活化。使用 3D 動畫進行學習的學生於學習開始時便持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波的活化。觀察 ERSP 的統計結果，可發現使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。

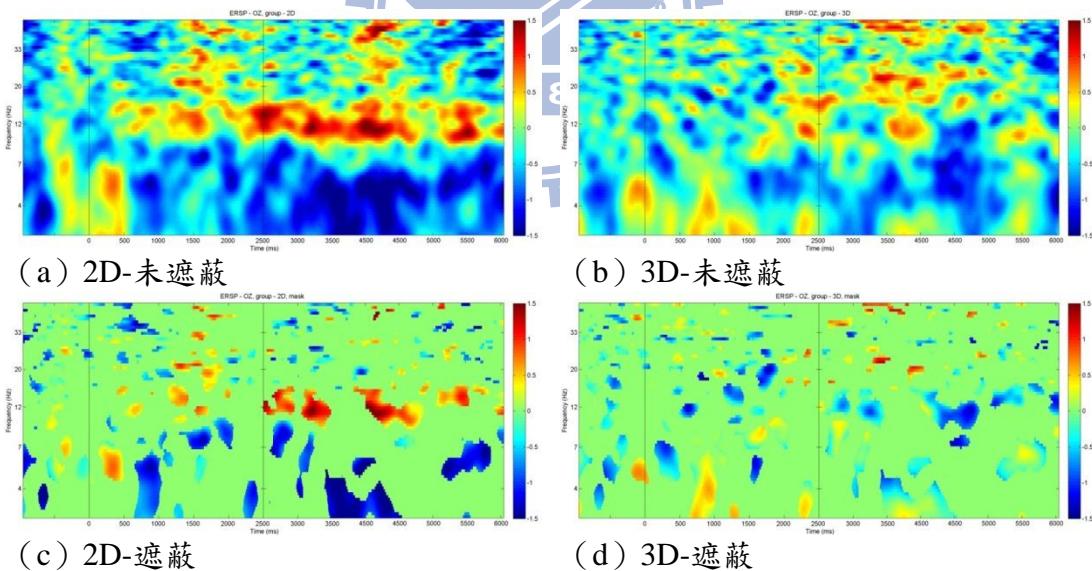


圖14 枕葉區於 OZ 位置之事件相關頻譜變化分析結果

由圖 14 的結果顯示，在枕葉區之 OZ 位置，使用 2D 動畫進行學習的學生，僅在學習開始至 500 毫秒時引發較強烈之 θ 波的活化，500 毫秒之後 θ 波的活化相當零星。upper α 波及 upper β 波的部分則於學習開始時便持續活化。使用 3D

動畫進行學習的學生於學習開始時便持續引發 θ 波、upper α 波及 upper β 波的活化。觀察 ERSP 的統計結果，可發現使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。

綜合以上 ERSP 的分析，無論是 FZ、CZ、PZ 及 OZ 四個電極皆可得到一致性的結果。當 θ 波的強度增加時，upper α 波的強度就會降低，而當 upper β 波的強度增加時，相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也會跟著增加。而比較學生使用不同型式動畫時，其腦波各頻率活化的結果，可發現使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。

平均功率值及 ERSP 兩項腦波資料的分析，因著重的分析面向不同，故取樣的時間長短不一，導致兩項分析結果產生少部分的出入，但就大體而言，仍能歸納出一致的結果。

5. 小結：

綜合上述分析結果，可發現經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在成就測驗的成績都有顯著的提升，但 2D 和 3D 兩組學生組間的比較上並無顯著差異。兩組學生在學習過後，其心智模式亦皆有顯著的提升，其中以 3D 組有較高比例的學生之心智模式達到高層次的立體重疊軌域模型。此外，3D 組的學生無論是在全域的凝視時間或是關鍵區凝視時間、掃視時間及回視時間均較 2D 組的學生長，且其在 θ 波、upper α 波及 upper β 波的平均功率值也都較 2D 組學生來得高。

θ 波的強度會跟 upper α 波的強度成反比， θ 波的強度增加，upper α 波的強度就降低；upper β 波的強度增加會引發相同時間點的 θ 波或是 upper α 波的強度也跟著增加。使用 3D 動畫進行學習的學生，其所引發之 θ 波及 upper β 波的強度，都較使用 2D 動畫進行學習的學生來得強，upper α 波的強度則較弱。

第四節 學生觀看不同類型之眼動模式及腦波動態歷程分析

1. 眼動模式資料分析

為了瞭解學生在觀看網路多媒體動畫課程中不同類型之主要概念頁面時，其眼動模式的差異為何，將其在學習期間所記錄到之眼動資料進行推論性統計分析，將課程主要概念頁面分為平面動畫及立體動畫兩種類型以作為受試者內因子，進行重複量數分析。比較兩種不同類型主要概念頁面在全域凝視點平均時間、關鍵區凝視點平均時間及關鍵區回視平均時間此三項眼動模式上的差異。2D 組與 3D 組眼動變化模式之重複量數分析結果如表 29 及表 30 所示。

表29

眼動變化模式之重複量數分析表：2D

項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視點 平均時間	2D	平面動畫	30	321.61	55.29	290.13***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	484.43	83.61			
關鍵區凝視 點平均時間	2D	平面動畫	30	357.90	77.12	126.24***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	568.36	148.64			
關鍵區回視 平均時間	2D	平面動畫	30	344.31	88.80	140.34***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	542.90	125.96			

註：1. *** $p<0.001$

2. 平面=平面動畫，立體=立體動畫

由表 29 的結果顯示，2D 組學生無論是在全域凝視點平均時間 ($F=290.13, p<0.001$)、關鍵區凝視點平均時間 ($F=126.24, p<0.001$) 及關鍵區回視平均時間 ($F=140.34, p<0.001$) 三項皆達到顯著差異，且事後比較皆為立體動畫大於平面動畫，顯示 2D 組學生在立體動畫的觀看及回視時較都較觀看平面動畫時來得長。

表30

眼動變化模式之重複量數分析表：3D

項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
全域凝視點 平均時間	3D	平面動畫	30	328.40	61.59	106.42***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	509.02	139.91			
關鍵區凝視 點平均時間	3D	平面動畫	30	370.57	84.99	58.67***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	619.65	211.21			
關鍵區回視 平均時間	3D	平面動畫	30	360.22	86.64	57.99***	0.000	立體>平面
		立體動畫	30	586.98	202.30			

註：1. *** $p<0.001$

2. 平面=平面動畫，立體=立體動畫

由表 30 的結果顯示，3D 組學生無論是在全域凝視點平均時間 ($F=106.42, p<0.001$)、關鍵區凝視點平均時間 ($F=58.67, p<0.001$) 及關鍵區回視平均時間 ($F=57.99, p<0.001$) 三項皆達到顯著差異，且事後比較皆為立體動畫頁面大於平面動畫頁面，顯示 3D 組學生在立體動畫頁面的凝視時間及回視時間都較觀看平面動畫頁面時來得長。

由以上結果可推論，無論是 2D 組還是 3D 組的學生，在立體動畫頁面的全域及關鍵區凝視時間均較平面動畫頁面長，在立體動畫頁面關鍵區的平均回視時間也較平面動畫頁面長，顯示兩組學生均花費較長的時間觀看立體動畫頁面。

2. 腦波動態歷程資料分析

為了瞭解學生在觀看網路多媒體動畫課程中不同類型之主要概念頁面時，其腦波動態歷程的差異為何，將其在學習期間所記錄到之腦波資料進行推論性統計分析，將課程主要概念頁面分為平面動畫及立體動畫兩種類型以作為受試者內因子，進行重複量數分析。比較兩種不同類型主要概念頁面在 θ 波、upper α 波及 upper β 波之平均功率值上的差異。2D 組與 3D 組在 θ 波之重複量數分析結果如表 31 及表 32 所示。2D 組與 3D 組在 upper α 波之重複量數分析結果如表 33 及表 34 所示。2D 組與 3D 組在 upper β 波之重複量數分析結果如表 35 及表 36 所示。

表31

 θ 波之重複量數分析表：2D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
頂葉 區	1000 (ms)	C1	2D	平面動畫	30	0.14	0.06	5.18*	0.030	立體>平面
				立體動畫	30	0.17	0.07			
	2000 (ms)	CZ	2D	平面動畫	30	0.13	0.05	4.76*	0.037	立體>平面
				立體動畫	30	0.15	0.08			
顳葉 區	1000 (ms)	P1	2D	平面動畫	30	0.10	0.04	4.65*	0.039	立體>平面
				立體動畫	30	0.12	0.06			
	2000 (ms)	PZ	2D	平面動畫	30	0.11	0.04	7.20*	0.012	立體>平面
				立體動畫	30	0.13	0.06			
	P2	2D		平面動畫	30	0.10	0.04	5.43*	0.027	立體>平面
				立體動畫	30	0.13	0.07			

註：1. * $p<0.05$

2. 平面=平面動畫，立體=立體動畫

由表 31 的結果顯示，2D 組學生於 1000 至 2000 毫秒時，在頂葉區之 C1 ($F=5.18, p=0.030$) 及 CZ ($F=4.76, p=0.037$) 位置與顳葉區之 P1 ($F=4.65, p=0.039$) 、 PZ ($F=7.20, p=0.012$) 及 P2 ($F=5.43, p=0.027$) 位置皆達到顯著差異，且事後比較皆為立體動畫頁面大於平面動畫頁面，顯示 2D 組學生在觀看立體動畫頁面的 θ 波之平均功率值都較觀看平面動畫頁面時來得高。

表32

 θ 波之重複量數分析表：3D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
頂葉 區	0 (ms)	C1	3D	平面動畫	30	0.16	0.09	7.20*	0.012	平面>立體
				立體動畫	30	0.13	0.05			
	1000 (ms)	CZ	3D	平面動畫	30	0.17	0.08	9.45**	0.005	平面>立體
				立體動畫	30	0.14	0.05			
顳葉 區	0-1000 (ms)	P1	3D	平面動畫	30	0.15	0.07	11.28***	0.002	平面>立體
				立體動畫	30	0.12	0.05			

(續下頁)

顳葉 區	0 1000 (ms)	PZ P2	3D	平面動畫	30	0.14	0.06	5.65 [*]	0.024	平面>立體
				立體動畫	30	0.11	0.04			
枕葉 區	2000 3000 (ms)	P1 PZ	2D	平面動畫	30	0.13	0.06	6.77 [*]	0.014	平面>立體
				立體動畫	30	0.11	0.04			

註：1. * $p<0.05$, ** $p<0.01$

2. 平面=平面動畫, 立體=立體動畫

由表 32 的結果顯示, 3D 組學生於 0 至 1000 毫秒時, 在顳葉區之 C1 ($F=7.20, p=0.012$)、CZ ($F=9.45, p=0.005$) 及 C2 ($F=11.28, p=0.002$) 位置與顳葉區之 P1 ($F=6.21, p=0.019$)、PZ ($F=5.65, p=0.024$) 及 P2 ($F=6.77, p=0.014$) 位置皆達到顯著差異, 且事後比較皆為平面動畫頁面大於立體動畫頁面, 顯示 3D 組學生在觀看平面動畫頁面的 θ 波之平均功率值都較觀看立體動畫頁面時來得高。

表33

upper α 波之重複量數分析表：2D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
顳葉 區	2000 3000 (ms)	P1 PZ	2D	平面動畫	30	0.07	0.05	4.95 [*]	0.034	平面>立體
				立體動畫	30	0.06	0.04			
枕葉 區	2000- 3000 (ms)	O2	2D	平面動畫	27	0.04	0.03	5.04 [*]	0.033	平面>立體
				立體動畫	27	0.03	0.02			

註：1. * $p<0.05$

2. 平面=平面動畫, 立體=立體動畫

由表 33 的結果顯示, 2D 組學生於 2000 至 3000 毫秒時, 在顳葉區之 P1 ($F=4.95, p=0.034$) 及 PZ ($F=5.73, p=0.023$) 位置與枕葉區之 O2 位置 ($F=5.04, p=0.033$) 皆達到顯著差異, 且事後比較皆為平面動畫頁面大於立體動畫頁面, 顯示 2D 組學生在觀看平面動畫頁面的 upper α 波之平均功率值都較觀看立體動畫頁面時來得高。

