

# 國立交通大學

教育研究所

碩士論文

運用眼動儀探討不同學科背景大學生之細胞擴  
散和滲透作用的心智表徵建構

Explore the Effects of Different Background Undergraduate  
Student's Construction of Mental Representation on Diffusion  
and Osmosis Through the Use of Eye-tracker

指導教授：佘曉清教授

碩士班研究生：張格瑜

中華民國九十七年一月

# 運用眼動儀探討不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用的心智表徵建構

Explore the Effects of Different Background Undergraduate  
Student's Construction of Mental Representation on Diffusion  
and Osmosis Through the Use of Eye-tracker

碩士班研究生：張格瑜 Student：Ger-Yu Chang

指導教授：佘曉清教授 Advisor：Hsiao-Ching She



人文社會學院教育研究所

碩士論文

西元 2008年1月

National Chiao Tung University

Institute of Education, School of Art and Society

Master Thesis

January 2008

# 運用眼動儀探討不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用的心智表徵建構

研究生：張格瑜

指導教授：余曉清

國立交通大學教育研究所碩士班

## 摘要

本研究主要目的為探討細胞擴散和滲透作用概念之網路多媒體動畫對學科背景不同大學生的概念改變學習成效，並且運用眼球儀 (Eye-tracker) 蒐集眼動資料，進而瞭解其眼動與概念建構間的關係。

研究對象為 74 位大學生，依研究設計分為三組，生物學科相關背景 25 人、理工學科相關背景 25 人與人文學科相關背景 24 人。研究結果顯示不同學科背景的大學生在教學前對細胞擴散和滲透作用概念有顯著差異，而教學後三組大學生的細胞擴散和滲透作用概念都顯著優於教學前，而且沒有達顯著差異，表示網路動畫教學有助於細胞擴散和滲透作用概念的建立。從眼動資料發現，理工和生物學科相關背景大學生注視在關鍵區凝視點平均時間較長，生物學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看關鍵區，有時候會觀看文字區；理工學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫區和關鍵區；人文學科相關背景大學生的視線軌跡大部分的時間都在觀看文字區和關鍵區的文字部分。本研究證明了不同學科背景的大學生其眼球注意力分佈與其概念之建構有密切的關係。另外，在工作記憶測驗的研究顯示，認知短期記憶測驗和開放式問題的前測和後測有顯著相關。

**關鍵字：細胞擴散與滲透作用、眼球儀、概念建構、注意力**

## 誌 謝

本篇論文的完成，對作者本身而言，終於達成了一項不可能的任務。由衷感謝所有熱心協助的朋友和師長。首先要感謝指導教授 佘曉清教授不斷勉勵和耐心指導，非常感謝口試委員張文華教授及官英華教授細心的審閱與指正，並且給予本論文寶貴的意見，讓本篇論文能趨向完善。

從研究起步，直到論文寫作完成的階段，有著許多從未面臨過的困難與瓶頸，感謝身旁的貴人和師長適時的給予鼓勵與協助，讓本研究得以順利完成。感謝教育所的全體師長、助理、同學、學長姐和學弟妹及論文研究期間幫忙很多與鼓勵的嘉瑜師、冠妤師、金成學長、國銘學長、怡仁、倩嫻、思維、佩樺、裕仁、珮菁、文己、莉郁、千祈、孟玲、邦儀、富修、茵嵐、靜雯、純瑜、柔蓁、好貞、昭銘、玫英、蒔萱、明樺和佩蓉。特別感謝一起成長和學習的科教組同學羽立和倩嫻，兩年多的日子，還好有你們的照顧和幫忙。還要感謝百忙之中熱心參與實驗的所有受試者，感激你們騰出了自己寶貴的時間，貢獻心力在本研究上。另外要感謝旺哥、倍任學長、小猴、馨心、忠憲、琦琦、小鴨、倖宜、宜瑩、暉軒、潘婷、熊、小芄、秀芬、雅琪、庭嘉、玫緬、靖玟、怡慧、子玲、悅菽、佳燁、小Q、芳郡、保鏢、小黃、魚丸、蕃茄、柏佑、文華、佩瑾、靜芸、瓊徵姐、涂景宣、美華、葦苓、毓玲、淑歆和石佩的關心與協助，最後謝謝給予無限支持的父母、大哥、大嫂、二哥、安和與安宜。在此，希望將論文完成的喜悅、感動與榮耀一同分享。

張格瑜 謹誌

西元2008 1月

## ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate the effects of multimedia learning on student's learning of diffusion and osmosis, in addition, eye-tracker was used to collect data of student's eye movement behavior. It is hoping to explore the relationships between student's concept construction and their eye movement behavior.

There are 74 undergraduates from a university located at north part of Taiwan who major in biology (25), science engineering (25) and social science (24). Results showed a significant difference existed in their beginning conception of diffusion and osmosis. After multimedia learning, the three group's students made significant progress. Students' major in biology and science engineering usually had greater mean fixation duration on special areas. The students' major in biology focused more on special areas and sometimes on some text areas; the students' major in science engineering focused more on special areas and animation areas; the students' major in social science focused more on special areas and text areas. This study demonstrated students who received higher scores on the scientific conceptions would have greater mean fixation at the special areas. In addition, students' cognitive working memory score is correlated with their pre-test and post-test score of the open-ended questions.

**Key words: Diffusion and Osmosis, Eye-tracker, Concept Construction, Attention**

# 目錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	III
目錄 .....	IV
表目錄 .....	VI
圖目錄 .....	VIII
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究背景與動機 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
第三節 研究問題 .....	4
第四節 研究範圍與限制 .....	4
第五節 名詞釋義 .....	5
第二章 文獻探討 .....	8
第一節 眼球運動與注意力 .....	8
第二節 網路多媒體與科學學習 .....	10
第三節 概念改變理論和細胞擴散和滲透作用的教學研究 .....	16
第四節 心智表徵的內涵 .....	24
第三章 研究方法 .....	28
第一節 研究對象 .....	28
第二節 研究設計 .....	28
第三節 研究流程 .....	29

第四節 研究工具.....	30
第五節 資料蒐集與分析.....	34
第四章 研究結果與討論.....	36
第一節 不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用概念及概念改變成效分析.....	36
第二節 不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」教學動畫一和動畫二之眼球 追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析.....	43
第三節 不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」教學動畫三和動畫四之眼球 追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析.....	52
第四節 不同學科背景大學生觀看「細胞滲透作用」教學動畫一、動畫二與動畫 三之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析.....	59
第五節 不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」教學動畫四之眼球追蹤資料、 視線軌跡與概念建構分析.....	69
第六節 不同學科背景大學生的工作記憶相關分析.....	77
第五章 結論與建議.....	78
第一節 結論與討論.....	78
第二節 建議.....	82
參考文獻.....	84
附錄一：細胞擴散和滲透作用二階層測驗.....	89
附錄二；細胞擴散和滲透作用開放式問題.....	94

# 表目錄

表2-2-1 多媒體之實驗室相關研究結果.....	13
表2-3-1 擴散和滲透作用的命題知識表.....	23
表4-1-1 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層(two tiers)測驗前測敘述性統計表.....	37
表4-1-2 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用二階(two tiers)層測驗前測單因子變異數分析摘要表.....	37
表4-1-3 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層(two tiers)測驗前後測敘述性統計與成對樣本T檢定摘要表.....	38
表4-1-4 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用概念得分與變異數分析摘要表.....	38
表4-1-5 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測敘述性統計表.....	39
表4-1-6 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測單因子變異數分析摘要表.....	40
表4-1-7 不同學科背景大學生開放式問題前後測成績得分摘要表.....	41
表4-1-8 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前後測敘述性統計與成對樣本T檢定摘要表.....	42
表4-1-9 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用概念得分與變異數分析摘要表.....	42
表4-2-1 「細胞擴散作用」動畫一與動畫二之和的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表.....	46
表4-2-2 不同學科背景大學生是否有細胞擴散作用概念的概念建構分析表.....	50
表4-3-1 「細胞擴散作用」動畫三與動畫四之和的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表.....	54
表4-3-2 不同學科背景大學生是否有細胞擴散作用概念的概念建構分析表.....	58
表4-4-1 「細胞滲透作用」動畫一、動畫二與動畫三之和的眼球追蹤資料敘述性	

統計與變異數分析表 .....	62
表 4-4-2 不同學科背景大學生是否有細胞滲透作用概念的概念建構分析表 .....	67
表4-5-1 「細胞滲透作用」動畫四的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表 .....	71
表 4-5-2 不同學科背景大學生是否有細胞滲透作用概念的概念建構分析表 .....	75
表4-6-1 短期記憶與學科背景和測驗間的關係表 .....	77



## 圖目錄

圖2-1-1 Broadbent 過濾器模型.....	9
圖2-1-2 Treisman 減弱模型.....	9
圖2-1-3 Deutsch, Deutsch, Norman模型.....	10
圖2-2-1 雙碼理論之多媒體學習示意圖.....	12
圖2-2-2 多媒體學習認知理論.....	12
圖2-2-3 工作記憶修正.....	14
圖3-2-1 研究架構圖.....	29
圖3-3-1 研究研究流程圖.....	30
圖3-4-1 眼動儀(眼球凝視追蹤技術)監控系統.....	33
圖3-4-2 眼動儀(眼球凝視追蹤技術)系統現場情境側面.....	33
圖3-4-3 眼動儀(眼球凝視追蹤技術)系統現場情境正面.....	33
圖 4-2-1 「細胞擴散作用」動畫一的動畫與文字區範圍.....	44
圖 4-2-2 「細胞擴散作用」動畫一的關鍵區範圍.....	44
圖4-2-3 「細胞擴散作用」動畫二的動畫與文字區範圍.....	44
圖4-2-4 「細胞擴散作用」動畫二的關鍵區範圍.....	44
圖4-2-5 生物學科背景在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖.....	47
圖4-2-6 生物學科背景在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖.....	47
圖4-2-7 理工學科背景在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖.....	48
圖4-2-8 理工學科背景在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖.....	48
圖4-2-9 人文學科背景在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖.....	48
圖4-2-10 人文學科背景在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖.....	48
圖4-3-1 「細胞擴散作用」動畫三的動畫與文字區範圍.....	52
圖4-3-2 「細胞擴散作用」動畫三的關鍵區範圍.....	52

圖4-3-3 「細胞擴散作用」 動畫四的動畫與文字區範圍.....	53
圖4-3-4 「細胞擴散作用」 動畫四的關鍵區範圍.....	53
圖4-3-5 生物學科背景在「細胞擴散作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	55
圖4-3-6 生物學科背景在「細胞擴散作用」 動畫四的凝視路徑示意圖.....	55
圖4-3-7 理工學科背景在「細胞擴散作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	56
圖4-3-8 理工學科背景在「細胞擴散作用」 動畫四的凝視路徑示意圖.....	56
圖4-3-9 人文學科背景在「細胞擴散作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	56
圖4-3-10 人文學科背景在「細胞擴散作用」 動畫四的凝視路徑示意圖.....	56
圖4-4-1 「細胞滲透作用」 動畫一的動畫與文字區範圍.....	60
圖4-4-2 「細胞滲透作用」 動畫一的關鍵區範圍.....	60
圖4-4-3 「細胞滲透作用」 動畫二的動畫與文字區範圍.....	60
圖4-4-4 「細胞滲透作用」 動畫二的關鍵區範圍.....	60
圖4-4-5 「細胞滲透作用」 動畫三的動畫與文字區範圍.....	60
圖4-4-6 「細胞滲透作用」 動畫三的關鍵區範圍.....	60
圖4-4-7 生物學科背景在「細胞滲透作用」 動畫一的凝視路徑示意圖.....	63
圖4-4-8 生物學科背景在「細胞滲透作用」 動畫二的凝視路徑示意圖.....	63
圖4-4-9 生物學科背景在「細胞滲透作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	63
圖4-4-10 理工學科背景在「細胞滲透作用」 動畫一的凝視路徑示意圖.....	64
圖4-4-11 理工學科背景在「細胞滲透作用」 動畫二的凝視路徑示意圖.....	64
圖4-4-12 理工學科背景在「細胞滲透作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	64
圖4-4-13 人文學科背景在「細胞滲透作用」 動畫一的凝視路徑示意圖.....	65
圖4-4-14 人文學科背景在「細胞滲透作用」 動畫二的凝視路徑示意圖.....	65
圖4-4-15 人文學科背景在「細胞滲透作用」 動畫三的凝視路徑示意圖.....	65
圖4-5-1 「細胞滲透作用」 動畫四的動畫與文字區範圍.....	69
圖4-5-2 「細胞滲透作用」 動畫四的關鍵區範圍.....	69
圖4-5-3 生物學科背景在「細胞滲透作用」 動畫四的凝視路徑示意圖.....	72