表34

upper α 波之重複量數分析表：3D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區 (ms)	2000	F1	3D	平面動畫	30	0.09	0.07	4.90*	0.035	平面>立體
				立體動畫	30	0.06	0.03			
	3000	FZ	3D	平面動畫	30	0.10	0.08	4.91*	0.035	平面>立體
				立體動畫	30	0.07	0.03			
	0	F2	3D	平面動畫	30	0.10	0.07	5.01*	0.033	平面>立體
				立體動畫	30	0.07	0.03			
頂葉區 (ms)	1000	C1	3D	平面動畫	30	0.07	0.03	7.04*	0.013	平面>立體
				立體動畫	30	0.06	0.02			
	1000	CZ	3D	平面動畫	30	0.07	0.03	7.40*	0.011	平面>立體
				立體動畫	30	0.06	0.02			
	2000	C2	3D	平面動畫	30	0.07	0.03	13.70*	0.001	平面>立體
				立體動畫	30	0.05	0.02			
顳葉區 (ms)	1000-2000	P2	3D	平面動畫	30	0.07	0.04	4.76*	0.037	平面>立體
				立體動畫	30	0.06	0.02			
	2000-3000	P2	3D	平面動畫	30	0.08	0.06	4.67*	0.039	平面>立體
				立體動畫	30	0.07	0.04			
枕葉區 (ms)	1000	O1	3D	平面動畫	29	0.06	0.05	8.31**	0.007	平面>立體
				立體動畫	29	0.03	0.02			
	2000	OZ	3D	平面動畫	30	0.06	0.05	5.52*	0.026	平面>立體
				立體動畫	30	0.04	0.03			
	2000	O2	3D	平面動畫	28	0.06	0.04	11.90**	0.002	平面>立體
				立體動畫	28	0.04	0.02			

註：1. * $p<0.05$, ** $p<0.01$

2. 平面=平面動畫, 立體=立體動畫

由表 34 的結果顯示，3D 組學生在額葉區於 2000 至 3000 毫秒時，在 F1 ($F=4.90, p=0.035$)、FZ ($F=4.91, p=0.035$) 及 F2 ($F=5.01, p=0.033$) 位置皆達到顯著差異；頂葉區於 0 至 1000 毫秒時，在 C1 ($F=7.04, p=0.013$)、CZ ($F=7.40, p=0.011$) 及 C2 ($F=13.70, p=0.001$) 位置皆達到顯著差異；顳葉區在 P2 位置於 1000 至 2000 毫秒 ($F=4.76, p=0.037$) 及 2000 至 3000 毫秒 ($F=4.67, p=0.039$) 時皆達到顯著差異；枕葉區於 1000 至 2000 秒時，在 O1 ($F=8.31, p=0.007$)、

OZ ($F=5.52, p=0.026$) 及 O2 ($F=11.90, p=0.002$) 位置皆達到顯著差異。以上顯著差異之事後比較皆為平面動畫頁面大於立體動畫頁面，顯示 3D 組學生在觀看平面動畫頁面的 upper α 波之平均功率值都較觀看立體動畫頁面時來得高。

表35

upper β 波之重複量數分析表：2D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
枕葉區	2000-3000 (ms)	O1	2D	平面動畫 立體動畫	24 24	0.0202 0.0143	0.0155 0.0086	7.91*	0.010	平面>立體

註：1. * $p<0.05$

2. 平面=平面動畫，立體=立體動畫

由表 35 的結果顯示，2D 組學生於 2000 至 3000 毫秒時，在枕葉區之 O1 位置 ($F=7.91, p=0.010$) 達到顯著差異，且事後比較為平面動畫頁面大於立體動畫頁面，顯示 2D 組學生在觀看平面動畫頁面的 upper β 波之平均功率值都較觀看立體動畫頁面時來得高。

表36

upper β 波之重複量數分析表：3D

區域	時間	項目	分組	頁面種類	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
顳葉區	0	P1	3D	平面動畫	30	0.025	0.01	12.94**	0.001	平面>立體
				立體動畫	30	0.018	0.01			
	1000 (ms)	PZ	3D	平面動畫	30	0.025	0.01	7.44*	0.011	平面>立體
				立體動畫	30	0.020	0.01			
	0-1000 (ms)	P2	3D	平面動畫	30	0.023	0.01	6.57*	0.016	平面>立體
				立體動畫	30	0.019	0.01			
枕葉區	1000-2000 (ms)	O1	3D	平面動畫	30	0.023	0.02	4.57*	0.041	平面>立體
				立體動畫	30	0.015	0.01			
	2000-3000 (ms)	O1	3D	平面動畫	30	0.029	0.03	6.43*	0.017	平面>立體
				立體動畫	30	0.016	0.01			

註：1. * $p<0.05$, ** $p<0.01$

2. 平面=平面動畫，立體=立體動畫

由表 36 的結果顯示,3D 組學生在顳葉區於 0 至 1000 毫秒時,在 P1($F=12.94, p=0.001$)、PZ($F=7.44, p=0.011$) 及 P2($F=6.57, p=0.016$) 位置皆達到顯著差異；枕葉區於在 O1 位置於 0 至 1000 毫秒 ($F=4.57, p=0.041$)、1000 至 2000 毫秒 ($F=9.34, p=0.005$) 及 2000 至 3000 毫秒 ($F=6.43, p=0.017$) 時皆達到顯著差異。以上顯著差異之事後比較皆為平面動畫頁面大於立體動畫頁面,顯示 3D 組學生在觀看平面動畫頁面的 upper β 波之平均功率值都較觀看立體動畫頁面時來得高。

由以上結果可推論,2D 和 3D 兩組學生無論是 upper α 波還是 upper β 波之平均功率值重複量數分析結果,皆為觀看平面動畫頁面時之平均功率值較觀看立體動畫頁面時來得高。而 θ 波之平均功率值重複量數分析結果則為兩組相反,2D 組學生在觀看立體動畫頁面時之 θ 波平均功率值較觀看平面動畫頁面時來得高,3D 組學生在觀看平面動畫頁面時之 θ 波平均功率值較觀看立體動畫頁面時來得高。

3. 小結：

綜合上述分析結果,可發現經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在觀看網路多媒體動畫課程中不同類型之主要概念頁面時,其眼動變化的模式有一致性,無論是 2D 組還是 3D 組的學生,皆為在立體動畫頁面的全域及關鍵區凝視時間均較平面動畫頁面長,在立體動畫頁面關鍵區的平均回視時間也較平面動畫頁面長,顯示兩組學生均花費較長的時間觀看立體動畫頁面。而兩組學生在 upper α 波和 upper β 波之平均功率值重複量數分析結果,皆為觀看平面動畫頁面時較觀看立體動畫頁面時來得高,在 θ 波則是 2D 組學生在觀看立體動畫頁面時較觀看平面動畫頁面時來得高,3D 組學生在觀看平面動畫頁面時較觀看立體動畫頁面時來得高。



第五章 結論與建議

本章主要分為兩節，第一節主要是根據第四章的資料分析結果，以彙集整理成本研究的結論，第二節主要是針對後續相關的研究提出建議，以下將分別進行詳細的說明。

第一節 結論

本章節針對在第四章的研究結果與討論，分別探討多媒體動畫型式與空間能力二因子及多媒體動畫單因子對學生在學習前後科學概念學習成效與心智模式變化之影響，以及學習過程中眼動變化模式與腦波動態歷程之影響，並依據各研究工具的類別依序說明本研究的主要發現，以彙整成結論。

1. 科學概念學習成效分析

經由 2D 或 3D 網路多媒體動畫學習的兩組學生在現代原子模型科學概念成就測驗上，雖 3D 組學生的成績稍高於 2D 組的學生，但並未達到顯著差異，且多媒體動畫型式與空間能力兩者間的交互作用未達顯著，故在本研究中，多媒體動畫型式似乎並非影響學生在科學概念成就測驗成績的影響因素。

因平面空間能力及立體空間能力在科學概念成就測驗上所得到的結果是一致的，故合併討論。空間能力高之學生與空間能力低之學生在現代原子模型科學概念成就測驗上則達到顯著差異。空間能力高的學生在現代原子模型科學成就測驗的表現比空間能力低的學生為佳，表示空間能力高的學生對於現代原子模型科學概念的學習成效較好。此研究結果也與過去的研究相符，表示空間能力高的學生在科學學習上，較空間能力低的學生有更佳的成就表現 (Barke, 1993; Bodner & McMillen, 1986; Pribyl & Bodner, 1987; Yang, et al., 2003)。

2. 科學概念心智模式建構分析

2D 組及 3D 組之學生在經由網路多媒體動畫學習之後，其在現代原子模型心智模式測驗前測與後測成績皆達到顯著差異，顯示無論是 2D 或是 3D 動畫皆

能有效幫助學生建立現代原子模型科學概念的心智模式。而和 2D 組學生相比，3D 組學生在心智模式前測與後測之平均差較 2D 組來得高。2D 組和 3D 組學生在前測時皆有約 70% 的學生未畫出任何心智模式，顯示兩組學生在前測的程度相當。而後測的部分，2D 組有 57% 的學生心智模式提升至平面殼層模型，29% 的學生提升至立體重疊軌域模型；3D 組有 47% 的學生心智模式提升至平面殼層模型，40% 的學生提升至立體重疊軌域模型。由此可知，3D 組學生在學習過後，有較高比例的學生之心智模式達到較高層次的立體重疊軌域模型。此研究結果證實 3D 動畫確實較 2D 動畫能有效幫助學生建構微觀化學知識的心智模式 (Urhahne, et al., 2009)。

3. 眼動變化模式分析

以眼動變化模式之分析結果對照科學概念成就測驗之分析結果，可推論因 3D 的模型較 2D 複雜，故 3D 組的學生需花費較長的凝視時間來觀看課程內容，且需來回掃視關鍵區中的內容，才能得到與 2D 組相同的學習成效。此外，因立體動畫頁面較平面動畫頁面來得複雜，故學生觀看立體動畫頁面的時間也較觀看平面動畫頁面的時間來得長。She 與 Chen (2009) 的研究指出，凝視教材的時間越長，其訊息處理的過程也越長，因此可得到較好的學習成效。以此過往研究結果對照本研究 2D 及 3D 兩組學生在學習過程中所出現的眼動模式變化差異，亦能解釋為何 3D 組花費較多的時間凝視課程頁面，以及學生花費較多時間觀看立體動畫頁面，是為了進行較長時間的訊息處理。然而，過往的研究仍未有人提出為何空間能力高之學生花費較空間能力低的學生較少的凝視時間，卻得到較好的學習成效。研究者推測是因空間能力高的學生因空間能力較好，故在學習時僅需花費較空間能力低的學生少的凝視時間，即學會所欲學習的概念，因而得到較好的學習成效，此部份的研究推論仍需更多的研究證實。

4. 腦波動態歷程分析

以腦波動態歷程之分析結果對照科學概念成就測驗之分析結果，可推論因為 3D 模型較為複雜，故 3D 組的學生在觀看課程內容時需花費較多的心智努力，

導致 θ 波與 upper α 波的平均功率值較 2D 組來得高 (Klimesch, Sauseng, & Hanslmayr, 2006; Palva & Palva, 2007; Ward, 2003)，且因 3D 動畫在學習過程中不斷地運動，導致與運動及視覺空間認知的 upper β 波平均功率值較 2D 組來得高 (Neuper, Scherer, Reiner, & Pfurtscheller, 2005; Pfurtscheller & Neuper, 1994)。

因空間能力高的學生之空間能力較好，其在學習過程中僅需花費較空間能力低的學生少的心智努力，故其在 θ 波的平均功率值較空間能力低的學生來得低 (Ward, 2003)。此外，因其空間能力較好，故在學習過程中可進行較多的心智想像與運動及視覺空間的認知，導致 upper α 波和 upper β 波的平均功率值較空間能力低之學生來得高 (Keehner, et al., 2004; Klimesch, et al., 2006; Palva & Palva, 2007)。立體動畫頁面與平面動畫相比，較能吸引學生的注意力，且學生較容易理解何處為關鍵區。學生在觀看平面動畫頁面時，因較不容易被吸引及需花費較多的心智努力搜索何處為關鍵區，且學生需自行由平面動畫於心智中想像出立體概念的樣貌，因此無論是 θ 波、upper α 波還是 upper β 波皆為觀看平面動畫頁面時之平均功率值較觀看立體動畫頁面時來得高。唯一的例外是在 2D 組之 θ 波平均功率值重複量數分析結果是得到學生在觀看立體動畫頁面時之 θ 波平均功率值較觀看平面動畫頁面時來得高，研究者推測是因為 2D 組學生在學習過程中，觀看平面動畫及立體動畫時皆是使用二維空間的模式思考，故立體動畫與平面動畫相較之下，便顯得複雜許多，使得 2D 組學生在觀看立體動畫時需耗用較多的心智努力，此部分仍需更多的研究證實。

過往研究發現 θ 波主要和事實性記憶和注意力處理相關，當在處理記憶的編碼任務時，心智努力的提升會伴隨著 θ 波的增加 (Ward, 2003)。此外，在由上而下 (top-down) 的認知過程中， α 波會出現和事件相關的同步化現象，當任務所需的心智努力增加時， α 波也會隨之增加 (Klimesch, et al., 2006; Palva & Palva, 2007)。Upper β 被認為與運動及空間訊息的認知處理相關，當進行空間訊息相關的任務時，upper β 便會提升 (Neuper, et al., 2005; Pfurtscheller & Neuper, 1994)。以上過往研究結果皆能解釋本研究中不同空間能力受試者在經由不同型

式之多媒體網路動畫學習歷程中，在 θ 波、upper α 波和 upper β 波出現的差異情形。

由 ERSP 的結果可發現，空間能力高的學生在使用 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper β 波強度較 upper α 波強，而在使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波強度則較 upper β 波強。因此可推論，空間能力高的學生在面對 3D 的教材內容時，會傾向將學習過程中所接收到的訊息以視覺空間的模式處理（Keehner, et al., 2004），而在使用 2D 動畫進行學習時，會傾向將學習過程中所接收到的訊息以語義性記憶的模式處理。而空間能力低的學生無論是使用 2D 動畫或是 3D 動畫進行學習的過程中，所引發之 upper α 波強度均較 upper β 波強，且使用 2D 動畫進行學習時，所引發之 upper α 波及 upper β 波強度均較使用 3D 動畫進行學習時來得強。因此可推論，空間能力低的學生無論在面對 2D 或是 3D 的教材內容時，均傾向將學習過程中所接收到的訊息以語義性記憶的模式處理，且空間能力低的學生使用 2D 動畫學習較能引發其 upper α 波及 upper β 波的活化，因此較適合使用 2D 教材進行學習，此研究結果也與過往研究所提出之能力補償假說相符（Hays, 1996; Hegarty & Sims, 1994）。

第二節 建議

本章節針對教學與教材設計的部分，提出以下建議，期盼能提供教學者與後續研究研究者做為參考。

1. 對教學與教材設計上的建議

（1）對「多媒體動畫型式」教學與教材設計上的建議

本研究針對「現代原子模型」科學概念設計網路多媒體課程，以 2D 動畫及 3D 動畫的方式促進學生對現代原子模型科學概念的理解及心智模式的建構。由研究結果顯示，學生在經由無論是 2D 亦或是 3D 的網路多媒體教材之學習後，其科學概念學習成效及心智模式的層級皆顯著提升，其中 3D 組的學生之心智模

式層級提升程度又較 2D 組明顯。因此建議教師在教學時，可適時利用動畫將如「現代原子模型」這類型微觀的科學概念具觀化，以協助學生學習微觀科學概念及協助其對於科學概念之心智模式的建構。

2. 對未來研究上的建議

本研究運用眼動儀及腦波儀記錄不同空間能力學生利用 2D 及 3D 不同型式網路多媒體動畫學習時的眼動變化模式與腦波動態變化，並透過後續的資料分析發現學生運用不同型式之網路多媒體動畫學習時的眼動變化模式與腦波動態變化上有顯著之差異，顯示眼動儀與腦波儀運用於科學教育概念建構歷程之研究確實可行，也期望未來能有更多相關研究投入，以能更明瞭學生在科學概念建構過程中的眼動變化模式。

由於本研究受限於人力與時間上的限制，在取樣與分析上均有未臻完善之處，提供以下幾點建議，以期後續之研究能加以參酌，使科學教育相關研究亦能結合認知神經科學、認知心理學之研究，並透過了解學生在科學概念學習上之認知訊息處理歷程之模式，以達協助學生進行科學概念建構之最終目的。

(1) 對受試者抽樣上之建議

由於地理因素，本研究之受試者僅抽樣 60 名新竹縣某高中之一年級學生，未來建議可抽樣其他年齡層或是其他地區之學生，以期了解本研究之研究發現在各年齡層及各地區上是否有通則性。

(2) 對教材選用上之建議

由於本研究使用之教材僅選用「現代原子模型」之科學概念，未來建議可針對不同單元內容進行設計，以期了解本研究之研究發現在其他單元之科學學習上是否有通則性。

(3) 對分析方向之建議

由於時間因素，本研究僅著力於動畫頁面之眼動變化模式及腦波動態歷程，眼動變化模式聚焦於凝視、掃視及回視時間的分析，腦波動態歷程聚焦於 θ 波、upper α 波及 upper β 波之平均功率值的分析，未來建議眼動部分可針對學生在

接收到不同型態視覺訊息時，其眼動模式的比較，而腦波部分除了平均功率值的分析之外，亦可加入同調性的分析，以期對大腦進行認知處理時的變化有更深入之了解。



參考文獻

- Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology: human behavior and physiological response*. New Jersey, NY: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85-97.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward. [10.1038/nrn1201]. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *The psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.
- Barke, H.-D. (1993). Chemical education and spatial ability. *Journal of Chemical Education*, 70, 968-971.
- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1999). High-school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271. doi: 10.1023/a:1009436509753
- Bodner, G. M., & McMillen, T. L. B. (1986). Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 727-737.
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter.
- Butler, S., & Glass, A. (1976). EEG correlates of cerebral dominance. *Advances in psychobiology*, 3, 219.
- Carter, C. S., LaRussa, M. A., & Bodner, G. M. (1987). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(7), 645-657.
- Concannon, Buzzetta, J. a., & Maegan. (2010). Students conceptualizing transcription and translation from a cellular perspective. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 47(3), 83-88.

- Copolo, C., & Hounshell, P. (1995). Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4(4), 295-305. doi: 10.1007/bf02211261
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671-684. doi: 10.1016/s0022-5371(72)80001-x
- Donchin, E., Kutas, M., & McCarthy, G. (1977). Electrocortical indices of hemispheric specialization. *Lateralization in the nervous system*, 339-384.
- Dori, Y. J., & Barak, M. (2001). Virtual and physical molecular modeling: fostering model perception and spatial understanding. *Educational Technology & Society*, 4(1), 61-74.
- Ealy, J. B. (1999). A student evaluation of molecular modeling in first year college chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 309-321. doi: 10.1023/a:1009444711570
- Fisher, K. M. (1985). A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 53-62. doi: 10.1002/tea.3660220105
- Gabel, D. L., Samuel, K., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695.
- Gerě, I., & Jaušcvec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational Technology Research and Development*, 47(3), 5-14. doi: 10.1007/bf02299630
- Gerě, I., & Jaušcvec, N. (2001). Differences in EEG power and coherence measures related to the type of presentation: Text versus Multimedia. *Journal of Educational Computing Research*, 25(2), 177-195.
- Glass, A. (1964). Mental arithmetic and blocking of the occipital alpha rhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 16(6), 595-603.
- Gutierrez, S., & Corsi-Cabrera, M. (1988). EEG activity during performance of cognitive tasks demanding verbal and/or spatial processing. *International journal of neuroscience*, 42(1-2), 149-155.
- Hays, T. (1996). Spatial abilities and the effects of computer animation on short-term

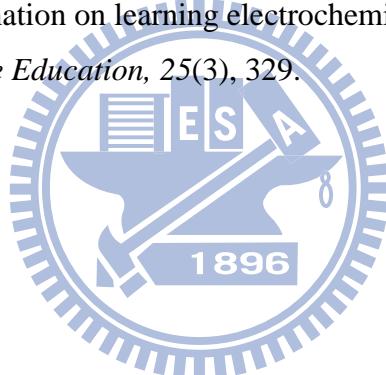
- and long-term comprehension. [10.2190/60Y9-BQG9-80HX-UEML]. *Journal of Educational Computing Research*, 14(2), 139-155.
- Hegarty, M., & Sims, V. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22(4), 411-430. doi: 10.3758/bf03200867
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models?: The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 392-404.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*: Cambridge Univ. Press Cambridge, UK.
- Juhasz, B. J., & Rayner, K. (2003). Investigating the effects of a set of intercorrelated variables on eye fixation durations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(6), 1312-1318. doi: 10.1037/0278-7393.29.6.1312
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329-354.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1984). Using eye fixations to study reading comprehension. *New methods in reading comprehension research*, 151-182.
- Keehner, M., Montello, D. R., Hegarty, M., & Cohen, C. (2004). *Effects of 1896 Interactivity and spatial ability on the comprehension of spatial relations in a 3D computer visualization*. Paper presented at the Proceedings of the 26th Annual Conference of the Cognitive Science Society.
- Kim, Y. Y., Kim, H. J., Kim, E. N., Ko, H. D., & Kim, H. T. (2005). Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology*, 42(5), 616-625.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, T., & Ripper, B. (1997). Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neuroscience Letters*, 238(1-2), 9-12. doi: Doi: 10.1016/s0304-3940(97)00771-4
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., & Ripper, B. (1997). Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task. *Psychophysiology*, 34(2), 169-176. doi: 10.1111/j.1469-8986.1997.tb02128.x
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2006). EEG alpha oscillations: the

- inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63-88.
- Kuhman, W., Lachnit, W., & Vaitl, D. (1985). The quantification of experimental load: Methodological and empirical issues. *Clinical and methodological issues in cardiovascular psychophysiology*, 45-52.
- Lawson, A. E., Alkhouri, S., Benford, R., Clark, B. R., & Falconer, K. A. (2000). What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 996-1018.
- Lohman, D. F. (1979). Spatial Ability: A Review and Reanalysis of the Correlational Literature: STANFORD UNIV CALIF SCHOOL OF EDUCATION.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words?: Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 389-401.
- Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3), 1157.
- Neuper, C., Scherer, R., Reiner, M., & Pfurtscheller, G. (2005). Imagery of motor actions: Differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 668-677. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.014
- Nunez, P. (1995). Quantitative states of neocortex. *Neocortical dynamics and human EEG rhythms*, 3-67.
- Paivio, A. (1975). Perceptual comparisons through the mind's eye. *Memory & Cognition*, 3(6), 635-647.
- Paivio, A., & Csapo, K. (1969). Concrete image and verbal memory codes. *Journal of Experimental psychology*, 80(2p1), 279.
- Palva, S., & Palva, J. M. (2007). New vistas for α -frequency band oscillations. *Trends in Neurosciences*, 30(4), 150-158.