圖4-5-4 理工學科背景在「細胞滲透作用」動畫四的凝視路徑示意圖.....73

圖4-5-5 人文學科背景在「細胞滲透作用」動畫四的凝視路徑示意圖.....73



# 第一章 緒論

本章共分為五節，內容將從研究背景及動機、研究目的、研究範圍與限制、研究問題和重要的名詞解釋等方向加以闡述。

## 第一節 研究背景與動機

隨著資訊科技的蓬勃發展與進步，多媒體和網際網路成了一種便利的工具，讓知識的獲取更為豐富和簡單。目前多媒體逐漸廣泛應用於大學課程教學上，包括：教師的課程教學和學習者的課堂報告。本研究設計細胞擴散和滲透作用的網路多媒體動畫學習課程。

在課程內容的選擇上，了解細胞的擴散和滲透作用是學習生物醫學相關課程必要的基本知識，許多研究顯示學習者對細胞的擴散和滲透作用學習存有著另有概念(Friedler, Amir & Tamir, 1985, 1987; Westbrook & Marek, 1991; Marek, Cowan & Cavallo, 1994; Odom & Barrow, 1995; Zuckerman, J. T. 1998; Sanger, M.J., Brecheisen, D. M., & Hynek, B. M, 2001; Odom & Kelly, 2001; Chi, 2005)。設計足以讓學習者概念改變的教學課程，是科學教育重要的一環。本研究企圖針對學習者已有的另有概念，繼而設計學習內容促進其概念改變。

眼動儀(Eye-tracker)為高科技設備，目前大多運用於認知心理學上的研究。Cook 等人(2006)曾運用眼動儀比較生手和專家對於 DNA 複製的視覺表徵，以訪談來驗證眼動儀的資料，證明了眼動儀在研究上之可信度。眼動儀能精確偵測眼睛注視點、停留時間和注視路徑等，將眼動儀結合科學教育是目前國內少有之研究，值得探究和努力。

藉由網路多媒體的課程學習和眼動儀的協助，更能科學化的得知學習者的學習資料，進而探討和分析學習成效和眼動之間的關聯。運用眼動儀能夠得到

量化的科學數據，對學習者在心智表徵完整性的探究，提供了更周全的證據。期望在科學教育研究上有新的突破。

## 第二節 研究目的

近年來，由認知科學家的研究顯示，科學領域中生手和專家的不同，主要在於他們組織和使用的知識的方法(Chi, Glaser, & Farr, 1988)，然而生手和專家對學習的注意力是否也有不同？或是工作記憶容量和不同背景學科的學習者在注意力上是否有差異呢？本研究將以眼動儀來探究，蒐集對細胞擴散和滲透作用熟悉度不同的受試者之眼動資料以及瞭解受試者在學習細胞擴散和滲透作用課程後的概念改變，並且進行兩者之間是否有關聯，以深入探究心智表徵的完整性。本研究以心智表徵為基礎，修改 Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995) 的擴散和滲透作用的二階層(Two-tier)診斷測驗，編制一份細胞的擴散和滲透作用的二階層測驗，將其應用於學習者學習前的測驗(前測)和學習後的測驗(後測)，來瞭解學習者的概念建構情況。二階層診斷測驗，由 Treagust(1995) 提出，在教學上是一個好用的工具，方便診斷學生的另有概念成因。

本研究將學習者常有的另有概念呈現於網路多媒體的學習課程。藉由眼動儀蒐集工作記憶容量和不同背景學科的大學生在網路多媒體動畫課程學習的注意力資料，並且分析探討工作記憶容量和不同背景學科的大學生在細胞擴散和滲透作用二階層測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題間之相關性。其中二階層測驗和開放式問題皆分成學習前的前測和網路多媒體動畫課程學習後進行的後測，比較和分析前測和後測結果，以深入瞭解學習者的概念建構和對細胞擴散和滲透作用之心智表徵的建構情形。

本研究以網路多媒體動畫呈現細胞擴散和滲透作用學習課程，並運用眼動儀探討不同學科背景大學生的眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視時間(fixation duration)和視線軌跡(scanpath)的資料

等與心智表徵之間的研究。

促進心智表徵的完整性必須考量到學習者的學習背景、另有概念、工作記憶容量、課程設計和認知負荷等等的因素。如果網路多媒體動畫課程和合適的概念改變教學策略，能夠有效協助學習者進行概念改變，促進心智表徵的完整性，那麼網路多媒體便可發揮無遠弗屆的優勢，將可協助更多學習者學習科學課程獲得正確的科學概念和完整的心智表徵。

細胞的擴散和滲透作用是學習生物醫學相關課程的重要基礎，當學習者對細胞的擴散和滲透作用存有著另有概念時，有必要設計課程，進行概念改變教學，讓學習者獲得正確的細胞擴散和滲透作用的概念，進而促進學習者對細胞擴散和滲透作用心智表徵的完整性。本研究在細胞擴散和滲透作用學習課程是以巨觀和微觀觀點為主軸，希望藉由網路多媒體動畫呈現巨觀和微觀強而有力的連結，來幫助學習者概念改變。期盼能做為日後教學者及研究者之參考與應用。

研究目的如下：

1. 依據 Odom 和 Barrow(1995)發現大學生對細胞擴散和滲透作用常有的另有概念(迷思概念)，參考概念改變的教學策略，設計巨觀和微觀的連續模式，建構一個以網路多媒體動畫呈現的細胞擴散和滲透作用學習課程。

2. 探討不同學科背景大學生(生物學科相關、理工學科相關和人文學科相關)在學習網路多媒體動畫的細胞擴散和滲透作用課程後，是否能進行概念改變，進而探究其對細胞擴散和滲透作用心智表徵的完整性。

3. 運用眼動儀探討不同學科背景大學生(生物學科相關、理工學科相關和人文學科相關)在學習課程時，注意力是否有明顯差別，包括：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料。

4. 將眼動儀蒐集的眼球追蹤資料和二階層測驗和開放式問題蒐集的資料進行深入探討，以了解學習者經過學習之後，對細胞擴散和滲透作用心智表徵建立的完整性。

### 第三節 研究問題

本研究以心智表徵為基礎，來了解不同學科背景和不同工作記憶容量的學習者，經由學習網路多媒體動畫呈現教材後的學習成效與概念改變程度，並利用眼動儀了解不同學科背景學習者的眼球注意力在網路多媒體動畫課程上的學習分配，因此根據研究的動機與目的，本研究之待答問題為：

- 1.不同學科背景的大學生在教學前對細胞擴散和滲透作用相關概念的理解是否有差異？
- 2.瞭解細胞擴散和滲透作用教學是否有助於概念建構？
- 3.不同學科背景的大學生在進行細胞擴散和滲透作用動畫學習時注意力分佈是否有不同？
- 4.探討動畫學習時其凝視區域、次數、時間與細胞擴散和滲透作用概念建構是否有關聯？
- 5.工作記憶容量跟學科背景和學習成就表現上是否有關聯？

### 第四節 研究範圍與限制

#### 一、研究對象

本研究的研究受試者為桃竹地區的大學生，不具有全國大學生的代表性。研究結果若要推論到其他群體時，需謹慎衡量。

#### 二、研究內容

本研究主要探討細胞的擴散和滲透作用基礎概念，細胞擴散和滲透作用課程內容參考李大維、陳善夫、李意旻和劉又彰編譯(2006)，Levine& Miller(著)，第二版新版生物學-發現生命和 Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring

college biology students , understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. 本研究以 Odom & Barrow (1995)的細胞擴散和滲透作用二階層診斷測驗這篇文章為主要參考依據。

### 三、研究方法

本研究為準實驗研究方法，以不同學科背景之主修的大學生為研究對象，主要目的在探討工作記憶容量和不同背景學科之大學生在接受網路多媒體動畫課程之後，對「細胞擴散和滲透作用」課程學習之成效(概念改變情形)和眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料是否有差異，進而影響對細胞擴散和滲透作用心智表徵的完整性。

## 第五節 名詞釋義

### 一、心智表徵(mental representation)

可包含 propositional(命題), image(圖像), mental model(心智模式)等。即可以用語言、圖像與各種方式表達出大腦中的概念知識。Fodor(1998)指出心智表徵的內容是來自於其組成概念的內容。

### 二、另有概念(alternative concept)

又稱做「另有架構」或「迷思概念」。指學習者對於自然界的各種現象，有著跟目前科學專家所架構之科學概念不同的想法，而且這些概念想法是不容易被改變的，而且是由學習者主動建立的，本研究稱為「另有概念」。

Fisher(1985)認為另有概念是學習者所持有的概念有別於正統的科學概念。

### 三、眼動儀 (Eye-tracker)

為高科技設備，可精確偵測眼球運動，即眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料。唐大崙(2006)指出眼動儀為貼近自然

狀態的心智量測技術，監控眼球相當於隨時監控認知歷程。因此，完整記錄學習者的眼動資料，有助於心智方面的研究。

#### 四、注意力(attention)

注意力是一種手段，可以將有限的心理資源專注在某個時間裡的訊息和認知歷程上。其中外顯視覺注意力是專指當眼睛自主移動時，注意到視野中出現或存在的物體 (Findlay & Gilchrist, 2003)。

#### 五、概念改變(concept change)

Ponser 和 Strike(1982)等人指出個體在呈現概念時，所隱藏在概念背後的所有概念，它將會影響個體對於新的中心概念的選擇與調適的方向。本研究將學習者從原有概念，經過修正或建構或重建過程後，所得到正確科學概念，稱之為「概念改變」，Thagard (1992)指出學習者對概念的增加或刪減是比較容易的，而將原有的類別關係或從屬關係重新組織是很困難的。

#### 六、工作記憶 (working memory)

工作記憶的概念由 Baddeley(1974)等人提出，用來描述人腦對於資訊的暫時性儲存與處理。工作記憶分包含：(1) 中央執行系統 (central executive)，協調有關注意力的活動與支配反應 (2) 視覺空間模板 (visuospacial sketch pad)，短暫地保留一些視覺影像 (3) 語音迴路 (phonological loop)，短暫的保留語文理解與聽覺複誦時的內在語言 (4) 事件緩衝器(episodic buffer)，整合來自工作記憶中不同部分的訊息，使訊息變得有意義。

#### 七、認知負荷理論 (cognitive load theory)

認知負荷理論認為個體工作記憶的容量有限，透過教材的設計，可降低認知資源的消耗 (Chandler & Sweller, 1991)。Sweller 等人(1998)，認為認知負荷是將一特定工作加諸於學習者的認知系統時所產生的負荷。

#### 八、多媒體 (multimedia)

Mayer (2001)認為多媒體是使用文字及圖片來呈現素材。文字指的是一種語言形式，如文字或是口語表達；圖片則是指一種圖像形式，如圖形、照片、動畫和影片...等。電腦簡報，可以文字、圖表、影像、聲音與動畫呈現內容，即為多媒體的一種。



## 第二章 文獻探討

### 第一節 眼球運動與注意力

人類的眼睛負責大腦與外在世界的溝通，又稱為靈魂之窗。蔡介立(2006)指出眼睛利用短暫靜止的時間來接收外界的資訊，並需要不斷的移動，才能掌握完整的訊息。因此從眼球凝視的位置和停留時間，反映出大腦認知系統對資訊的選擇與處理的時間。