- Pavlinic, S., Buckley, P., Davies, J., & Wright, T. (2002). Computing in Stereochemistry - 2D or 3D representations? *Research in Science Education - Past, Present, and Future* 6, 295-300.
- Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (1994). Event-related synchronization of mu rhythm in the EEG over the cortical hand area in man. *Neuroscience Letters*, 174(1), 93-96. doi: 10.1016/0304-3940(94)90127-9
- Pribyl, J. R., & Bodner, G. M. (1987). Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 229-240.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372.
- Rayner, K. (2001). Eye Movements in Reading. In J. S. Neil & B. B. Paul (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 5210-5214). Oxford: Pergamon.
- Rayner, K., Rotello, C. M., Stewart, A. J., Keir, J., & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information: Eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(3), 219-226.
- Sankey, M. D. (2003). *Multiple representations in instructional material: An issue of literacy*. Paper presented at the Educause in Australia 2003 Conference, Adelaide, Australia. <http://eprints.usq.edu.au/1016/>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pecherstorfer, T., Freunberger, R., & Hanslmayr, S. (2005). EEG Alpha synchronization and functional coupling during top-down processing in a working memory task. *Human Brain Mapping*, 26(2), 148-155.
- She, H.-C., & Chen, Y.-Z. (2009). The impact of multimedia effect on science learning: Evidence from eye movements. *Computers & Education*, 53(4), 1297-1307. doi: DOI: 10.1016/j.compedu.2009.06.012
- Small, M. Y., & Morton, M. E. (1983). Research in college science teaching: Spatial visualization training improves performance in Organic Chemistry. *Journal of College Science Teaching*, 13(1), 41-43.
- Staver, J. R., & Jacks, T. (1988). The influence of cognitive reasoning level,

- cognitive restructuring ability, disembedding ability, working memory capacity, and prior knowledge on students' performance on balancing equations by inspection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 763-775.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. doi: Doi: 10.1016/0364-0213(88)90023-7
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312. doi: Doi: 10.1016/0959-4752(94)90003-5
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students. *Research in Science Education*, 27(2), 271-287. doi: 10.1007/bf02461321
- Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. *Journal of Chemical Education*, 68(6), 460-464.
- Urhahne, D., Nick, S., & Schanze, S. (2009). The effect of three-dimensional simulations on the understanding of chemical structures and their properties. [Article]. *Research in Science Education*, 39(4), 495-513. doi: 10.1007/s11165-008-9091-z
- van Gog, T., & Scheiter, K. (2010). Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. *Learning and instruction*, 20(2), 95-99. doi: DOI: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.009
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in Genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- von Stein, A., Rappelsberger, P., Sarnthein, J., & Petsche, H. (1999). Synchronization between temporal and parietal cortex during multimodal object processing in man. *Cerebral Cortex*, 9(2), 137.
- Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 553-559.
- Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word

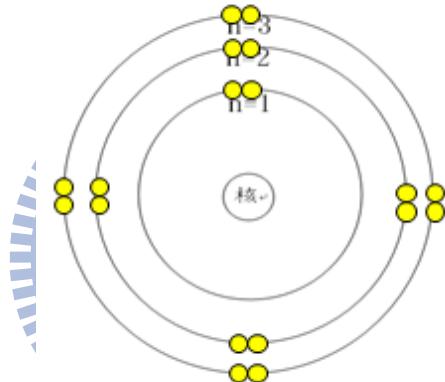
- encoding correlates with successful memory performance. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 299-312. doi: Doi: 10.1016/s0926-6410(00)00011-2
- Williams, R., & Morris, R. (2004). Eye movements, word familiarity, and vocabulary acquisition. *Journal of Cognitive Psychology*, 16(1), 312 - 339.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534. doi: 10.1002/tea.3660320508
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting conceptual understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.
- Yang, E.-m., Andre, T., & Greenbowe, T. J. (2003). Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. [Article]. *International Journal of Science Education*, 25(3), 329.

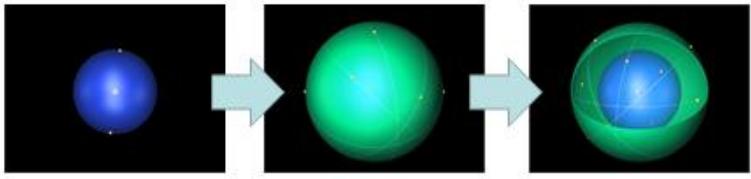
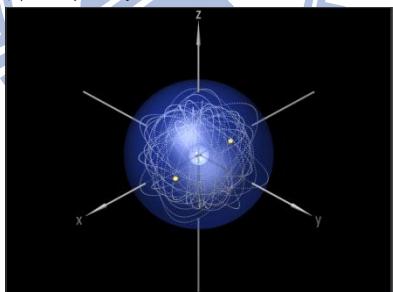


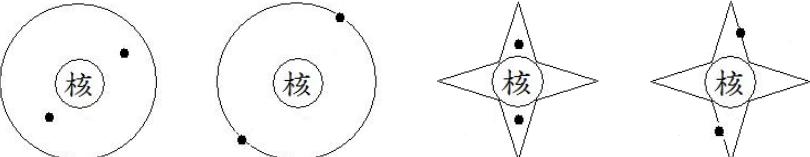
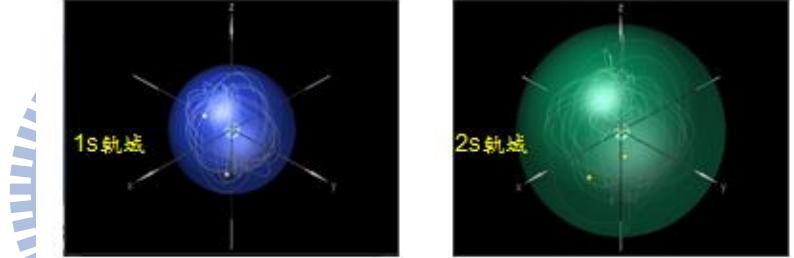


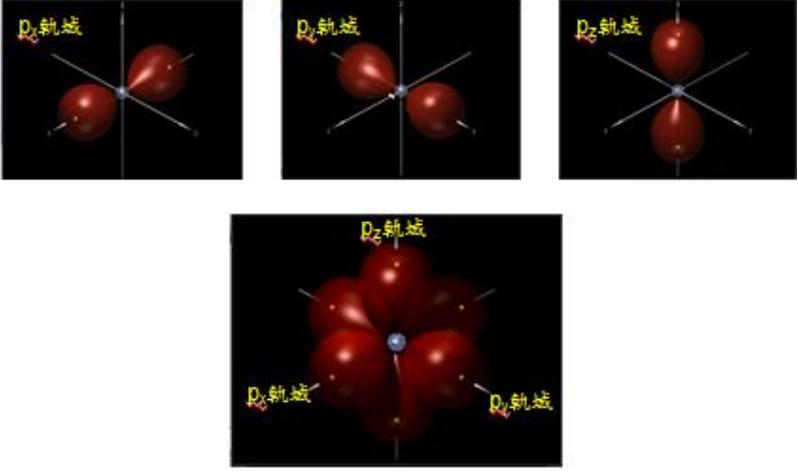
附錄一 多媒體網路課程內容架構

■ 現代原子模型

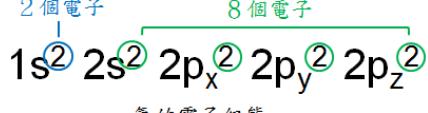
教學活動	頁面屬性 (形式)	內容
喚起舊經驗	課程頁 (文字)	<p>我們在國中的時候有提到的行星式原子模型，是電子以一定的軌道繞著原子核運行。透過鈍氣的觀察，科學家發現在原子的第一層有2個電子，第二層有8個電子，第三層也有8個電子。</p>
	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> 根據科學家的發現，原子前三層的電子個數由第一層到第三層依序為何？ <ul style="list-style-type: none"> (1) 2、6、10 (2) 2、6、8 (3) 10、6、2 (4) 8、8、2
	課程頁 (平面動畫)	<p>動畫：介紹行星式模型平面圖</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 早期的科學家相信，電子會在原子內以一定的軌道繞著原子核運行。 這是早期的科學家所認為的行星式原子模型的平面圖。 (此時畫面只有一個原子核) 第一層有2個電子。 (此時動畫出現第一層的軌道線和2顆電子) 第二層有8個電子。 (此時動畫出現第二層的軌道線和8顆電子) 第三層有8個電子。 (此時動畫出現第三層的軌道線和8顆電子)

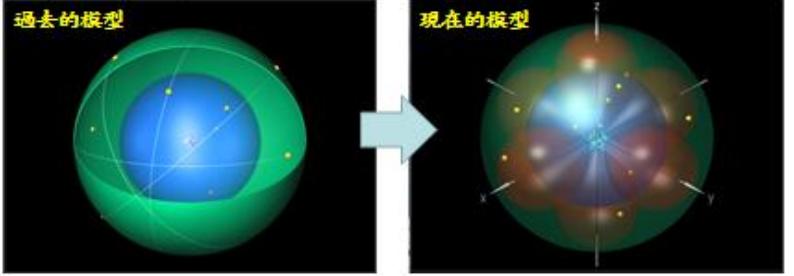
喚起舊 經驗 (續)	課程頁 (立體動 畫)	<p>動畫：介紹行星式模型範例</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 以鈍氣「氖」為例子，這是早期的科學家所認為氖原子的行星式原子模型。 第一層有 2 個電子，以固定半徑、不同方向繞著原子核運行，這 2 個電子走過的軌道集結成一個球殼。 第二層有 8 個電子，也以固定半徑、不同方向繞著原子核運行，同樣地，這 8 顆電子走過的軌道集結成一個球殼。(出現第二層綠色球殼時) 氖原子共有 10 個電子，分為兩層，都以固定軌道繞著原子核運行。(第二層綠色球殼剖開一個缺口時)
	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> 早期的科學家所認為電子在原子核外的運動方式，下列何者為真？ <ol style="list-style-type: none"> 靜止不動 受原子核吸引逐漸往內靠近 在固定的軌道上運動 機率式的出現在軌域內
發展活 動	課程頁 (立體動 畫)	<p>動畫：介紹軌域</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 但現今的科學家，卻發現到電子不是以一定的軌道繞著原子核運行，那究竟電子是如何運行的呢？讓我們來看一段動畫。 這是原子核（出現「原子核」字樣），這是核外的 2 顆電子（出現「電子」字樣）。 電子不會以固定的半徑及方向繞著原子核運行，而是機率式的變換半徑的大小及方向繞著原子核運行（電子開始跑動時）。電子會以這種機率的運動方式出現在原子核外某些特定區域，這個區域科學家們將它稱為「軌域」（出現「軌域」字樣），有 90% 的機率可以在這些地方找到電子。

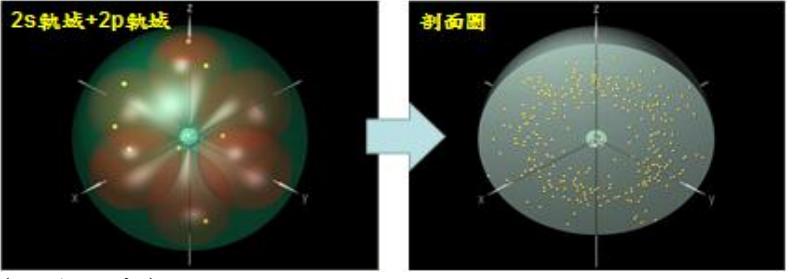
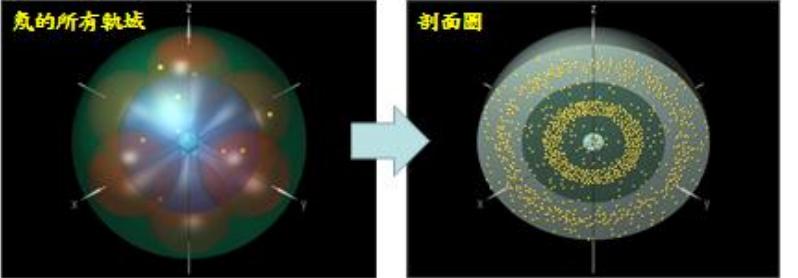
發展活動 (續)	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> • 現今的科學家認為電子在原子核外的運動方式，下列何者為真？ <p>(1) 靜止不動 (2) 受原子核吸引逐漸往內靠近 (3) 在固定的軌道上運行 (4) 機率式的出現在軌域內</p>
	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> • 現今的科學家認為電子在原子核外的運動方式，下列何者為真？ <p>(1) (2) (3) (4)</p> 
	課程頁 (立體動 畫)	<p>動畫：介紹 s 軌域</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 科學家們也發現，電子在原子核外機率式運動出現的範圍不同，軌域的形狀也會跟著不同，包含 s 軌域和 p 軌域。那究竟 s 軌域和 p 軌域長得是什麼樣子呢？讓我們先來看看 s 軌域吧！ • 這是第一層的 s 軌域，稱為 1s 軌域。1s 軌域的形狀為球形，2 個電子會以機率的方式出現在 1s 軌域內。(播放 1s 的動畫) • 這是第二層的 s 軌域，稱為 2s 軌域。同樣地，2s 軌域的形狀為球形，2 個電子會以機率的方式出現在 2s 軌域內。(播放 2s 的動畫) • 2s 軌域中的 2 個電子有可能會出現在 1s 軌域中，但 1s 軌域的電子不會出現在 2s 軌域中。

發展活動 (續)	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> 下列有關 s 軌域的敘述，何者錯誤？ <ol style="list-style-type: none"> 1s 軌域的形狀為球形 2s 軌域的形狀為球形 單一個 s 軌域，最多可填入 2 個電子 1s 軌域的電子也會出現在 2s 軌域
課程頁 (立體動 畫)	<p>動畫：介紹 p 軌域</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 看完了 s 軌域之後，現在讓我們來看看 p 軌域是長什麼樣子的？ 科學家發現，原子從第二層開始有 p 軌域。p 軌域的形狀為啞鈴形，依其在空間中位向的不同又分為三種，分別為 p_x 軌域、p_y 軌域和 p_z 軌域。 這是 p_x 軌域，形狀為啞鈴形，2 個電子會以機率的方式出現在 p_x 軌域內。(播放 p_x 的動畫) 這是 p_y 軌域，形狀為啞鈴形，2 個電子會以機率的方式出現在 p_y 軌域內。(播放 p_y 的動畫) 這是 p_z 軌域，形狀為啞鈴形，2 個電子會以機率的方式出現在 p_z 軌域內。(播放 p_z 的動畫) 這是 p_x 軌域、p_y 軌域和 p_z 軌域同時存在的情形，我們可以清楚看到這三個 p 軌域在空間中的位向不同，且一個 p 軌域內會有 2 個電子以機率的方式在軌域內運動。(播放三個 p 軌域同時存在的動畫) 	
問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> 下列有關 p 軌域的敘述，何者錯誤？ <ol style="list-style-type: none"> 原子的每一層都有 p 軌域 p 軌域的形狀為啞鈴形 單一個 p 軌域最多可填入 2 個電子 p 軌域依其位向不同又可以分為 p_x 軌域、p_y 軌域和 p_z 軌域 	

發展活動 (續)	課程頁 (平面動 畫)	<p>動畫：介紹現代原子模型</p> <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 科學家發現，一個軌域最多可以填入 2 個電子（出現原子核和主層分界線）。另外，科學家也發現原子每一層都有 s 軌域。 第一層的 s 軌域稱為 1s（在第一層出現「1s」字樣和 2 顆電子） 第二層的稱為 2s（在第二層出現「2s」字樣和 2 顆電子） 第三層的稱為 3s（在第三層出現「3s」字樣和 2 顆電子），依此類推。 從第二層開始，除了 s 軌域外，還有 p 軌域，稱為 $2p_x$ 軌域、$2p_y$ 軌域和 $2p_z$ 軌域（在第二層出現「$2p_x$」、「$2p_y$」和「$2p_z$」字樣和各 2 顆電子，共 6 顆），第三層也是（動畫仿照 2p 的形式） 如圖所示：第一層有 2 個電子，第二層有 8 個電子，第三層也有 8 個電子，與之前所學的原子前三層的電子數 2,8,8 是一致的。（出現「2,8,8」字樣）
	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> 有關現代原子模型中軌域的敘述，下列何者為真？ <ol style="list-style-type: none"> 原子第一層有 2 個 1s 軌域，可以填入 2 個電子 原子第二層有 1 個 2s 軌域，3 個 p 軌域，可以填入 8 個電子 原子第三層有 3 個 3s 軌域，5 個 p 軌域，可以填入 8 個電子 原子第一層都有 1 個 s 軌域，可以填入 2 個電子；第二層以上都有 4 個 p 軌域，可以填入 8 個電子

發展活動 (續)	課程頁 (平面動 畫)	<p>動畫：介紹氮的電子組態</p> <p>氮的電子組態</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子中電子佔有軌域的排列方式，稱為「電子組態」。 以氮(${}_{10}^{20}\text{Ne}$)為例： <p>軌域名稱 — </p> <p>氮的電子組態</p> <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子中電子佔有軌域的排列方式，稱為「電子組態」。 以氮原子為例，氮有 2 個電子（出現紅色圈圈，將原子序圈起來），因每一個軌域可以填入 2 個電子，所以這 2 個電子填入 1s 軌域中（出現 $1s^2$）。 $1s$ 代表電子填入的軌域名稱（出現綠色框和「軌域名稱」字樣），2 要上標，代表填入 $1s$ 軌域的電子數（出現紅色圈圈和「填入的電子數」字樣）。 氮的電子組態可以表示為：$1s^2$（其他說明文字消失，出現「氮的電子組態」字樣）
問題頁 (文字)		<p>• 何謂「電子組態」？</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 原子中電子佔有軌域的排列方式 (2) 原子中電子佔有軌道的排列方式 (3) 很多電子互相連結在一起的狀態 (4) 很多電子互相排斥的狀態
課程頁 (平面動 畫)		<p>動畫：介紹氮的電子組態</p> <p>氮的電子組態</p> <ul style="list-style-type: none"> 以氮(${}_{10}^{20}\text{Ne}$)為例： <p></p> <p>氮的電子組態</p> <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> 以氮原子為例，氮有 10 個電子（出現紅色圈圈，將原子序圈起來），因每一個軌域可以填入 2 個電子，所以 2 個電子填入 $1s$ 軌域中（出現 $1s^2$），2 個電子填入 $2s$ 軌域中（出現 $2s^2$），2 個電子填入 $2p_x$ 軌域中（出現 $2p_x^2$），2 個電子填入 $2p_y$ 軌域中（出現 $2p_y^2$），2 個電子填入 $2p_z$ 軌域中（出現 $2p_z^2$）。 因此可知，第一層有 2 個電子（出現藍色圈圈和說明文字），第二層有 $2+2+2+2=8$ 個電子（依序出現綠色圈圈和說明文字），總共 10 個電子。 氮的電子組態可以表示為：$1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$。（其他說明文字消失，出現「氮的電子組態」字樣）

發展活動 (續)	問題頁 (文字)	<ul style="list-style-type: none"> • 氪的「電子組態」寫法，下列何者正確？ <p>(1) $1s^1 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ (2) $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$ (3) $1s^1 2s^2 2p_x^3 2p_y^4 2p_z^5$ (4) $1s^2 2s^2 3s^2 4s^2 5s^2$</p>
課程頁 (文字)		<p>所謂的電子軌域，只不過是空間裡可能有電子存在的區域，因此軌域在原子內可能會互相重疊。而究竟 $1s$, $2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ 重疊後的軌域圖應當是什麼樣子的呢？</p>
課程頁 (立體動畫)		<p>動畫：過去與現在模型的比較</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 我們以氮原子為例，比較一下過去和現在的模型：這是過去的行星式原子模型，過去的科學家認為，電子會以固定的軌道繞著原子核運行。電子在每一層運行的所有軌跡會集結成一層一層的球殼。(播放行星式模型的動畫) • 這是現在的原子模型，和過去的行星式原子模型不同，現在的科學家則認為，電子會以機率式出現在不同的軌域。不同層的軌域會有一部分互相重疊。(播放現代軌域模型的動畫)
問題頁 (文字)		<ul style="list-style-type: none"> • 現代的科學家所認為的原子模型從過去到現在發生了什麼改變？ <p>(1) 電子運行軌跡從軌道式轉成軌域式 (2) 電子運行軌跡從軌域式轉成軌道式 (3) 前三層的電子數量變多 (4) 前三層的電子數量變少</p>
問題頁 (文字)		<ul style="list-style-type: none"> • 現代原子模型顯示，原子中的軌域分佈情形為何？ <p>(1) 軌域會完全重疊 (2) 軌域不會互相重疊 (3) 軌域會有部分互相重疊 (4) 軌域有時會重疊，有時又會分開</p>

發展活動 (續)	課程頁 (立體動 畫)	<p>動畫：介紹軌域與殼層</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 原子一層一層的分成不同的殼層，位於同一層的軌域，電子所出現的範圍相近。 • 以第二層為例：這是 $2s$、$2p_x$、$2p_y$、$2p_z$ 重疊在一起的軌域模型，共有 8 顆電子在軌域內以機率的方式運行。 • 若我們只取其中一個剖面來看，會發現這 8 顆電子出現機率較大的範圍大致上集合成一個環狀，這個環狀的範圍，即為第二主層。
問題頁 (文字)		<p>• 下列有關原子分層與軌域的敘述，何者正確？</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 $2s$、$2p$ 軌域的電子出現機率較大的區域會集合成一個球殼 2 $2s$、$2p$ 軌域的電子出現機率較大的區域不會集合成任一形狀 3 位於同層的軌域，其電子出現的範圍相近 4 位於同層的軌域，其電子會互相排斥，出現的範圍分散
課程頁 (立體動 畫)		<p>動畫：介紹氖原子的軌域與殼層</p>  <p>旁白：(配合動畫)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 以氖原子為例：這是 $1s$、$2s$、$2p_x$、$2p_y$、$2p_z$ 重疊在一起的軌域模型，共有 10 顆電子在軌域內以機率的方式運行。 • 若我們只取其中一個剖面來看，會發現這 10 顆電子出現機率較大的範圍分為兩個環狀區域，較內層的環狀範圍，為第一主層，包含 $1s$ 軌域；較外層的環狀範圍，為第二主層，包含 $2s$ 和 $2p$ 軌域。

發展活動 (續)	問題頁 (文字)	<p>• 下列有關氫原子剖面圖中，電子出現機率敘述，何者正確？</p>  <p>剖面圖 (未畫電子)</p> <p>(1) 1s、2s、2p 軌域的電子出現機率較大的區域會集合成同一個環狀 (2) 1s 和 2s 軌域的電子出現較大區域會集合成同一個環狀，2p 為另一個環狀 (3) 2s、2p 軌域的電子出現較大區域會集合成一個環狀，1s 為另一個環狀 (4) 1s、2s 和 2p 軌域的電子會互相排斥，出現的範圍分散，不會集合成任一形狀</p>
總結活動	課程頁 (文字)	<p>科學家發現原子前三層的電子數為 2、8、8。現代的科學家推翻了早期的理論，認為電子是以機率運動的方式在軌域內運行。原子前三層的軌域依形狀不同可分為 s 軌域和 p 軌域，單一個軌域最多只能填入 2 個電子。不同主層包含不同的軌域，原子第一層有 1s 軌域，第二層有 2s 軌域和 2p 軌域，位於同一主層的軌域，其電子出現範圍相近。</p>





附錄二 科學概念成就測驗

班級：_____

學號：_____

姓名：_____

§ 現代原子模型成就測驗 §

1.1 原子結構包含原子核和在核外運動的電子，下列有關電子的運動方式之敘述，何者正確？

- (1) 沒有方向性的隨意跑動。
- (2) 繞著原子核並在固定的軌道運行。
- (3) 繞著原子核出現在原子核外特定區域中。
- (4) 電子會先在距離原子核外較遠處繞行，之後越來越靠近原子核，最後被原子核吸住。

1.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為正負電荷相吸，但電子的質量太輕，以致於不會受到原子核的吸引，所以可以在原子內自由運動。
- (2) 因為正負電荷相吸，彼此間受到固定吸引力，所以電子會以特定的軌道繞著原子核運行。
- (3) 雖正負電荷相吸，但電子會出現在原子核外特定的區域範圍內運行。
- (4) 因為正負電荷相吸，但是電子質量太輕，所以原子核會將電子逐漸往內吸引進來。

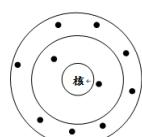
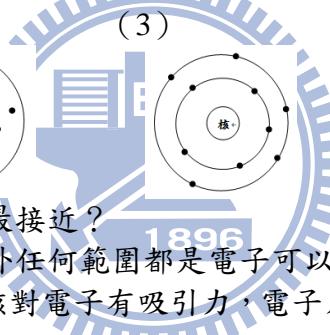
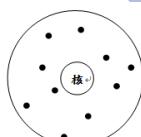
2.1 原子中的電子會分佈在原子核外，下列有關分佈情形之敘述，何者正確？

(1)

(2)

(3)

(4)