唐大崙(2006)指出眼動儀為貼近自然狀態的心智量測技術，監控眼球運動不只要知道心智運作結果，也可以揭開隨時間改變的歷程，即監控眼球相當於隨時監控認知歷程。眼動儀使用在工作記憶資源分配上的測量，用以評估學習者與教學工具的互動，藉由呈現圖片與文字整合的不同形式，能顯示出學習者獲得訊息時的差異，旁白的講解也會影響學習者內容的注視。在 Hughes (2003) 等人利用眼動儀，研究發現：受試者看文字的時間明顯高於看圖片的時間。在頁面上搜尋資料時，人們常用文字來定位，用圖片來驗證。用文字來建構意義，而圖片是用來驗證以及加強連結。唐大崙(2006)指出看圖與看文字的方式不同，閱讀文字有方向性，瀏覽圖片無方向性。

Hoffman 和 Subramaniam(1995)的研究，證明當學習者要執行眼球運動時，注意力其實已經搶先於眼球開始運動之前，到達某特定位置，以促進對某事件的知覺。眼球運動和注意力有密切相關性，其中眼動路徑、注意點和停留時間等，將可成為注意力分佈的最佳指標。

注意力的研究，有著許多的研究理論，包括許多注意力模型，這些模型的差異在於過濾器的位置。我們將過濾機制，分成早期過濾機制和晚期過濾機制。早期過濾機制以 Broadbent 過濾器模型和 Treisman 減弱模型為例子說明。晚期過濾機制以 Deutsch, Deutsch, Norman 模型說明。

以下參閱 Sternberg(2003)，將上述模型說明如下：Broadbent(1958)指出人

類處理外界進入的訊息為有限量，因此需要過濾排除不必要的訊息，選擇必須的資訊進入深層的分析階段加以辨識、解析與儲存於記憶中。感覺刺激的多重管道會遇到一個注意力的過濾器，此過濾器只會讓一個管道的訊息通過，之後進入知覺歷程。此理論即「過濾理論」，又稱「瓶頸理論」(bottleneck theory)。如圖 2-1-1。

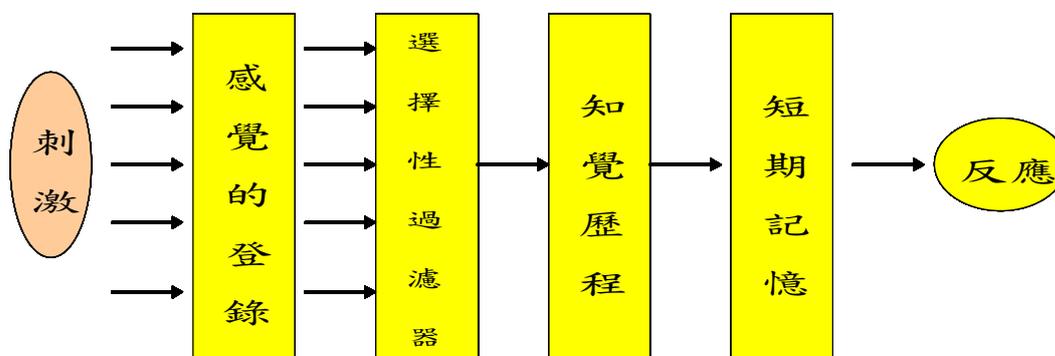


圖 2-1-1 Broadbent 過濾器模型  
(修改自認知心理學, 李玉琇和蔣文祁譯, 2005)

Treisman (1960)，對 Broadbent 的過濾器模型進一步改良，提出減弱模型理論(attenuation model)。認為注意力包括三階段，第一階段：讓非目標刺激減弱通過。第二階段：對於非目標型態的刺激，仍讓其減弱通過。第三階段：注意力集中在可順利到達此階段的刺激，即刺激強度是要大於閾值(threshold)，才可被偵測到。

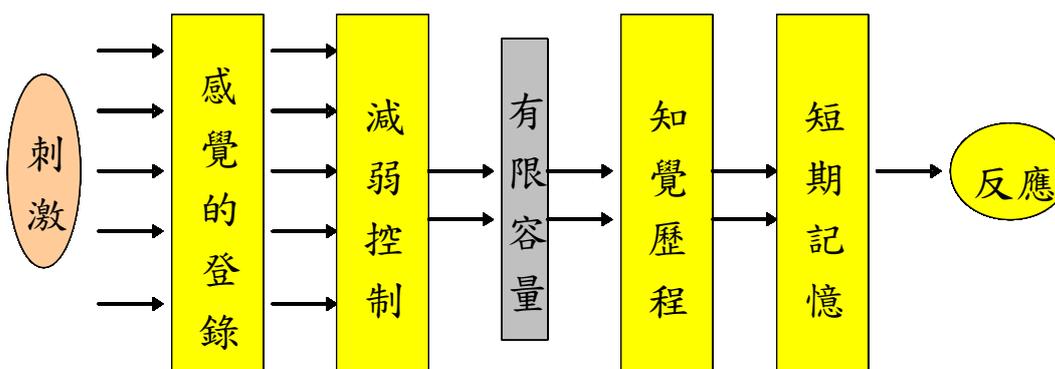


圖 2-1-2 Treisman 減弱模型  
(修改自認知心理學, 李玉琇和蔣文祁譯, 2005)

以注意「發生」的時間分類，「過濾理論」與「衰減理論」屬於「早期選擇理論」，兩者皆認為注意發生選擇作用在訊息處理的早期，即在刺激尚未辨識前，注意力就先介入影響。Broadbent 的過濾器作用是阻斷所有的非目標刺激，Treisman 的減弱模型，則是檢若非目標物的強度。「晚期選擇理論」則認為刺激獲得辨識之後，注意力才發生。此模型為 Deutsch 和 Deutsch 在 1963 年提出，後來 Norman 在 1968 年也提出一樣的論點。

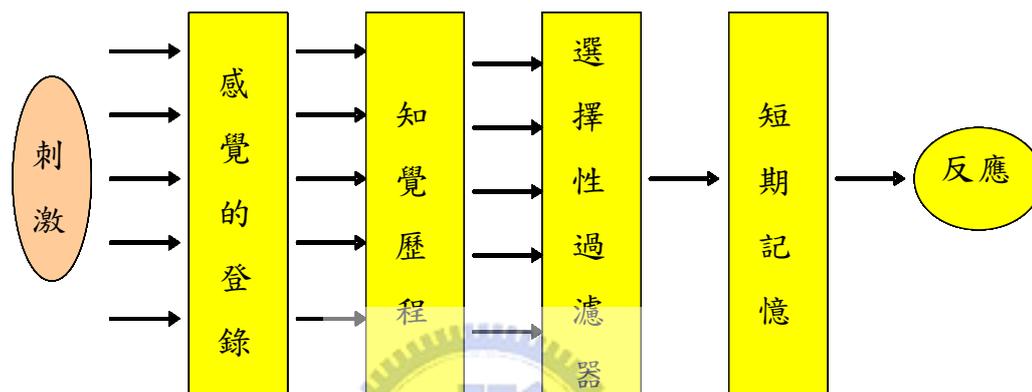


圖 2-1-3 Deutsch, Deutsch, Norman 模型  
(修改自認知心理學, 李玉琇和蔣文祁譯, 2005)

一言以蔽之，綜合上述文獻，注意力與眼球運動的方向是有一致性的。當注意力被某個顯眼事物吸引至一個重要的位置時，緊接著眼球運動就跟著注意力而來，可說是如影隨形。本研究蒐集眼球運動資料，包括：眼球凝視點次數 (number of fixations)、凝視時間 (fixation duration) 和視線軌跡 (scanpath)，當作注意力的有力的證據，並進而探討不同學科背景大學生在學習細胞擴散和滲透作用課程的注意力與大學生對細胞擴散和滲透作用的心智表徵建構完整性，並且進行注意力與心智表徵建構完整性兩者之間的關係深入探討。

## 第二節 網路多媒體與科學學習

在 1980 年以前，科學教育與科技之間的關係，僅限於運用科技，如電影、電視、廣播和投影機等於科學教學層次上，目前科技不再只是協助教學，

科技已成為科學教育範疇中的一分子(佘曉清，1997)。近年來，電腦多媒體為最常被廣泛應用於學習的科技。電腦多媒體可將文字、圖片、聲音、影像、動畫等不同素材運用在教材內容上，當電腦多媒體結合網際網路時，便能超越時空限制，讓資源共享。網路多媒體是一種新的學習模式，儼然是一種趨勢。多媒體(Multimedia)是一種可結合文字、圖形、聲音、影像和動畫等應用的媒體工具。媒體應用於教學上而能傳遞、溝通訊息或是針對學習者特性以及學習目標呈現教材，則稱之為教學媒體(Instructional Media)(李宗薇，1994)。運用電腦多媒體來輔助教學，因為技術門檻低而且方便使用者的應用，已經成為目前主要的教學媒體。

佘曉清(1997)認為科技可引發學習者學習動機，無論是採用電腦輔助教學或多媒體教學或是現今全球網路資訊上的科學課程活動，其設計都是朝著讓學習生動有趣，並經由建立立即回饋得到成就感，進而促進學習者學習動機提升。

網路多媒體動畫的科學課程設計，除了內容上強調將學習者常有的另有概念，進行概念改變外，學習者的工作記憶容量和能影響認知負荷的因素，都是決定學習效果的重要因素。

在多媒體的設計上，Paivio(1986)的雙重編碼理論(Dual-Coding Theory)指出，人類擁有兩套互動但又獨立處理不同類別資訊的系統，一為專門處理語文方面的語文系統(verbal system)：另一個圖像系統(visual system)專門處理視覺資訊。他的實驗研究證明：當學習者回想時，對文字加圖片的回想能力優於只有文字的回想。Mayer 和 Gallini (1990)以科學教科書為教材，研究發現將圖片與文字同時整合在同一頁有較佳的學習效果。後來 Mayer 和 Sims (1994)以多媒體教學方式作實驗，發現「圖文整合同時呈現」學習效果較佳，也證實了雙重編碼理論在多媒體應用上的效果。

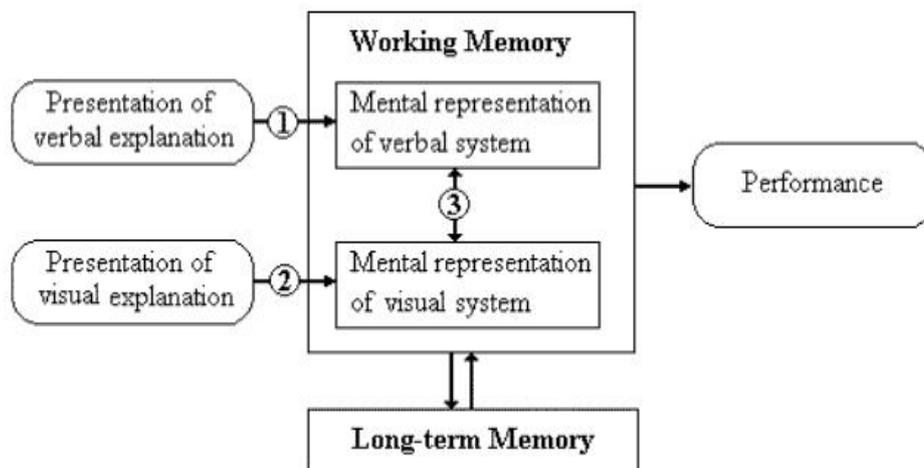


圖 2-2-1 雙碼理論之多媒體學習示意圖(Mayer 和 Sims,1994)

Moreno 和 Mayer (2000, 2002)所提出之多媒體學習的認知理論 (Cognitive Theory of Multimedia Learning)，即文字可以視覺或是聽覺方式透過耳朵和眼睛進入認知系統，而圖形則是靠視覺方式，透過眼睛接受訊息，經由感官記憶挑選文字和影像後，在工作記憶區運用心智將文字組織成為連貫的語文模式，將影像組織為影像模式，最後語文的心智模式和圖形的心智模式在工作記憶區整合為長期記憶中的先備知識，如圖 2-2-2。因此，透過多媒體系統多種模式(文字和非文字)的刺激，是可以有效促進學習。