2.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為原子無分層，原子核外任何範圍都是電子可以存在的地方，沒有特殊限制。
- (2) 因為原子無分層，且原子核對電子有吸引力，電子只會在距離原子核外固定範圍內，而不會離開太遠。
- (3) 因為原子有分層，且電子依其運動特性只出現在每層的分界線上。
- (4) 因為原子有分層，且電子依其運動特性會出現在層與層之間的範圍。

3.1 我們常用「軌域」來代表電子在原子核外運動的區域，下列有關原子核外「電子軌域」的敘述，何者正確？

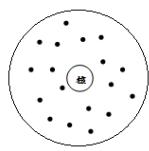
- (1) 電子以原子核為中心，其運動最常出現在原子核周圍的區域。
- (2) 電子沒有特定出現的範圍，原子核外的所有空間都是軌域。
- (3) 電子繞原子核運行的軌道，如同行星繞太陽轉動一般。
- (4) 電子以原子核為中心，其運動最常出現在的球面區域。

3.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

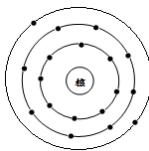
- (1) 電子是以機率式的出現在原子核周圍特定區域中。
- (2) 電子在原子核外空間任一點，其出現的機率均相同。
- (3) 電子是以固定半徑和方向繞行原子核。
- (4) 電子是以固定半徑、不同方向繞行原子核。

4.1 氩 (Ar) 原子中的電子會分佈在原子核外，下列有關分佈情形之敘述，何者正確？

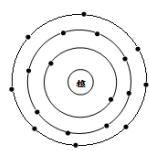
(1)



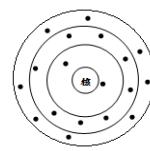
(2)



(3)



(4)



4.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為原子內的任何範圍都是電子可以存在的地方，所以電子可以隨意的分佈在原子內，而沒有個數的限制。
- (2) 因為每一層的帶電量要平均，所以每一層的電子個數都要一樣。
- (3) 因為越遠離原子核，原子核對電子的吸引力越小，所以越外層電子個數越少。
- (4) 因為越外層的軌域數量越多，所以電子數目也會越多。

5.1 原子內電子出現的區域，可分為 s 軌域和 p 軌域，下列有關 s 軌域和 p 軌域的敘述，何者正確？

- (1) 不同的原子，每一層都有 1 個 s 軌域，1 個 p 軌域。
- (2) 不同的原子，其第一層都只有 1 個 s 軌域，第二層有 1 個 s 軌域和 3 個 p 軌域。
- (3) 不同的原子，其第一層都有 1 個 s 軌域，第二層有 1 個 s 軌域，第三層有 3 個 p 軌域。
- (4) 不同的原子，其第一層都只有 1 個 s 軌域，第二層都只有 4 個 p 軌域。

5.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 電子會均勻分佈於軌域內，故每層的軌域數要一樣多。
- (2) 軌域的種類和數量有其固定的規律性。
- (3) 電子會集中出現於靠近原子核的地方，故越內層的軌域數要越多。
- (4) 電子在不同層會出現在不同的軌域，第一層只會出現在 s 軌域，第二層只會出現在 p 軌域。

6.1 原子核外有許多的軌域，下列有關 s 軌域和 p 軌域形狀的敘述，何者正確？

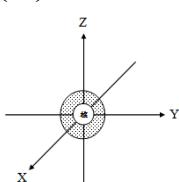
- (1) s 軌域和 p 軌域的形狀都一樣。
- (2) 不同原子擁有的 s 軌域/p 軌域形狀都會不同。
- (3) s 軌域和 p 軌域的形狀是固定的，不因原子不同而改變。
- (4) 每一個原子，只擁有一種特定的軌域形狀。

6.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

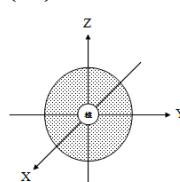
- (1) 因為電子是以兩兩成對的方式出現在任何一種的軌域中。
- (2) 因為軌域的形狀是取決於原子是否相同，而不是取決於其為何種軌域。
- (3) 因為軌域的形狀是取決於其為何種軌域，而不是取決於原子是否相同。
- (4) 因為只有在原子內的軌域形狀相同，這樣電子填入的時候才會有規律。

7.1 假設 2s 軌域的圖形如右圖，則 3s 軌域應為下列何者？

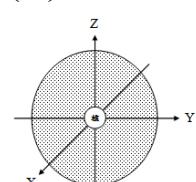
(1)



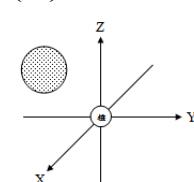
(2)



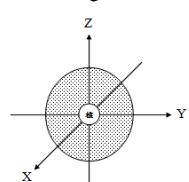
(3)



(4)



題目



7.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 2s 軌域的範圍會包含 3s 軌域。
- (2) 原子每一層的軌域大小是固定不變的。
- (3) 3s 軌域的範圍會包含 2s 軌域。
- (4) 3s 軌域和 2s 軌域的是獨立存在的。

8.1 原子核外有許多的軌域，如 s 軌域和 p 軌域，下列有關 p 軌域特性的敘述，何者正確？

- (1) s 軌域有三種，分為 s_x 、 s_y 和 s_z 。
- (2) p 軌域有三種，分為 p_x 、 p_y 和 p_z 。
- (3) s 軌域的形狀為啞鈴形。
- (4) p 軌域的形狀為球形。

8.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為 s 軌域具有方向性，分別在 x 軸、y 軸、z 軸上，且三者互相垂直。
- (2) 因為 p 軌域具方向性，分別在 x 軸、y 軸、z 軸上，且三者互相垂直。
- (3) 因為 s 軌域具有方向性，電子出現在原子核的機率等於零。
- (4) 因為 p 軌域不具有方向性，在距離原子核特定距離處，電子出現的機率都相同。

9.1 原子中電子佔有軌域的排列方式，稱為該原子的「電子組態」，下列何種電子組態不存在？

- (1) $1s^2$
- (2) $1s^22s^1$
- (3) $1s^22s^2$
- (4) $1s^22s^3$

9.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) s 軌域在第二層才有。
- (2) 第一層只有 s 軌域，而第二層是 p 軌域。
- (3) 每個軌域最多只能填入一個電子。
- (4) 每一個軌域最多只能填入兩個電子。

10.1 下列組合中，哪一種組合內的兩個原子其電子會佔有相同的軌域？

- (1) ${}_2\text{He}$ 、 ${}_{10}\text{Ne}$
- (2) ${}_{11}\text{Na}$ 、 ${}_{13}\text{Al}$
- (3) ${}_{7}\text{N}$ 、 ${}_{8}\text{O}$
- (4) ${}_{4}\text{Be}$ 、 ${}_{6}\text{C}$

10.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 只要是同一族元素，其原子內的電子佔有的軌域會相同。
- (2) 同一週期元素，其原子內的電子佔有軌域會相同。
- (3) 兩元素原子序越接近，其所含電子數越相近，其電子所佔軌域會相同。
- (4) 只要同為金屬非金屬，其原子內佔有的軌域會相同。

11.1 原子中電子佔有軌域的排列方式，稱為該原子的「電子組態」，下列何者為鍍原子 (Be) 在穩定狀態下的電子組態？(註：鍍原子有 4 個電子)

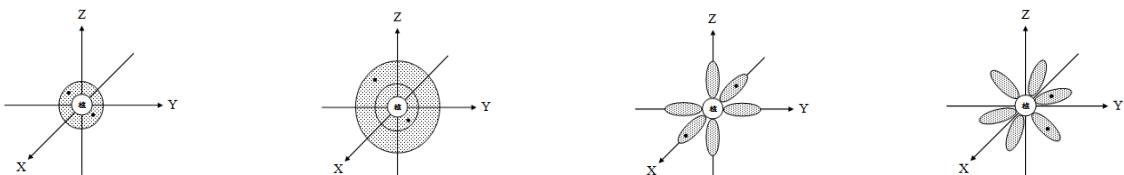
- (1) $1s^11p_x^11p_y^11p_z^1$
- (2) $1s^22p_x^12p_y^1$
- (3) $1s^12s^12p_x^12p_y^1$
- (4) $1s^22s^2$

11.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 每一層的每一個軌域只能填入 1 個電子。
- (2) 電子會照固定順序填入軌域，s 軌域可比 p 軌域填入較多的電子。
- (3) 電子會照固定順序填入軌域，一個軌域可填一個電子。
- (4) 電子會照固定順序，且以兩兩成對的方式填入軌域。

12.1 (He) 原子有 2 個電子，在穩定的狀態下，氦原子中軌域及電子的分佈，何者正確？

- (1)
- (2)
- (3)
- (4)



12.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 電子會從最內層開始填入軌域，一個軌域可以填 2 個電子。
- (2) 電子會從最內層開始填入軌域，一個軌域可以填 1 個電子。
- (3) 電子會以對稱的方式填入軌域，一個軌域可以填入 2 個電子。
- (4) 電子會以對稱的方式填入軌域，一個軌域可以填入 1 個電子。

13.1 氖原子有 10 個電子。在穩定的狀態下，下列有關氖原子之敘述，何者正確？

- (1) 氖原子的電子都均勻的分佈在原子內。
- (2) 氖原子第一層有 5 個電子，第二層有 5 個電子。
- (3) 氖原子第一層有 8 個電子，第二層有 2 個電子。
- (4) 氖原子第一層有 2 個電子，第二層有 8 個電子。

13.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為原子核外沒有分層，所有的電子會在原子內自由運行。
- (2) 因為原子核外的每一層可填入的電子數會一樣多。
- (3) 因越靠近原子核，電子受原子核吸引力越大，軌域的數量越多。
- (4) 因越遠離原子核，電子運動空間越大，軌域的數量越多。

14.1 原子中電子佔有軌域的排列方式，稱為該原子的「電子組態」，下列何者為氖原子在穩定狀態下的電子組態？（註：氖原子有 10 個電子）

- (1) $1s^5 2p^5$
- (2) $1s^2 1p_x^2 1p_y^2 1p_z^2 2s^2$
- (3) $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$
- (4) $1s_x^2 1s_y^2 1s_z^2 1p^2 2p^2$

14.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 原子每一層可以填入的電子數目相同。
- (2) 電子會照固定順序填入軌域，氖原子的 10 個電子分別填入 $1s$ 、 $1p_x$ 、 $1p_y$ 、 $1p_z$ 、 $2s$ 這 5 個軌域。
- (3) 電子會照固定順序填入軌域，氖原子的 10 個電子分別填入 $1s$ 、 $2s$ 、 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$ 這 5 個軌域。
- (4) 電子會照固定順序填入軌域，氖原子的 10 個電子分別填入 $1s_x$ 、 $1s_y$ 、 $1s_z$ 、 $1p$ 、 $2p$ 這 5 個軌域。

15.1 下列哪一種軌域不能存在？

- (1) $1s$
- (2) $1p$
- (3) $2s$
- (4) $2p$

15.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 第一層沒有 s 軌域。
- (2) 第一層沒有 p 軌域。
- (3) 第二層沒有 s 軌域。
- (4) 第二層沒有 p 軌域。

16.1 原子內部有許多層軌域，有關每一層軌域的敘述，何者正確？

- (1) 原子每一層都有 s 軌域和 p 軌域。
- (2) 軌域的數量和原子內電子的個數相同。
- (3) 原子每一層都有 s 軌域，但不一定有 p 軌域。
- (4) 每一層中不同軌域，可容納的電子數不同。

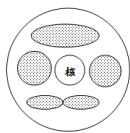
16.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

- (1) 因為原子內電子是均勻分布的，所以每一層都會有 s 軌域和 p 軌域。
- (2) 因為原子的軌域數會和電子數的多寡有關，每多一個電子，軌域數就會多 1 個。
- (3) 因為原子內每一層的軌域數量有其固定的規律性。

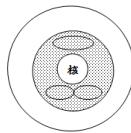
(4) 因為不同軌域的大小不相同，所以可容納的電子數也不相同。

17.1 氖 (Ne) 原子內部有許多不同的軌域，下列何者最接近氖原子內部軌域的情形？（註：灰色圖樣代表軌域）

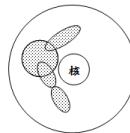
(1)



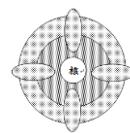
(2)



(3)



(4)