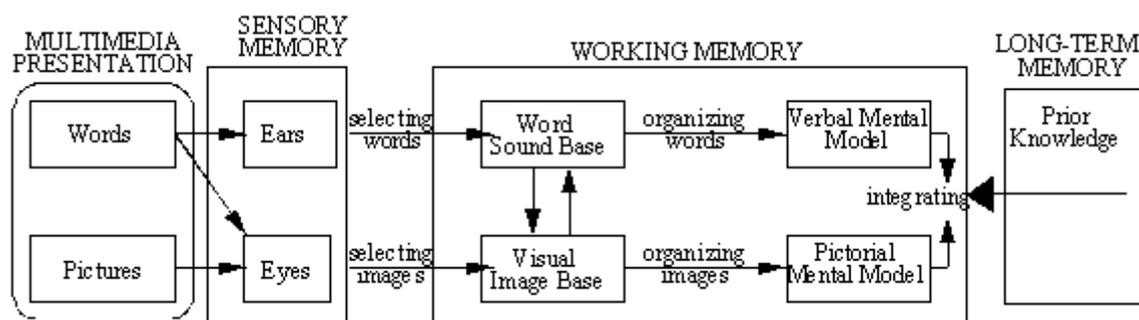


圖 2-2-2 多媒體學習認知理論 (Moreno 和 Mayer, 2000)

對於多媒體組合模式的研究，從表 2-2-1 多媒體之實驗室相關研究結果，大致可瞭解，哪種多媒體元素的組合是對學習效果較好的。

表 2-2-1 多媒體之實驗室相關研究結果

研究者	受試者	媒體組合模式	研究結果
Reed(1985)	大學生	文字+動畫 動畫	二者無顯著差異
Mayer(1989)	大學生	文字 文字+圖片	圖片有助於學習
Mayer & Anderson (1991)	大學生	文字+動畫 同步 vs. 非同步	同步呈現效果較好
Poohkay(1995)	大學生	文字 文字+圖片 文字+動畫	文字+動畫的組合成效 最好
Mayer & Moreno (1998)	大學生	動畫+聲音 動畫+文字	動畫+聲音的組合成效 最好

資料來源：修改自翁嘉鴻(2001)

Mayer(1999)發現將資訊分段依序呈現(如動畫、聲音分段交錯依序呈現)比一次呈現所有的資訊(動畫、聲音依序呈現)，有較佳的學習成效。Mayer 和 Moreno(1999)指出動畫與旁白同步呈現學習效果好，並且強調聲音效果優於書面文字。本研究綜合上述多媒體組合的優點，設計網路多媒體動畫之細胞擴散和滲透作用課程。

透過教學多媒體的學習之後，如何瞭解學習的成效，則牽涉到記憶的提取。記憶包含三個基本運作：編碼(encoding)、儲存(storage)和提取 (retrieval) (Baddeley, 2000；Sternberg, 2003)。編碼是指將接受的資訊，轉換為可以放入記憶的一種訊息。儲存是將已收錄的訊息保留在記憶中。提取是取得已儲存在記憶中的訊息。這些歷程介於感官收錄、短期記憶(暫時的工作記憶)與長期記憶，其中工作記憶是影響學習歷程的關鍵。

視覺和聽覺是共享認知資源的，視覺(文字、圖片)和語音分屬不同系統，由 Baddeley 的工作記憶模型，更可以詳細說明視覺和語音所屬的系統。Baddeley (1974, 2000, 2003)所提出的多元組成模型(multiple-component model)將認知系統分成：中央執行系統(central executive)、視覺空間模版(visuospatial

sketchpad)和語音迴路(phonological loop)和事件緩衝器(episodic buffer)。其中事件緩衝器，是 Baddeley 在 2000 年增加的。(以下摘錄自 Guan,2003)。

四者功能敘述如下：

1. 中央執行器(central executive，CE)：控制注意力，負責協調各子系統間的認知歷程，將有限的認知資源適當的分配。

2. 視覺空間模版(visuospatial sketchpad，VSSP)，負責維持和處理與視覺或空間相關的訊息，可以短暫保留視覺的影像。

3. 語音迴路(phonological loop，PL)：短暫的保留語文理解與聽覺複誦時的內在語言。

4. 事件緩衝器(episodic buffer)：事件緩衝器是一個有限容量的系統，能夠聯繫來自輔助系統及長期記憶的訊息，使其形成一個單一事件的表徵。即事件緩衝器整合來自工作記憶中不同部分(視覺空間模版、語音迴路)的訊息，讓訊息成為有意義。語音迴路和視覺空間模版系統均分別與長期記憶產生雙向連結。

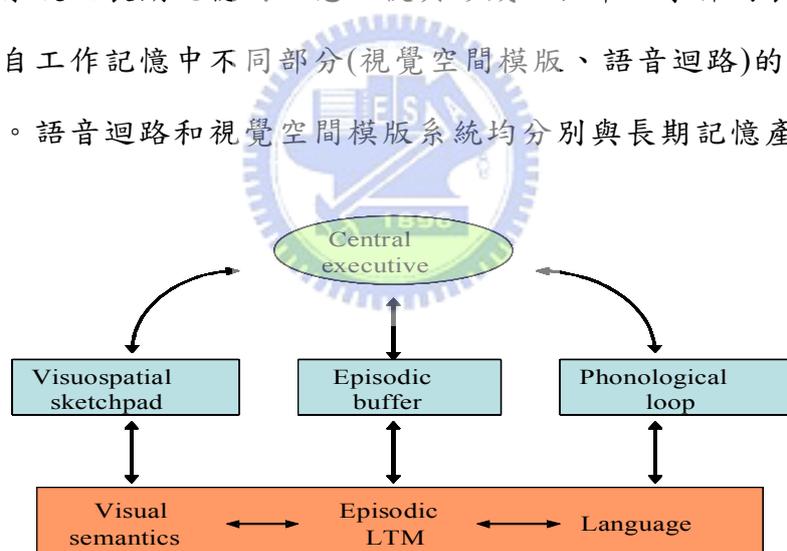


圖 2-2-3 工作記憶修正(Baddeley,2000；2003)

工作記憶理論被 Baddeley 提出時，即假設工作記憶的容量有限。Just 和 Carpenter (1992)提出「理解之容量理論」(A capacity theory of comprehension)，指出當作業要求過高時，理解訊息的過程中，工作記憶系統無法充分供給時，整個系統的運作將變遲鈍，導致表現變差，意味工作記憶容量的大小，直接影響訊息處理的量，訊息之間連結量的增加或訊息處理的自動化，都會使工作記憶容量變大。Lang 等人(2000)提出了容量有限論，主張在編

碼(Encoding)、儲存(Storage)、提取(Retrieval)這三個處理訊息的內在歷程中，心智運作會受到認知資源的限制。

由上述文獻可知，實徵研究顯示工作記憶與學習確實呈現顯著的關連。處理資訊系統的認知容量是有限的，並非無窮大，因此若將所有的學習內容全部都擠在同一時段中，可能導致學習者無法利用工作記憶處理所有的內容資訊，造成了高認知負荷，降低學習。

Sweller(1988)提出認知負荷理論(Cognitive Load Theory)，將認知負荷理論引進教學設計中，主要探討在媒體的組合方式，如何能有效的傳達資訊給學習者，進而提升學習效果。Sweller 認為認知負荷與短期記憶和工作記憶所能負荷的記憶單位數目有關，如果學習內容遠超過學習者的工作記憶，那麼學習者的理解力和學習能力將下降。Paas(1992)提出會產生學習者認知負荷的原因，是學習者在心智上所耗費的「努力」強度，努力愈多的，學習內容愈難理解的，認知負荷愈大。對於熟悉且已經融會貫通的課程，學習著的認知負荷量是低的。Marcus(1996)指出在教學過程中，學習者的先備經驗若能和新資訊整合，降低工作記憶的負荷則可以減低認知負荷，進而幫助學習效果。

Sweller 等人(1998)則以教材設計的觀點，將認知負荷的來源分為三類，intrinsic cognitive load、extraneous cognitive load 和 germane cognitive load，根據 Guan(2003)其意義敘述如下：

(一)intrinsic cognitive load：受資訊原本的複雜性或者是資訊元件(elements)間相關聯的程度而影響。

(二)extraneous cognitive load：資訊呈現方式的不同，所造成不同程度的負荷。

(三)germane cognitive load：當學習者建立基模時，所面臨的認知負荷。

Mayer (2001)認為學習者可從動畫搭配聲音表達文字中得到比動畫搭配視覺文字較佳的學習成果。視覺中的文字、圖片、動畫皆利用到工作記憶模式中的視覺圖像系統。當文字以聲音表達呈現，聲音表達文字是使用到聽覺語音系

統，而圖片、動畫則是使用到視覺圖像系統，當任務執行時，包括兩種系統(視覺與聽覺)，則兩種系統彼此可支援，進而降低認知負荷。Guan (2006)同樣發現動畫配上旁白相對於動畫加上文字在學習成效會有正面的影響。由於外在認知負荷主要為學習內容呈現方式的不同所造成。為了有效幫助學習者的學習。以下有三種效應是呈現電腦多媒體教材時需要考量的因素，分別介紹如下：

一、分散注意力效應(Split-attention effect)：分散注意力的發生原因是學習者需要將其注意力分開，來獲得不同呈現來源的資訊，並且多浪費工作記憶將不同來源的資訊整合起來。意味著，若圖形和文字未能整合會產生分散注意效應。

二、形式效應(modality effect)：資訊處理時可經由多重管道，而非單一模式。如將資訊藉由不同的感官刺激(視覺和聽覺)來接收，將可降低認知負荷。

三、重複效應(redundancy effect)：將相同的資訊內容，同時以不同的方式重複呈現時，如圖形和文字呈現過於浮濫時，則會產生重複效應，有礙學習。

### 第三節 概念改變理論和細胞擴散和滲透作用的教學研究

Lawson(1988)將概念定義為「概念=心智模式+語詞」，並強調教師無法將心智模式傳授給學習者，教師只能教導語詞，學習者必須由活動中親身經驗才能學習得到心智模式，教師藉由教導語詞意義的機會，使學習者能連結心智模式及語詞，而獲得概念。假若學習者的另有概念，進行了概念改變，則對某科學(如細胞擴散和滲透作用)的心智模式也會被修正，因此心智表徵將會趨向完整性。

由許多文獻研究，可看出無論是否學過細胞擴散和滲透作用課程的學習者對於細胞擴散和滲透作用仍然存有相當多的另有概念有很多研究指出，學習者在擴散、滲透的概念，大學生與高中以下學習者都有著另有概念(Friedler,

Amir & Tamir, 1985, 1987; West brook & Marek, 1991; Marek, Cowan & Cavallo, 1994; Odom & Barrow, 1995; Zuckerman, J. T. 1998; Sanger, M.J., Brecheisen, D. M., & Hynek, B. M, 2001; Odom & Kelly, 2001; Chi 2005)如 Friedler(1985)的研究發現，學生認為擴散是溶質的移動，滲透就是溶劑的移動；曾千虹和耿正屏 (1993)的研究發現，學生認為細胞內的物質往外移動的現象稱為擴散作用，細胞外的物質往內移動的現象稱為滲透作用。

概念並不是單純從教師的口述便能促進學習者進行概念改變。可是概念為何不容易改變，Posner 等人(Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Strike & Posner, 1985，引用科學學習心理學)，提出了四個必備條件，說明學習者有想要改變概念的要件：

- 一、學習者要不滿於他自己已具有的概念。
- 二、學習者對於新概念必須要有初步的瞭解。
- 三、新概念必須是有點合理的。
- 四、新概念必須是解釋得通而且有預測力。

以建構主義者的角度，學習者在學習概念的過程，知識和概念是主觀建立的，學習不是儲存零碎知識的過程，而是學習者將已經存在的概念為基礎去主動建構自己認為對的知識的過程。學習概念的來源：感官的印象、日常用語、大腦內部構造、學生在社會環境中的學習和教學。這五種概念的來源，敘述如下(引用科學學習心理學)：

- (一)感官印象：為接觸自然現象的日常生活經驗都會有感觀的印象。
- (二)日常用語：如「太陽昇起來了」說明了太陽在天空中的行徑，而非當代科學家觀點之地球對太陽運轉。
- (三)大腦內部構造：Preece(1984)認為學習者的概念形成，可能是大腦內部構造的啟動(triggered)，此觀點主張大腦的構造是因為人類日常生活的需要，而在演化過程中發展出來的。
- (四)學生在社會環境中學習：如在日常生活與朋友、父母、其他人的交談