17.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

(1) 因為不同軌域會互相排斥，所以各個軌域不會互相重疊。

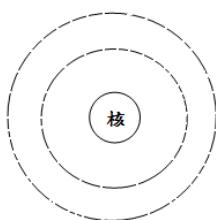
(2) 電子會被兩個軌域共用，所以軌域要完全重疊。

(3) 電子會被兩個軌域共用，所以兩個軌域要部分重疊。

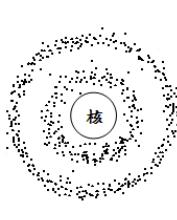
(4) 軌域是空間裡可能有電子存在的區域，因此原子的軌域會互相重疊。

18.1 假設原子內部電子運動後會留下軌跡，則下列何者最接近氖 (Ne) 原子內電子運動軌跡殘留的情形？

(1)



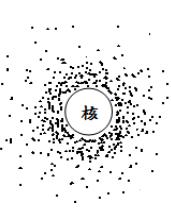
(2)



(3)



(4)



18.2 承上題，你的理由和下列何者最接近？

(1) 位於同一層的電子，會沿著固定軌道運動。

(2) 位於同一層的電子，會在相近的範圍運動。

(3) 電子會平均出現在距離原子核外固定距離範圍內。

(4) 越靠近原子核，電子出現機率越高。



附錄三 科學概念心智模式測驗

班級：_____

學號：_____

姓名：_____

§ 現代原子模型心智模式測驗 §

1. 請在以下的空格中畫出 ${}_2^4\text{He}$ 原子的模型並加上文字說明。

2. 請在以下的空格中畫出 ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ 原子的模型並加上文字說明。



3. 請在以下的空格中畫出 ${}_{9}^{19}\text{F}$ （氟）的原子模型並加上文字說明。（F有9個電子）



附錄四 科學概念心智模式測驗結果質性分析表及評分標準表

科學概念心智模式測驗結果質性分析表

模型種類	(A) 平面模型	(B) 平面殼層模型	(C) 立體分開軌域模型	(D) 立體重疊軌域模型
範例				
層次 1	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出平面殼層	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出平面殼層	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體分開軌域	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體重疊軌域
層次 2	畫出原子核 畫出正確電子數 寫出軌域名稱	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出平面殼層	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體分開軌域	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體重疊軌域
層次 3	畫出原子核 畫出正確電子數 寫出軌域名稱 寫出電子組態	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出平面殼層 畫出電子在平面 殼層間的分佈	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體分開軌域 畫出電子在立體分開軌域內的分佈 寫出正確的軌域名稱	畫出原子核 畫出正確電子數 畫出立體重疊軌域 畫出電子在立體重疊軌域內的分佈 寫出正確的軌域名稱

科學概念心智模式測驗結果評分標準表

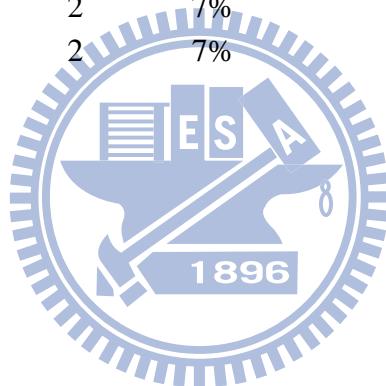
模型種類	分數		
	層次 1	層次 2	層次 3
(A) 平面模型	部分正確	0	1
	完全正確	2	3
(B) 平面殼層模型	部分正確	2	3
	完全正確	4	5
(C) 立體分開軌域模型	部分正確	5	6
	完全正確	7	8
(D) 立體重疊軌域模型	部分正確	6	7
	完全正確	8	9



附錄五 科學概念心智模式測驗結果之整體變化分佈表

	2D				3D			
	前測		後測		前測		後測	
	N	%	N	%	N	%	N	%
空白	21	70%	1	3%	22	73%	2	7%
A1 部分正確	2	7%						
完全正確								
A2 部分正確								
完全正確								
A3 部分正確							1	3%
完全正確								
B1 部分正確							1	3%
完全正確								
B2 部分正確	7	23%	16	53%	8	27%	8	27%
完全正確							2	7%
B3 部分正確			2	7%			1	3%
完全正確			2	7%			2	7%
C1 部分正確								
完全正確								
C2 部分正確								
完全正確								
C3 部分正確							1	3%
完全正確								
D1 部分正確								
完全正確								
D2 部分正確			6	20%			2	7%
完全正確			1	3%			1	3%
D3 部分正確			1	3%			5	17%
完全正確			1	3%			4	13%

註：1.A1=平面模型, B=平面殼層模型, C=立體分開軌域模型, D=立體重疊模型





附錄六 lower α 波之各式統計分析表

lower α 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
0 1000 (ms)	C1	動畫型式	學前基準				3.06	0.088	
			2D	24	0.076	0.042	0.75	0.390	
			3D	24	0.084	0.045			
			平面空間能力	高	24	0.071	0.033	3.61	0.064
			低	24	0.089	0.051			低>高
	CZ	平面空間能力	交互作用				0.48	0.493	
			學前基準				3.39	0.072	
			動畫型式	2D	24	0.083	0.043	0.10	0.753
			3D	24	0.084	0.040			
			高	24	0.075	0.032	3.62	0.064	低>高
頂葉區	C2	平面空間能力	交互作用				0.00	0.971	
			學前基準				2.30	0.137	
			動畫型式	2D	24	0.075	0.040	0.07	0.796
			3D	24	0.076	0.040			
			高	24	0.067	0.028	3.32	0.075	低>高
	C1	平面空間能力	低	24	0.084	0.048			
			交互作用				0.06	0.811	
			學前基準				1.76	0.192	
			動畫型式	2D	24	0.095	0.076	0.18	0.678
			3D	24	0.101	0.087			
1000 2000 (ms)	CZ	平面空間能力	高	24	0.077	0.037	4.49*	0.040	低>高
			低	24	0.120	0.105			
			交互作用				0.10	0.749	
			學前基準				2.60	0.114	
			動畫型式	2D	24	0.099	0.066	0.47	0.496
	C2	平面空間能力	3D	24	0.110	0.092			
			高	24	0.083	0.035	4.98*	0.031	低>高
			低	24	0.126	0.103			
			交互作用				0.10	0.757	
			學前基準				4.12*	0.049	
	C1	動畫型式	動畫型式	2D	24	0.094	0.059	1.05	0.312
			3D	24	0.114	0.126			
			平面空間能力	高	24	0.082	0.037	4.16*	0.048
			低	24	0.126	0.131			低>高
	CZ	平面空間能力	交互作用				0.01	0.943	

(續下頁)

頂葉區 頂葉區 顳葉區 顳葉區	C1 2000 3000 (ms)	CZ	學前基準			0.60	0.443
			動畫型式	2D 24	0.094	0.096	0.00 0.987
				3D 24	0.092	0.055	
			平面空間能力	高 24	0.072	0.029	4.16* 0.047 低>高
				低 24	0.114	0.102	
			交互作用			0.24	0.623
			學前基準			2.22	0.143
			動畫型式	2D 24	0.096	0.075	0.20 0.656
				3D 24	0.102	0.067	
			平面空間能力	高 24	0.080	0.033	4.89* 0.032 低>高
				低 24	0.118	0.090	
			交互作用			0.01	0.912
			學前基準			3.90	0.055
			動畫型式	2D 24	0.095	0.069	0.41 0.526
				3D 24	0.104	0.097	
			平面空間能力	高 24	0.081	0.040	4.05 0.050 低>高
				低 24	0.119	0.109	
			交互作用			0.05	0.821
			學前基準			0.44	0.511
			動畫型式	2D 24	0.070	0.039	3.08 0.087 3D>2D
				3D 24	0.092	0.049	
			平面空間能力	高 24	0.077	0.048	0.71 0.404
				低 24	0.086	0.043	
			交互作用			1.12	0.296
			學前基準			0.45	0.505
			動畫型式	2D 24	0.076	0.048	0.59 0.445
				3D 24	0.086	0.046	
			平面空間能力	高 24	0.070	0.032	3.14 0.083 低>高
				低 24	0.092	0.056	
			交互作用			0.33	0.568
			學前基準			0.86	0.359
			動畫型式	2D 24	0.099	0.098	0.17 0.685
				3D 24	0.086	0.050	
			平面空間能力	高 24	0.076	0.041	2.87 0.097 低>高
				低 24	0.110	0.099	
			交互作用			0.15	0.701

註：^{*}p<0.05

lower α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0 1000 (ms)	F1	學前基準				0.58	0.452	
			動畫型式	2D	24	0.072	0.032	2.65	0.111
				3D	24	0.089	0.043		
			立體空間能力	High	24	0.069	0.032	3.51	0.068
				Low	24	0.091	0.042		低>高
	1000 (ms)	FZ	交互作用				1.07	0.306	
			學前基準				0.77	0.384	
			動畫型式	2D	24	0.078	0.035	2.85	0.098
				3D	24	0.097	0.048		
			立體空間能力	High	24	0.075	0.035	3.49	0.068
	2000 3000 (ms)	F2		Low	24	0.099	0.047		低>高
			交互作用				1.49	0.228	
			學前基準				0.62	0.434	
			動畫型式	2D	24	0.073	0.031	3.79	0.058
				3D	24	0.094	0.049		
頂葉區	2000 3000 (ms)	C2	立體空間能力	High	24	0.071	0.037	4.11*	0.049
				Low	24	0.096	0.043		低>高
			交互作用				1.56	0.218	
			學前基準				0.59	0.448	
			動畫型式	2D	24	0.080	0.059	0.34	0.565
枕葉區	0 1000 (ms)	OZ		3D	24	0.088	0.037		
			立體空間能力	High	24	0.076	0.056	1.02	0.319
				Low	24	0.093	0.040		
			交互作用				4.18*	0.047	
			學前基準				0.45	0.505	
	0 1000 (ms)	OZ	動畫型式	2D	24	0.041	0.028	2.85	0.099
				3D	24	0.062	0.049		
			立體空間能力	High	24	0.046	0.034	0.83	0.367
				Low	24	0.057	0.047		
交互作用							0.97	0.331	

註：^{*}p<0.05

lower α 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析單純主要效果考驗摘要表

區域	時間	項目	分組	共變數		依變數		Post-hoc
				F.	p.	F.	p.	
頂葉區	2000 3000 (ms)	C2	動畫型式	2D	0.20	0.656	0.29	0.596
				3D	0.66	0.426	12.08 ^{**}	0.002 低>高
			立體空間能力	高	0.01	0.913	0.69	0.417
				低	1.01	0.326	6.08 [*]	0.022 3D>2D
			註： [*] p<0.05, ^{**} p<0.01					

lower α 波之單因子單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0 1000 (ms)	F1	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.07	0.03	2.94	0.092 3D>2D
				3D	30	0.09	0.04		
		FZ	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.08	0.04	2.98	0.090 3D>2D
				3D	30	0.10	0.05		
		F2	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.08	0.03	3.86	0.054 3D>2D
				3D	30	0.10	0.05		
		FZ	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.08	0.03	3.27	0.076 3D>2D
				3D	30	0.11	0.06		
		F2	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.08	0.03	4.29 [*]	0.043 3D>2D
				3D	30	0.11	0.06		
		PZ	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.07	0.04	3.24	0.077 3D>2D
				3D	30	0.09	0.05		
		OZ	學前基準						
			動畫型式	2D	30	0.04	0.03	3.34	0.073 3D>2D
				3D	30	0.06	0.04		