中，學習者拾取了零星的科學知識和另有概念。

(五)教學：教學常引起新的「另有概念」或支持學生舊有的概念架構。

「另有概念」可能是由於老師(或教科書)提供的錯誤資訊，或是教師對於本來正確的資訊，做了錯誤說明的引起。

從以上五點，不難發現，學習者很容易學到另有概念而且不容易丟棄。許多研究者也對於概念難改變，提出了幾個觀點。本研究整理了幾位研究者的論點，包括：Carey (1986)研究發現學習者將生活中類似經驗做為「範例」，將新的概念類比包含進原有的概念架構中，因而使得概念不易轉移，其中弱形式的重建較容易改變，強形式的重建較難改變；Chi (1994)以本體論的觀點將概念分為物質(substance)、過程(processes)和心智狀態(mental states)三個類別的本體樹，而學習者之概念難改變，是因為學習者原有的想法事件基模與學習的基模彼此不相容，其中類別內的概念轉變較為容易發生，類別間的概念改變則困難；Thagard (1992)將概念改變由容易到困難分為九個階層，分別是：增加新例子、增加弱規則、增加強規則、增加新的從屬關係、增加新類別的關係、增加新概念、瓦解從屬關係的階層、分枝跳躍重組階層性和樹的遷移。指出學習者對概念的增加或刪減是比較容易的，而將原有的類別關係或從屬關係重新組織是很困難的。

另外，關於概念改變教學的研究。余曉清(She, 2002, 2003, 2004ab)試著以概念本身的階層性與複雜度來詮釋概念改變的可能性，並依此理論設計出『雙重情境學習模式(Dual situated learning model, DSLM)』運用在學生的概念改變實徵性研究(如：浮力、大氣壓力、熱的傳導與對流)，均獲得很好的成效。余曉清(She, 2002, 2003, 2004ab)發展出的雙重情境學習模式協助教學者進行概念改變教學。DSLM 強調概念改變的成功與否必須植於科學概念的屬性與階層性與學習者對於科學概念本質的信念。其次，DSLM 學習事件的設計強調不僅需要造成學習者另有概念的不平衡，同時提供學習者所欠缺的心智架構，進而修正舊有架構或重新建構新的概念。其概念改變過程還強調要引發學習者重新

建構概念的動機與挑戰其原有科學概念之信念(She, 2002, 2003, 2004 ab)。

DSLMM 由六個階段所組成，簡單說明如下：

階段一：分析科學概念屬性。它能提供建構此科學概念所需的心智架構。

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念。此階段需要瞭解學習者所存有的先備概念以及學習者對於此概念的理解。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。藉由第一階段和第二階段的資料比較分析，可以找出學習者對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，來作為設計一連串的 DSLMM 情境學習事件的依據。

階段四：設計雙重情境學習事件。此階段運用的原理是先設計一連串衝突情境事件讓學習者的另有概念無法解決問題，產生不平衡、不滿足的認知狀態。接著找出學習者可能提出的想法解答，設計讓學習者能親自體驗、操作、思考驗證其答案正確性的學習情境，試著將學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構較接近科學概念的概念輪廓。

階段五：進行雙重情境學習模式的教學。每一情境事件皆以問題引導（依據學習者常見的另有概念所設計）揭開序幕，再藉由設計好的活動事件，讓學習者能親自體驗、操作、思考驗證其答案的正確性，試著將學習者所缺少的心智架構導入，慢慢讓學習者建構較接近科學概念的概念輪廓。為了解學習者在教學活動中概念改變的過程，一次只出現一個問題，且同樣的問題在事件開始與結束都會提問一次，學生不得更改先前的紀錄。也可以用晤談法，讓學習者『出聲的思考』以了解學習者概念改變的過程。

階段六：挑戰情境學習事件。這個階段可以檢驗學習者是否真的在教學過程中獲得原來缺少的心智架構，能運用新的科學概念來解決類似的情境學習事件。

本研究所呈現的概念改變之教學內容設計是參考余曉清(She, 2002, 2003, 2004) 雙重情境學習模式的觀點(第一到第三階段)及 Chinn & Brewer(1993)認為經由較深層的學習內容有助於概念改變的過程的看法，因此設計出巨觀和微觀強連結的連續模式，期望能促進學習者概念改變。最後以細胞擴散和滲透作用二階層診斷測驗的後測來瞭解學習者的概念改變情形。

蘇育任和陳廣智(2003)研究中發現在物質的粒子性組成、巨觀物質及組成物質的微觀粒子間之關係、物質的相變化以及生活周遭存在的微小粒子等主題，國小學習者所具有的概念及迷思概念類型相當多樣，如下：1.對物質的粒子性組成之概念而言，學習者傾向於使用感官知覺來觀察物體，然後加以解釋，而獲得對物體的初步概念。例如對於外觀具有粒子性和不具有粒子性的固體物質之組成，表現出巨觀連續型概念的學習者比率由 0 增加到 26.7%。此外，在固、液、氣三態的物體中，表現出微觀粒子型概念的學習者比率以液體的組成最低(20%)，顯示國小階段的學習者對於液體由粒子組成的概念其理解程度不如對固體與氣體之概念。2.對於巨觀物質及物質的微觀粒子間的關係，雖然具有微觀粒子型概念的學習者能表現出粒子堆積的想法，卻不明白巨觀物質及組成物質的微觀粒子間之關係，以致於試圖利用物質的巨觀性質來解釋其微觀性質，甚至有時無法區分巨觀性質與微觀粒子性質所適用的情境，因而增加另有概念發生的機率。3.對物質的相變化(包括擴散、溶解等現象)等所謂「過程」概念缺乏認識，由於國小自然科課程對這些主題的學習多偏重於巨觀現象的觀察與描述，學習者表現的概念明顯較前兩項減少，甚至對於「液體 - 液體」以及「液體 - 氣體」的擴散現象，高達 80% 的學習者均屬於巨觀連續型概念，即使是具有微觀粒子型概念的學生也無法正確以粒子概念描述這些現象，顯示這些「過程」類別的概念較「物質」類別的概念更難讓學生理解。4.學習者對「生活周遭存在微小粒子」此一主題，表現的概念顯示他們能經由教學以外的管道，如閱讀課外書籍等來獲得資訊。學習者雖曾聽過相關名詞或概念，卻不能正確地加以理解。本研究的對象為桃竹地區的大學生，大學生的粒子觀念，是否有比小學生更加清楚和完整，也是有待探究的。

在學習生物的專業知識上，教學者往往有著對「講述法」的另有概念，過份強調講述法，認為教學者只要教過(講過)學習者就馬上能學到的假設。

Stepans (1991) 提到學習者持有另有概念的可能來源有六方面：(1)教師缺乏對於學習者的另有概念察覺及興趣；(2)日常生活的語言和隱喻；(3)「只要教就馬上會學到」的假設；(4)「話語用字就可以代表是否理解」的假設；(5)教科書呈現的概念；(6)過分強調講述法。本研究之巨觀和微觀強連結的連續模式，強調眼見為憑的巨觀情境與微觀情境之連結，可以降低「只要教就馬上會學到」的假設，和過分強調講述法的另有概念來源。學習者的概念改變會因為兩種情境的證據，加上巨觀和微觀的強連結的連續模式(連續指的是不斷反覆的呈現巨觀和微觀的模式)，進而促進了概念的改變。

虎克(Robert Hooke)在 1665 年以自製顯微鏡觀察木栓薄片，並將所看到的小室稱為細胞(cell)。後來在 1838~1839 年，Mathias Schteiden 和 Theodore Schwann，提出所有生物都是細胞所組成，從此之後，人類開始進一步的研究細胞並進行各種細胞相關的研究實驗。一直持續到目前，細胞的研究仍是眾多研究者感到興趣的，未來相信在眾多研究者的努力下，對於細胞的瞭解會有更進一步的發現。而擴散和滲透作用是瞭解細胞的生理基礎。因此透過細胞的擴散和滲透作用的瞭解，有助於瞭解細胞的基本生理功能，對於學習生物相關知識是重要和基礎的。

Christianson 和 Fisher(1999)說明了擴散和滲透作用被研究的三個重要理由。第一：擴散和滲透作用是特別重要的過程來瞭解生物系統的功能；第二：擴散和滲透作用是個難教的單元，學習者很難瞭解擴散和滲透作用，其中必須包括瞭解溶質、溶劑、半滲透性、分子運動、淨運動和移動方向的概念；第三：容易搞混科學用法和日常用語，如壓力、濃度和數量。而學習者可能傾向目的論解釋擴散和滲透作用。Friedler, Amir 和 Tamir(1985)發現很多高中學生認為滲透作用是為了平衡兩邊的濃度差，當滲透作用平衡時兩邊溶液的濃度是相同的，即不再產生滲透作用的另有概念。Friedler 等人(1987)對高中學生進行「滲透作用概念發展」研究，歸納結果：1.學習者常將滲透解釋為「一種朝平衡濃度的驅力」；2.不清楚「水分子濃度」的概念；3.不清楚「水分子保持

移動的動態平衡」；4.不清楚滲透現象在植物生理中的關係；5.不清楚溶液、溶劑、濃度及數量的關係。Odom 和 Kelly(2001) 發現高中生不瞭解滲透是「水分子透過一層半透膜的擴散」之概念。曾千虹(1991)對國中、國小及高中學生所作的研究中，顯示學習者具有「細胞外的物質往內移動的現象，稱為滲透；而細胞內的物質往外移動的現象稱為擴散」的另有概念。謝祥宏、耿正屏和湯清二(1996)對高中學生所作的研究中提到學生在細胞生理所具有的另有概念：1.擴散現象到達分子均勻時，分子不再碰撞；2.物質顆粒由濃度高到濃度低移動，是分子擁擠需要更多空間，因此向低濃度區域移動，直到達到平衡才停止移動；3.分子由密度大向密度小的一方移動；4.細胞內的物質往外移動的現象，稱為擴散。5.水分子為了達到平衡，進行有目的的滲透；6.不同量的水比不同濃度的水更能產生滲透；7.半透膜兩邊的濃度相等，才會達到滲透平衡；8.達滲透平衡時，水分子停止穿過半透膜；9.以滲透平衡的觀點判斷，以水分子和葡萄糖分子滲透之有無，去判斷滲透壓之有無。Chi (2005) 說明學習者對擴散現象的另有概念來自於巨觀層次與微觀層次的誤解，在巨觀層次擴散現象是有方向的，液體濃度與液體的流動是有因果關係的，由濃度高至濃度低；但在微觀層次而言，每一個分子都是相同的，分子持續的朝隨機方向運動。Odom 和 Barrow(1995)歸納出美國大學生擴散和滲透作用的另有概念，包括：物質從高濃度往低濃度就不再移動；10%的鹽水對 15%的鹽水是高張容液，因為水從高濃度往低濃度的區域移動；殺死的植物細胞就不再發生擴散和滲透作用；植物細胞放在 25%食鹽水中，植物細胞的液泡會縮小等。Odom 和 Barrow(1995)提到 22 個關於擴散和滲透作用的命題知識，在學習細胞擴散和滲透作用的課程是需要被學習者瞭解的知識。本研究將此 22 個命題知識，視為重要課程依據，其內容敘述，如表 2-3-1。

表 2-3-1 擴散和滲透作用的命題知識表

- 1.所有粒子都是持續運動。(All particles are in constant motion.)
- 2.擴散是牽涉到粒子的運動。(Diffusion involves the movement of particles.)
- 3.擴散是微粒子任意的行動和(或)碰撞(離子或分子)。(Diffusion results from the random motion and/or collisions of particles(ions or molecules.)
- 4.擴散的粒子靜移動是依濃度梯度的結果。(Diffusion is the net movement of particles as a result of a concentration gradient. )
- 5.濃度是粒子在每單位體積的數量。(Concentration is the number of particles per unit volume.)
- 6.濃度梯度是物質在不同空間的濃度差異。(Concentration gradient is a difference in concentration of a substance a space.)
- 7.擴散的粒子靜移動,是從高濃度往低濃度。(Diffusion is the net movement of particles from an area of high concentration to one of low concentration.)
- 8.物質溶解時 擴散會持續進行 直到一致性的分布。(Diffusion continues until the particles become uniformly distributed in the medium in which they are dissolved. )
- 9.擴散速率會隨溫度增加。(Diffusion rate increases as temperature increases.)
- 10.溫度增加 粒子碰撞和運動增加。(Temperature increases motion and/or particle collisions.)
- 11.擴散速率是隨濃度梯度增加。(Diffusion rate increases as the concentration gradient increases.)
- 12.增加濃度會增加粒子碰撞。(Increased concentration increases particle collisions.)
- 13.擴散發生在活的生物系統和非生物系統。(Diffusion occurs in living and nonliving systems.)
- 14.滲透作用是水擴散橫跨一個半滲透的膜。(Osmosis is the diffusion of water across a semipermeable membrane.)
- 15.滲透強度(張性：等張、低張、高張)指的是粒子的相對濃度在半透膜的另一邊。(Tonicity refers to the relative concentration of particles on either side of a semipermeable membrane.)
- 16.低張溶液是比較少的溶解粒子相對於膜的另一邊。( A hypotonic solution has fewer dissolved particles relative to the other side of the membrane.)
- 17.高張溶液是比較多的溶解粒子相對於膜的另一邊。( A hypertonic solution has more dissolved particles relative to the other side of the membrane.)
- 18.等張溶液是溶解粒子的數目分佈在兩邊膜是一樣的。(An isotonic solution has an equal number of dissolved particles on both sides of the membrane. )
- 19.滲透作用是水(溶劑)的靜移動，從低張溶液經半透膜到高張溶液。(Osmosis is the net movement of water (solvent))across a semipermeable membrane from a

---

hypotonic solution to a hypertonic solution. )

20.滲透作用發生在活的生物系統和非生物系統。(Osmosis occurs in living and nonliving systems.)

21.半透膜是選擇性的，只允許某些粒子通過。(A semipermeable membrane is a membrane that selectively allows the movement of some substance across the membrane while blocking the movement of others.)

22.細胞膜是半透膜。(Cell membranes are semipermeable.)

---

Odom 和 Barrow(1995)研究發現大學生在細胞擴散作用和滲透作用有另有概念，其研究對象與本研究的對象皆是大學學生，因此為本研究的主要課程內容參考。本研究內容以心智表徵為基礎，網路多媒體動畫為學習媒介，期許學習者透過網路多媒體動畫課程的學習，會有較低的外在認知負荷，並配合巨觀和微觀強連結的連續模式來促進學習者概念改變。

#### 第四節 心智表徵的內涵

##### 一、心智表徵的本質

表徵的本質可經由不同形式的轉換，例如：圖像、模式、句子、和心智狀態等。「表徵」為心理層面重新呈現某事物時，此時此刻會有什麼樣的概念出現在大腦的想法中，來代表某事物，通常不會是很精確的。表徵可代表一個象徵性；一件事情狀態句；一張圖表；一個代表場景的圖片等等(McKendree, et al., 2002)。「表徵」可以解釋大腦中的想法基礎，可以幫助學習者將大腦中的想法概念化，協助學習者獲得概念，可以是圖片、模型、文句、心智狀態，會讓概念更清楚和具體(Perner, 1991)。由此可知個體對事物的表徵的方式與心理狀態有密切的關聯，同一事物之於不同的個體會有不同的表徵，即便同一個體也會在不同的心理狀態下對同一事物形成不相同的表徵。McKendree 等人(2002)也指出表徵是個體的一種思考工具，個體能藉由不同的表徵模式來認知這個世界。Fodor(1998) 指出心智表徵的內容是來自於其組成概念的內容。

## 二、心智表徵與心智模式的關係

心智模式的概念最早是由 Kenneth Craik (1943)提出(引自 Johnson-Laird, 1983). Perner (1991)提出模式是可以由不同的表徵形式表達出來，在模式中的每一個元素，將表徵出所有可以或不能對應元素上的模式解釋(interpretation of the model)。例如模擬的戰場，模擬的戰場能告知真實戰場上可能發生的一些訊息。模型與心智模式能提供表徵在不同心智狀態的功能，模型有提供訊息的功能，可幫助學習者轉換為內在心智表徵，而心智模式是透過個體認知過程(內在心智表徵的組合)用以表徵外在世界真實或是假設性情況(hypothetical situations)的產物這些認知過程都在一些心智狀態下被建構的。

## 三、心智表徵與心智模式的差異

外界提供的模式與心智表徵是有不同的，最大的差異在於外在心智表徵通常是個體心智的運作後的產物，這也就是說個體形成內在心智表徵不一定會提供解釋，如果提供解釋會形成心智模式，而要以表達性的模式傳達出去，也會參雜一個重要的因素來引導方向，即所謂的心智狀態。表徵的能力是一種以個人有意義的方式建立和轉換訊息的流暢能力，即個體可以藉由表徵的過程讓思考精練以及外顯。個體的表徵系統所提供的基本功能包括了：評價的功能、記憶的功能以及動機和情緒的功能(Paivio, 1986)。而外在表徵是指以語言、文字、符號、圖片、具體物、活動或實際情境等形式存在的表徵。外在表徵不是書面符號就是圖示符號。內在表徵是指存在於個人心或腦中而他人無法直接觀察的心智表徵，通常它可與心像(image)一詞交互使用。而人類透過外在表徵表達出其內在的心智表徵。透過內在表徵，個體可以進行想像、構思、推理等思考活動。因此研究者在學習者對命題的判斷以及解題的應用歸類為學習者對概念的外在表徵，而將心像的形成及知識的轉換、連結等則歸類於學習者對概念的內在表徵向度。

在學習網路多媒體動畫的細胞擴散和滲透作用課程中，學習者的認知負荷

只是過程，教學的目的是輔助學習者改變心智表徵。表徵的本質可經由不同形式的轉換例如：圖像、模式、句子、和心智狀態等。表徵就是與人分享某物的意義。表徵不只是因為外界給的訊息，還需要非意圖的在心智運作和解釋(Perner, 1991)。Vosniadou 和 Brewer (1994)提到的個人對象現象的 mental model 即他們的概念知識。若想要瞭解學習者的心智表徵，可要求學習者將此時此刻腦海中的影像或圖形(即心智影像)畫出，並進行說明和解釋。這是目前最清楚的一種方法來瞭解學習者的心智表徵。Krajcik(1989)曾要求九年級學生想像有一個放大鏡可以看到燒瓶中的空氣。他做的訪談研究，可以幫助瞭解學生的心智表徵。敘述如下(引自科學學習心理學,1996)：

第一個例證可說明蒸汽模型：

訪談者：如果妳可以看到燒瓶中的空氣，畫出你想可能看到的東西。

學生 1：(學生畫出他的模型並說明)如同空氣四處漂浮。

訪談者：只是空氣，只是四處漂浮？

學生 1：對。

訪談者：你畫了一些連續的線，這些連續的線代表什麼？

學生 1：就是空氣。

第一個例證可說明雲霧模式：

訪談者：你可否解釋所畫的圖。。

學生 2：這是在燒瓶中所看到的空氣。

訪談者：那麼你覺得這像什麼？

學生 2：像一團彎彎曲曲的雲。

最後一個例證可說明粒子的模型：

訪談者：如果你看見燒瓶中的空氣，畫出其可能的樣子。

學生 3(學生畫出他的模型並說明)。這些粒子會上下移動。

從以上 Krajcik 的訪談記錄，能清楚幫助研究者瞭解學習者的心智表徵，進而可運用概念改變的教學策略，來幫助學習者丟棄或修正原有概念，並且獲

得正確的科學概念。

當學習者與學習內容進行互動時，其心智模型也隨之改變或重新建構，一般而言有兩種建構心智模型的方法：學習者可利用其相關的先備知識進行「由上而下」(top-down)的建構方式，對生手而言，由於缺乏相關先備知識，所以僅能採取「由下而上」(bottom-up)的方式將接收的知識做片斷的連接，因此學習新的內容依賴且受限於學習者目前的心智模型。在眾多心智表徵的研究中，She(2004)研究學生溶解和擴散的心智表徵，並以 DSLM 進行學生溶解和擴散的概念改變。研究結果大概有 76% ~90% 的學生獲得正確的科學概念，表示 DSLM 的教學策略，是能夠有效促進學生的概念改變。而本研究採取巨觀和微觀強連結的連續模式，採取了 DSLM 的觀點(第一到第三階段)，期許能對學習者也有有效的概念改變。

綜合以上文獻的研究論點，本研究將藉由網路多媒體動畫的細胞擴散和滲透作用課程教學，來了解大學生建構「細胞擴散和滲透作用」的心智表徵完整性(藉由細胞擴散和滲透作用開放式問題測驗，包括：請受試者畫出腦海中此時此刻對某概念的影像或圖形)。本研究同時蒐集眼動資料，探討注意力和心智表徵完整性兩者之間是否有密切的關聯。

## 第三章 研究方法

本研究是以網路多媒體為學習媒介，在教學內容上則以巨觀和微觀強連結的連續模式進行概念教學。針對學習者的學習成效、概念改變及視覺注意力資源分配進行探究。本章將針對研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計及資料的蒐集與分析等分別敘述與說明。

### 第一節 研究對象

本研究主要是以桃竹地區的大學生為對象，本研究將受試者分為三組：生物學科相關背景大學生人數共 25 人(N=25)，理工學科相關背景大學生人數共 25 人(N=25)，人文學科相關背景大學生人數共 24 人(N=24)，總共有 74 人。由於生物學科相關背景大學生所接受生物知識領域的訓練時間較久，而細胞擴散和滲透作用為生物領域學科的重要概念，所以本研究將理工學科背景和生物學科背景大學生分成兩組進行探討。所有受試者分別進行細胞擴散和滲透作用二階層測驗(前後測)、細胞擴散和滲透作用開放式問題(前後測)、工作記憶容量測驗以及接受網路多媒體課程，並運用眼動儀蒐集相關眼動資料。

### 第二節 研究設計

本研究採用準實驗設計法。本研究的自變項為不同學科背景的大學生(生物學科相關、理工學科相關和人文學科相關的大學生)和工作記憶容量。依變項為學習者的「細胞擴散和滲透作用二階層測驗」、「工作記憶容量測驗」、「細胞擴散和滲透作用開放式問題」和「眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料」。在概念建構的歷程分析方面，採用不同學科背景大學生在學習網路多媒體的教學課程後，對細胞擴散和滲透作用二階

層測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題之結果。以概念評分表評分受試者在細胞擴散和滲透作用開放式問題，並且交叉分析不同學科背景學習者的眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料，最後以眼球注意力資料和細胞擴散和滲透作用開放式問題的分析結果來探討受試者在細胞擴散和滲透作用的心智表徵完整性。研究架構如圖 3-2-1。



分析探討受試者前後測的細胞擴散和滲透作用二階層測驗	分析探討受測者前後測的細胞擴散和滲透作用開放式問題	分析探討受測者視覺注意力資源分配(眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料)	分析工作記憶容量與細胞擴散和滲透作用二階層測驗和開放式問題之間的關係
---------------------------	---------------------------	--	------------------------------------

圖 3-2-1 研究架構圖

### 第三節 研究流程

本研究流程分為三階段，依序為研究準備、測驗施測(包括：工作記憶容

量測驗、細胞擴散和滲透作用二階層測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題)、網路多媒體課程教學、資料分析和彙整等三階段。首先在確立研究目的與問題之後進入研究準備階段，工作項目有蒐集相關文獻及測驗工具並針對本研究之主題及對象進行修正，設計出適合本研究之研究工具並進行教學前測驗。接著進入網路多媒體概念改變教學階段，這一階段最大的特色是以心智表徵為基礎，配合巨觀和微觀強連結的連續模式，設計細胞擴散和滲透作用課程之網路多媒體。最後的資料分析和彙整階段則是將研究期間所蒐集到的所有資料進行彙整分析與結論報告。研究流程如圖 3-3-1。