註：^{*}p<0.05

附錄七 lower β 波之各式統計分析表

lower β 波之二因子（動畫型式、平面空間能力）單變量共變數分析表

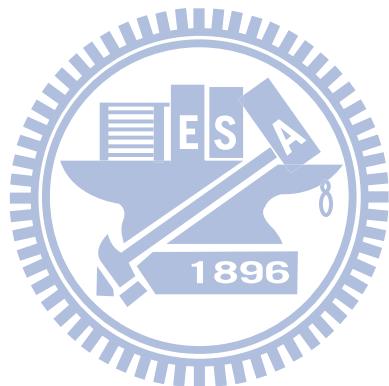
區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0 1000 (ms)	F1	學前基準				26.17***	0.000	
			動畫型式	2D 24	0.038	0.023	4.40*	0.042	3D>2D
				3D 24	0.052	0.045			
			平面空間能力	高 24	0.049	0.040	0.05	0.822	
				低 24	0.042	0.031			
		FZ	交互作用				1.49	0.229	
			學前基準				19.20***	0.000	
			動畫型式	2D 24	0.036	0.021	5.08	0.029	3D>2D
				3D 24	0.051	0.041			
			平面空間能力	高 24	0.046	0.035	0.00	0.994	
		F2	交互作用				0.26	0.609	
			學前基準				21.07***	0.000	
			動畫型式	2D 24	0.037	0.023	4.06	0.050	3D>2D
				3D 24	0.049	0.037			
			平面空間能力	高 24	0.046	0.035	0.06	0.815	
		FZ	交互作用				0.17	0.678	
			學前基準				5.93*	0.019	
			動畫型式	2D 24	0.038	0.017	3.50	0.068	3D>2D
				3D 24	0.050	0.033			
			平面空間能力	高 24	0.047	0.030	0.20	0.659	
		F2	交互作用				0.91	0.345	
			學前基準				6.00*	0.018	
			動畫型式	2D 24	0.038	0.019	3.19	0.081	3D>2D
				3D 24	0.050	0.033			
			平面空間能力	高 24	0.047	0.032	0.28	0.597	
		C1	交互作用				1.00	0.322	
			學前基準				4.46*	0.041	
			動畫型式	2D 24	0.031	0.016	3.66	0.062	3D>2D
				3D 24	0.042	0.027			
			平面空間能力	高 24	0.036	0.024	0.20	0.657	
		頂葉區	交互作用				1.15	0.289	
									(續下頁)

頂葉區	1000 2000 (ms)	CZ	學前基準			3.13	0.084	
			動畫型式	2D 24	0.033	0.016	3.25	0.078 3D>2D
				3D 24	0.042	0.026		
			平面空間能力	高 24	0.037	0.023	0.08	0.773
				低 24	0.038	0.021		
	P1 2000 (ms)	P1	交互作用			0.39	0.534	
			學前基準			2.19	0.147	
			動畫型式	2D 24	0.030	0.016	3.80	0.058 3D>2D
				3D 24	0.040	0.024		
			平面空間能力	高 24	0.035	0.017	0.17	0.678
顳葉區	1000 2000 (ms)	PZ	低 24	0.036	0.024			
			交互作用			0.75	0.392	
			學前基準			2.30	0.137	
			動畫型式	2D 24	0.032	0.016	3.51	0.068 3D>2D
				3D 24	0.041	0.023		
	0 1000 (ms)	O1	平面空間能力	高 24	0.036	0.016	0.15	0.699
			低 24	0.037	0.024			
			交互作用			0.52	0.473	
			學前基準			0.47	0.497	
			動畫型式	2D 24	0.024	0.015	1.58	0.216
枕葉區	0 1000 (ms)	OZ		3D 24	0.020	0.011		
			平面空間能力	高 24	0.025	0.016	3.25	0.079 高>低
			低 24	0.019	0.009			
			交互作用			1.17	0.286	
			學前基準			0.01	0.911	
	1000 2000 (ms)	O1	動畫型式	2D 24	0.027	0.026	0.17	0.681
				3D 24	0.024	0.019		
			平面空間能力	高 24	0.032	0.027	3.81	0.058 高>低
			低 24	0.019	0.015			
			交互作用			2.17	0.148	
	1000 2000 (ms)	O1	學前基準			1.04	0.314	
			動畫型式	2D 24	0.025	0.020	0.05	0.821
				3D 24	0.026	0.014		
			平面空間能力	高 24	0.030	0.020	2.85	0.099 高>低
			低 24	0.021	0.012			
	0 1000 (ms)		交互作用			0.93	0.340	

(續下頁)

		學前基準			1.06	0.310			
1000 2000 (ms)	OZ	動畫型式	2D	24	0.019	0.008	3.01		
			3D	24	0.025	0.015			
		平面空間能力	高	24	0.025	0.013	1.22		
			低	24	0.019	0.011	0.277		
交互作用					0.11	0.744			
枕葉區					0.34	0.560			
2000 3000 (ms)	OZ	動畫型式	2D	24	0.028	0.025	0.08		
			3D	24	0.030	0.023	0.773		
		平面空間能力	高	24	0.036	0.031	3.87		
			低	24	0.022	0.009	0.056		
交互作用					0.05	0.820	高>低		

註：^{*}p<0.05, ^{***}p<0.001



lower β 波之二因子（動畫型式、立體空間能力）單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0 1000 (ms)	FZ	學前基準				8.64 ^{**}	0.005	
			動畫型式	2D	24	0.032	0.022	3.73	0.060
				3D	24	0.046	0.033		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.040	0.033	0.40	0.531
		F2		Low	24	0.039	0.024		
			交互作用				0.05	0.828	
	1000 2000 (ms)	F1	學前基準				10.18 ^{**}	0.003	
			動畫型式	2D	24	0.032	0.023	4.23 [*]	0.046
				3D	24	0.047	0.032		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.039	0.032	0.36	0.551
		FZ		Low	24	0.039	0.025		
			交互作用				0.00	0.973	
	2000 3000 (ms)	F1	學前基準				2.52	0.120	
			動畫型式	2D	24	0.032	0.016	4.85 [*]	0.033
				3D	24	0.048	0.031		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.042	0.033	0.44	0.511
		F2		Low	24	0.039	0.016		
			交互作用				1.29	0.263	
		C1	學前基準				2.04	0.160	
			動畫型式	2D	24	0.033	0.016	5.48 [*]	0.024
				3D	24	0.048	0.029		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.041	0.031	0.28	0.596
		FZ		Low	24	0.039	0.015		
			交互作用				1.30	0.260	
	0 1000 (ms)	F1	學前基準				1.82	0.184	
			動畫型式	2D	24	0.032	0.016	6.43 [*]	0.015
				3D	24	0.050	0.031		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.042	0.034	0.29	0.596
		F2		Low	24	0.040	0.015		
			交互作用				0.79	0.378	
		C1	學前基準				0.01	0.167	
			動畫型式	2D	24	0.028	0.018	3.06	0.087
				3D	24	0.039	0.028		3D>2D
			立體空間能力	High	24	0.033	0.028	0.02	0.878
		FZ		Low	24	0.035	0.019		
			交互作用				0.24	0.628	

(續下頁)

頂葉區	CZ	1000 (ms)	學前基準							
			動畫型式	2D	24	0.030	0.019	2.95	0.093	3D>2D
				3D	24	0.039	0.027			
			立體空間能力	High	24	0.034	0.027	0.06	0.805	
				Low	24	0.035	0.019			
		2000 (ms)	交互作用					0.21	0.646	
			學前基準					0.98	0.327	
			動畫型式	2D	24	0.027	0.013	7.53 ^{**}	0.009	3D>2D
				3D	24	0.042	0.023			
	C2	1896 (ms)	立體空間能力	High	24	0.034	0.024	0.00	0.947	
				Low	24	0.035	0.014			
			交互作用					0.62	0.435	
			學前基準					0.89	0.350	
		2000 (ms)	動畫型式	2D	24	0.029	0.013	7.56 ^{**}	0.009	3D>2D
				3D	24	0.043	0.022			
			立體空間能力	High	24	0.035	0.024	0.02	0.903	
				Low	24	0.037	0.014			
	P1	1896 (ms)	交互作用					0.95	0.335	
			學前基準					0.28	0.598	
			動畫型式	2D	24	0.028	0.014	6.83 [*]	0.012	3D>2D
				3D	24	0.042	0.022			
		2000 (ms)	立體空間能力	High	24	0.035	0.024	0.04	0.843	
				Low	24	0.036	0.015			
			交互作用					0.80	0.376	
			學前基準					0.09	0.760	
	PZ	1896 (ms)	動畫型式	2D	24	0.029	0.016	4.17 [*]	0.047	3D>2D
				3D	24	0.039	0.016			
			立體空間能力	High	24	0.034	0.017	0.01	0.941	
				Low	24	0.034	0.016			
		2000 (ms)	交互作用					0.09	0.769	
			學前基準					0.15	0.702	
			動畫型式	2D	24	0.030	0.016	4.83 [*]	0.033	3D>2D
				3D	24	0.040	0.015			
	PZ	1896 (ms)	立體空間能力	High	24	0.035	0.016	0.01	0.926	
				Low	24	0.035	0.017			
			交互作用					0.01	0.916	

(續下頁)

顛葉區	1000 2000 (ms)	P2	學前基準				0.09	0.768	
			動畫型式	2D	24	0.030	0.016	3.14	0.084 3D>2D
				3D	24	0.038	0.015		
			立體空間能力	High	24	0.033	0.015	0.00	0.945
				Low	24	0.034	0.017		
	0 1000 (ms)	O1	交互作用				0.01	0.907	
			學前基準				0.03	0.857	
			動畫型式	2D	24	0.022	0.016	0.01	0.937
				3D	24	0.022	0.014		
			立體空間能力	High	24	0.018	0.010	2.85	0.099 低>高
	1000 2000 (ms)	O2	交互作用				1.89	0.177	
			學前基準				4.36*	0.043	
			動畫型式	2D	24	0.018	0.008	6.41*	0.015 3D>2D
				3D	24	0.026	0.015		
			立體空間能力	High	24	0.024	0.014	1.47	0.233
	2000 3000 (ms)	O2	交互作用				0.04	0.851	
			學前基準				2.03	0.162	
			動畫型式	2D	24	0.022	0.010	4.49*	0.041 3D>2D
				3D	24	0.031	0.019		
			立體空間能力	High	24	0.031	0.020	3.97	0.053 高>低
交互作用							0.21	0.648	

註：^{*}p<0.05, ^{**}p<0.01

lower β 波之單因子單變量共變數分析表

區域	時間	項目	分組	N	Mean	SD	F.	p.	Post-hoc
額葉區	0-1000 (ms)	F1	學前基準				20.52***	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.036	0.021	3.83	0.055	3D>2D
		FZ	學前基準				17.35***	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.034	0.020	6.08*	0.017	3D>2D
		F2	學前基準				19.38***	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.034	0.022	5.46*	0.023	3D>2D
	1000 2000 (ms)	F1	學前基準				6.10*	0.016	
			動畫型式	2D 30	0.037	0.022	3.54	0.065	3D>2D
		FZ	學前基準				5.45*	0.023	
			動畫型式	2D 30	0.036	0.017	5.44*	0.023	3D>2D
		F2	學前基準				5.33*	0.025	
			動畫型式	2D 30	0.035	0.018	5.59*	0.021	3D>2D
頂葉區	0 1000 (ms)	C1	學前基準				18.31***	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.029	0.017	3.87	0.054	3D>2D
		CZ	學前基準				13.81***	0.000	
			動畫型式	2D 30	0.031	0.017	3.76	0.057	3D>2D
		C1	學前基準				4.34*	0.042	
			動畫型式	2D 30	0.029	0.015	6.41*	0.014	3D>2D
	1000 2000 (ms)	CZ	學前基準				3.70	0.059	
			動畫型式	2D 30	0.031	0.015	6.69*	0.012	3D>2D
		C2	學前基準				1.34	0.253	
			動畫型式	2D 30	0.030	0.015	5.67*	0.021	3D>2D
		P1	學前基準				2.78	0.101	
			動畫型式	2D 30	0.029	0.015	5.77*	0.020	3D>2D

(續下頁)

顛葉區	1000 2000 (ms)	PZ	學前基準	2D	30	0.030	0.015	2.66	0.109	3D>2D
			動畫型式			3D	30	0.041	0.020	
	1000-2000 (ms)	P2	學前基準	2D	30	0.029	0.016	1.71	0.197	3D>2D
			動畫型式			3D	30	0.039	0.019	
枕葉區	1000-2000 (ms)	O2	學前基準	2D	30	0.018	0.008	2.89	0.095	3D>2D
			動畫型式			3D	30	0.025	0.014	
	2000-3000 (ms)	O2	學前基準	2D	30	0.022	0.009	0.32	0.575	3D>2D
			動畫型式			3D	30	0.029	0.018	

註：^{*}p<0.05, ^{***}p<0.001