流程階段	工作細項
研究準備	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 蒐集相關文獻及可供使用具有信效度之相關測驗。</li> <li>2. 研究工具設計。</li> <li>3. 規劃網路多媒體課程。</li> </ol>
↓	
研究進行	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 教學設計。</li> <li>2. 教學前，進行工作記憶容量測驗和細胞擴散和滲透作用二階層前測測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題前測測驗。</li> <li>3. 網路多媒體教學，同時蒐集眼動儀資料。</li> <li>4. 課程教學後，請受試者完成細胞擴散和滲透作用二階層後測測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題的後測。</li> </ol>
↓	
資料分析	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 資料彙整和分析，包括「細胞擴散和滲透作用二階層測驗」、「細胞擴散和滲透作用開放式問題」、「工作記憶容量測驗」和「眼球注意力資料，包括：眼球凝視點次數 (number of fixations)、凝視時間(fixation duration)和視線軌跡(scanpath)的資料」。</li> <li>2. 結果討論和撰寫研究報告。</li> </ol>

圖 3-3-1 研究流程圖

#### 第四節 研究工具

本研究運用的工具，包括：細胞擴散和滲透作用二階層測驗、工作記憶容量測驗、細胞擴散和滲透作用開放式問答題、眼動儀及網路多媒體之細胞擴散

和滲透作用課程等。

### 一、細胞擴散和滲透作用二階層測驗

本研究測驗是依據 Odom 和 Barrow (1995)發展效化的擴散與滲透作用診斷測驗編制(根據大學生物課程編製，用於測試大學生擴散與滲透作用的認知概念)。Odom 和 Barrow (1995)診斷測驗的折半信度為.74，難度為 0.23~0.95，鑑別度為 0.21~0.65。本研究的細胞擴散和滲透作用二階層測驗題，共有 20 題，每一題由兩題組成，每題的第一題為答案選擇，每題的第二題為第一題的理由或原因，唯有兩題都答對者，才得到該題的分數。本研究之細胞擴散和滲透作用二階層測驗的折半信度為.75。本研究之二階層測驗，詳見附錄一。

### 二、細胞擴散和滲透作用開放式問題

為了深入探討學習者學習細胞擴散和滲透作用過程中，概念的建構與心智表徵建構的完整性，本研究設計六個開放式問題，分別於教學前後施測，總分 28 分。在評分過程為了避免研究者的主觀因素，由一位自然科學教育專長的研究生協同評分，以建立評分者信度(inter-rater reliability)，本評分表之評分者信度為.90，表示研究者與另一位評分者所評定的成績有很高的一致性，並經由一位科學教育專家檢驗，以取得專家效度。開放式問題之細胞擴散和滲透作用概念類別評分表，詳見附錄二。

### 三、工作記憶容量測驗

本研究根據本研究室開發的認知短期記憶測驗和視覺短期記憶測驗兩種工具，來測試學習者的工作記憶容量(工作記憶容量測驗的施測時間點是在接受網路多媒體學習課程前進行)。受試者以電腦網路方式，分別進行兩種工具測試。認知短期記憶測驗其信度為.757；視覺短期記憶測驗其信度為.768。

認知短期記憶測驗的測驗題，如以下例子（題目會越來越難，即句子越來越多句，每一個句子或問題，則以一個畫面呈現，以此類推）：請閱讀以下句子，第一個句子：巴西擁有世界最大的雨林（由第一個畫面呈現）；第二個句子：人生有三分之一的時間與床為伍（由第二個畫面呈現）。請回答下列問題，並點選正確答案（由第三個畫面呈現），第一個問題：阿根廷擁有世界最大的雨林，「對」或「錯」（由第四個畫面呈現）；第二個問題：請由下方選出以上二個句子中各出現的最後一個字  伍  生  林  西（由第五個畫面呈現）。

視覺短期記憶測驗的測驗方式，是比較分別出現的兩個畫面中的圖案是否一樣（題目會越來越難，即圖案出現的個數會越來越多），最後由另一個畫面呈現：「請問剛剛的圖案相同或是不相同，點選你的答案。」

#### 四、眼動儀

本研究的眼動儀為 Binocular Eye Tracking，可以貼近自然狀態的心智量測技術，監控眼球運動，能知道視覺注意力何在和隨時間改變的認知歷程。整個系統裝置，如圖 3-4-1、圖 3-4-2 與圖 3-4-3。

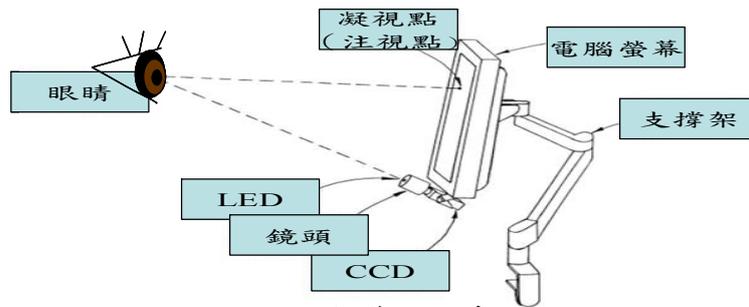


圖 3-4-1 眼動儀監控系統



圖 3-4-2 眼動儀現場情境側面

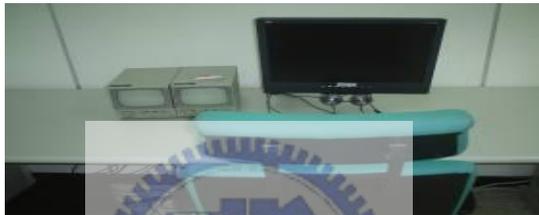


圖 3-4-3 眼動儀現場情境正面

本研究進行前會告知受試者本實驗為非侵入性實驗，使其心情上可放輕鬆。研究進行時，會先調整受測者座椅和頭部的位置，使得受測者能以舒適的姿態進行學習。受試者眼睛至電腦螢幕的觀看距離保持一定，大約維持 60 cm 左右，會因為受試者的不同進行微調。本研究的眼動儀系統之取樣率為 60Hz，每 1 秒取樣 60 次，眼球運動位移量可經由座標軟體進行換算對應於螢幕的座標。資料分析上，以 NYAN 軟體進行眼動資料的擷取與分析。本研究主要探討學習者在網路多媒體學習課程的頁面上，眼球凝視點的次數、眼球路徑和眼球凝視時間，並且綜合分析其佔全畫面的比重分配。

##### 五、網路多媒體之細胞擴散和滲透作用課程

本研究之網路多媒體之細胞擴散和滲透作用課程，其巨觀和微觀強連結的連續模式，敘述如下：巨觀和微觀強連結的連續模式的重大特色是概念改變教

學設計必須建立在科學概念本質與學習者另有概念之本體架構的分析之上，而此概念改變的過程必須挑戰學習者的科學知識之本體觀信念(ontological beliefs)，以理解學生究竟缺乏哪些心智結構因而無法建立完整的概念。其次，本研究模式另一個重點是設計真實情境(巨觀)和微觀情境(微觀)。真實情境為科學實驗的實際拍攝；微觀的情境是以電腦多媒體進行動畫設計，兩種情境的連續呈現能誘發學習者的學習動機、興趣、好奇心與促進科學概念的信念。

本研究之網路多媒體細胞擴散和滲透作用的課程內容，將學習者常有的另有(迷思)概念和 Odom 和 Barrow (1995)提到 22 個命題知識關於擴散和滲透作用需要瞭解的知識，以巨觀和微觀情境呈現。

## 第五節 資料蒐集與分析

本研究期間所蒐集的資料，包括；細胞擴散和滲透作用二階層測驗、工作記憶容量測驗、細胞擴散和滲透作用開放式問題(包括：請學習者畫出腦海中此時此刻對某概念的影像或圖形)和眼動資料，包括：眼動路徑、注意點和停留時間等。

當測驗結束後，開始進行資料的整理與分析，有關於測驗和量表的數據資料分析主要是以 SPSS 12.0 套裝軟體進行統計分析本研究期間所蒐集的資料，有細胞擴散和滲透作用概念二階段式測驗、工作記憶容量測驗、眼動路徑、注意點和停留時間等。細胞擴散和滲透作用開放式問題(包括：請學習者畫出腦海中此時此刻對某概念的影像或圖形)將以概念評分表方式給分，並且探討教學前後的結果。

一、細胞擴散和滲透作用的二階層測驗：比較工作記憶容量和不同背景的大學生在細胞擴散和滲透作用的二階層測驗的分數，包括前後測驗的分數。並比較

不同背景大學生的眼球注意力資料：眼球凝視點次數、凝視時間和視線軌跡的資料等與心智表徵之間的關聯強度和二階層前後測間的關係。

二、細胞擴散和滲透作用開放式問題：此部份要求受試者寫出對該概念的認識，並且畫出腦海中此時此刻對該概念的影像或圖形，開放式問題是以概念評分表給分，以瞭解大學生對細胞擴散和滲透作用的心智表徵完整性，並且探討教學前後開放式問題作答的結果與眼動追蹤資料之間的關係。

三、工作記憶容量：本研究將所有受試者，進行線上工作記憶容量測驗，包括：認知短期記憶測驗、視覺短期記憶測驗，將三種工作記憶測驗結果與二階層測驗(前、後測)和開放式問題(前、後測)進行相關分析。

四、眼球追蹤資料：主要是將眼球追蹤資料在細胞擴散和滲透作用教學動畫課程部分，分成動畫區和文字區以及關鍵區來分析資料，並且與細胞擴散和滲透作用二階層測驗和細胞擴散和滲透作用開放式問題進行分析，進而探討不同學科背景大學生其眼球追蹤資料與細胞擴散和滲透作用心智表徵完整性之間的關係。

## 第四章 研究結果與討論

本章主要依據文獻探討與細胞擴散和滲透作用之二階層測驗、細胞擴散和滲透作用開放式問題之概念評分表與眼球追蹤記錄資料所收集之研究結果，藉以了解不同學科背景之大學生的細胞擴散與滲透作用概念的理解與眼球追蹤資料間的關聯性。

### 第一節 不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用概念及 概念改變成效分析

#### 一、細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前測之比較

本研究以細胞擴散和滲透作用之二階層測驗，針對 74 位大學生進行施測，總分 20 分，成績得分越高表示對細胞擴散和滲透作用概念越完整；成績得分越低表示對細胞擴散和滲透作用概念越不清楚。

#### (一)不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前測之成績得分情形

本研究以 74 位同學科背景大學生為樣本，其中 25 位學科背景是生物相關，25 位學科背景是理工相關，24 位學科背景是人文社會相關。成績得分如表 4-1-9 所示，生物相關學科背景學生最低分 9，最高分 20，平均數為 14.32，標準差為 3.15，理工相關學科背景學生最低分 11，最高分 19，平均數為 16.04，標準差為 2.30，人文社會學科背景學生最低分 3，最高分 18，平均數為 11.92，標準差為 3.40。人文社會相關學科背景與生物和理工相關學科背景大學生的比較，相對平均數的分數是比較低的。如表 4-1-1。

表 4-1-1 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前測敘述性統計表

學科背景	人數	最低分	最高分	平均數	標準差
生物相關	25	9	20	14.32	3.15
理工相關	25	11	19	16.04	2.30
人文社會	24	3	18	11.92	3.40

(二)不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前測單因子變異數分析摘要

表 4-1-2 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用二階層測驗前測單因子變異數分析摘要表

變異來源	df	SS	MS	F	Post Hoc
組間(學科背景)	2	209.672	104.836	11.810***	人文 < 生物(學科背景)( p=.023)
組內(誤差)	71	630.233	8.877		人文 < 理工(學科背景)( p=.000)
總和	74	15597.000			

註：\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

綜合表 4-1-1 與表 4-1-2 得知，生物與理工相關學科背景大學生前測成績得分無顯著差異，不過生物與人文或理工與人文學科背景大學生在細胞擴散和滲透作用二階層測驗前測成績得分達顯著差異，生物和理工相關學科背景大學生的細胞擴散和滲透作用概念明顯優於人文相關學科背景的大學生。

## 二、細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前後測之敘述性統計分析

本研究以 74 位大學生為樣本，其中 25 位學科背景是生物相關，25 位學科背景是理工相關，24 位學科背景是人文相關。細胞擴散和滲透概念二階層前後測成績得分情形比較，如 4-1-3 所示。可以看出不論是生物相關、理工相關或人文相關學科背景的大學生，各組前後測之成對樣本 T 檢定都達到顯著效果，其二階層後測成績的平均數也均明顯優於二階層前測成績的平均數。

表 4-1-3 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前後測敘述性統計與成對樣本 T 檢定摘要表

學科背景	二階層前測		二階層後測		平均差 (後-前)	t
	mean	SD	mean	SD		
生物相關	14.32	3.15	16.80	2.48	2.48	4.829***
理工相關	16.04	2.30	17.52	1.50	1.48	4.265***
人文相關	11.92	3.40	15.83	3.14	3.92	7.468***

註：\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ ，\*\*\* $p < 0.001$

### 三、細胞擴散和滲透作用之二階層測驗前後測之推論性統計分析

本研究以一般線性模式之單因子共變數分析(One-Way ANCOVA)，並檢驗其變異數的同質性，來檢定教學後不同學科背景畢業大學生在細胞擴散和滲透作用概念成績得分是否有差異。依變數為「二階層測驗後測總分」、固定因子為「學科背景」、共變數為「二階層測驗前測總分」，其結果如表 4-1-15 所示，不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之共變數分析( $F=3.370$ ， $P=.692$ )未達顯著差異，顯示動畫教學後，生物、理工與人文相關科系大學生的細胞擴散和滲透作用概念已無顯著的差異。如表 4-1-4。

表 4-1-4 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用概念二階層測驗成績得分與變異數分析摘要表

來源	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	Effect size
校正後模式	3	72.365	20.467	.000	.467
前測總分	1	182.074	51.496	.000	.424
學科背景	2	1.308	.370	.692	.010

綜合表 4-1-3 與表 4-1-4 得知，不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用概念在動畫教學後，二階層測驗成績無顯著差異。其中生物和理工相關科系大學生的細胞擴散和滲透作用概念略優於人文相關科系大學生，動畫教學前、後大學生的細胞擴散和滲透作用概念有顯著差異，且教學後成績得分顯著優於教學前，顯示本研究動畫教學有助於細胞擴散和滲透作用概念的建立。

#### 四、細胞擴散和滲透作用開放式問題前測之比較

本研究以細胞擴散和滲透作用開放式問題，來針對 74 位大學生進行施測，再以細胞擴散和滲透作用概念評分表進行評分，共六大題，每個概念類別配分 1 分，總分 28 分，總成績得分越高表示對細胞擴散和滲透作用概念越完整；成績得分越低表示對細胞擴散和滲透作用概念越不清楚。

##### (一)不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測之成績得分情形

本研究以 74 位不同學科背景大學生為樣本，其中 25 位學科背景是生物相關，25 位學科背景是理工相關，24 位學科背景是人文社會相關。成績得分如表 4-1-1 所示，生物相關學科背景學生最低分 3，最高分 22，平均數為 15.28，標準差為 4.77，理工相關學科背景學生最低分 3，最高分 24，平均數為 16.16，標準差為 5.25，人文社會學科背景學生最低分 1，最高分 19，平均數為 9.08，標準差為 4.97。可以看出生物相關學科背景學生前測成績之平均數較理工相關學科背景和人文社會相關學科背景學生高。

表 4-1-5 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測敘述性統計表

學科背景	人數	最低分	最高分	平均數	標準差
生物相關	25	3	22	15.28	4.77
理工相關	25	3	24	16.16	5.25
人文社會	24	1	19	9.08	4.97

(二)不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測單因子變異數分析摘要表

表 4-1-6 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前測單因子變異數分析摘要表

變異來源	df	SS	MS	F	Post Hoc
組間(學科背景)	2	723.929	361.964	14.469***	人文 < 生物(學科背景)(p=.000)
組內(誤差)	71	1776.233	25.107		人文 < 理工(學科背景)(p=.000)
總和	74	16122.000			

註：\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ ，\*\*\* $p < 0.001$

綜合表 4-1-5 與表 4-1-6 得知，生物與理工相關學科背景大學生前測成績得分無顯著差異，不過生物與人文或理工與人文學科背景大學生在細胞擴散和滲透作用開放式問題前測成績得分達顯著差異，生物和理工相關學科背景大學生的細胞擴散和滲透作用概念明顯優於人文相關學科背景的大學生。

(三)不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題大綱前測成績得分情形

各題的成績得分情形如表 4-1-7 所示，前測各題的成績得分平均數都是生物相關學科大學生高於人文相關學科大學生。其中人文相關學科大學生，可能對細胞擴散和滲透作用和相關問題擁有較多的另有概念。

表 4-1-7 不同學科背景大學生開放式問題前後測成績得分摘要表

題號	學科背景	前測平均數	前測標準差	後測平均數	後測標準差
1	生物相關	2.16	.473	2.44	.651
	理工相關	2.12	.726	2.52	.823
	人文相關	1.42	.881	1.96	.806
2	生物相關	1.64	1.221	2.56	.821
	理工相關	1.56	1.193	2.52	1.005
	人文相關	.46	.833	1.50	.978
3	生物相關	3.04	1.060	3.48	.872
	理工相關	3.12	1.236	3.56	1.121
	人文相關	1.88	1.154	2.46	1.062
4	生物相關	2.20	1.756	3.60	1.041
	理工相關	2.16	1.650	3.40	1.155
	人文相關	1.25	1.539	2.79	1.141
5	生物相關	2.08	1.256	3.04	.790
	理工相關	2.28	.843	3.12	.600
	人文相關	.92	1.018	2.46	1.179
6	生物相關	4.16	2.173	5.60	1.258
	理工相關	4.92	2.120	5.88	1.764
	人文相關	3.17	1.857	4.50	1.694

## 五、細胞擴散和滲透作用開放式問題前後測之敘述性統計分析

細胞擴散和滲透概念開放式問題前後測成績得分情形比較，如表 4-1-8 所示。可以看出不論是生物相關、理工相關或人文相關學科背景的大學生，其開放式問題後測成績的平均數均明顯優於開放式前測成績的平均數，各組前後測之成對樣本 T 檢定也都達到顯著效果。

表 4-1-8 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用開放式問題前後測敘述性統計與成對樣本 T 檢定摘要表

學科背景	開放式問題前測		開放式問題後測		平均差 (後-前)	t
	mean	SD	mean	SD		
生物相關	15.28	4.77	20.80	3.43	5.52	7.856***
理工相關	16.16	5.25	21.08	4.14	4.92	6.537***
人文相關	9.08	4.97	15.67	5.01	6.59	5.490***

註：\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ ，\*\*\* $p < 0.001$

## 六、細胞擴散和滲透作用開放式問題前後測之推論性統計分析

本研究以一般線性模式之單因子共變數分析(One-Way ANCOVA)，並檢驗其變異數的同質性，來檢定教學後不同學科背景大學生在細胞擴散和滲透作用概念成績得分是否有差異。依變數為「開放式問題後測總分」、固定因子為「學科背景」、共變數為「開放式問題前測總分」，其結果如表 4-2-3 所示，不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用之共變數分析( $F=2.135$ ， $P=.126$ )未達顯著差異，顯示動畫教學後，生物、理工與人文相關科系大學生的細胞擴散和滲透作用概念已無顯著的差異。如表 4-1-9。

表 4-1-9 不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用概念開放式問題成績得分與變異數分析摘要表

來源	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	Effect size
校正後模式	3	273.385	21.194	.000	.476
前測總分	1	368.235	28.547	.000	.290
學科背景	2	29.581	2.293	.108	.061

綜合表 4-1-8 與表 4-1-9 得知，不同學科背景大學生之細胞擴散和滲透作用概念在動畫教學後，開放式問題成績無顯著差異。其中生物和理工相關科系大學生的細胞擴散和滲透作用概念略優於人文相關科系大學生，動畫教學前、後大學生的細胞擴散和滲透作用概念有顯著差異，且教學後成績得分顯著優於教學前，顯示本研究動畫教學有助於細胞擴散和滲透作用概念的建立。

## 七、小結

從本節研究可得知，生物與理工相關學科背景的大學生在細胞擴散和滲透作用開放式問題前測和二階層測驗前測成績得分上都無顯著差異。生物對人文或理工對人文相關學科背景的大學生，在細胞擴散和滲透作用開放式問題前測和二階層測驗前測成績得分上都達顯著差異，表示生物或理工相關學科背景的大學生相對於人文相關學科背景的大學生，對細胞擴散和滲透作用有較完整和較正確的概念。不過經過學習後，生物、理工和人文相關學科背景的大學生在細胞擴散和滲透作用開放式問題後測和二階層測驗後測成績得分上都無顯著差異，表示生物、理工和人文相關學科背景的大學生經過學習後，在細胞擴散和滲透作用都有較完整和較正確的概念。

## 第二節 不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」教學動畫一和動畫二之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析

本節主要探討 74 位不同學科背景之學生，在觀看「細胞擴散作用」教學動畫一時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡。主要探討不同學科背景之大學生在觀看教學動畫時眼球凝視點次數、凝視點時間、文字與動畫區凝視時間的百分比、凝視動畫與文字的平均時間值與視線軌跡有何差異與不同學科背景之大學生在觀看教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡與細胞擴散作用概念建構有何關係。本研究將每各動畫分成文字區和動畫區及關鍵區，文字區和動畫區的眼動資料蒐集，主要是想以科學數據來證明不同學科背景學習的偏好。另外，關鍵區主要為科學概念的關鍵文字或動畫，關鍵區呈現的是某概念的核心意義，本研究認為受試者若在關鍵區凝視時間較長，概念上獲得可能較容易。

## 一、眼球追蹤資料動畫與文字區之範圍與統計資料

「細胞擴散作用」動畫一的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-2-1；關鍵區範圍，則如圖 4-2-2。「細胞擴散作用」動畫二的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-2-3；關鍵區範圍，則如圖 4-2-4。

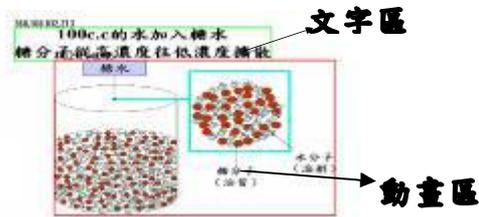


圖 4-2-1 「細胞擴散作用」動畫一的  
的動畫與文字區範圍

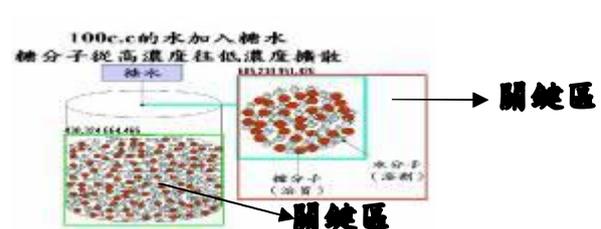


圖 4-2-2 「細胞擴散作用」動畫一的  
關鍵區範圍

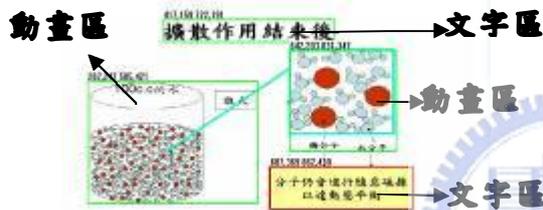


圖 4-2-3 「細胞擴散作用」動畫二  
的動畫與文字區範圍

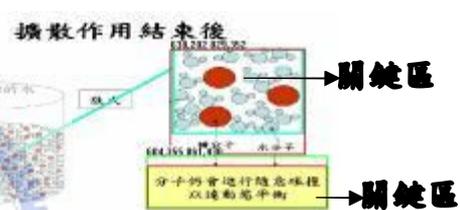


圖 4-2-4 「細胞擴散作用」動畫二  
關鍵區範圍

## 二、不同學科背景大學生眼球追蹤資料之敘述性統計與變異數分析

由表 4-2-1 可發現，在「文字區的凝視點次數、凝視時間與凝視時間百分比」及「關鍵區凝視點次數」項目，生物相關學科背景大學生的平均數都大於理工和人文相關學科背景大學生；而在「動畫區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」、「文字區凝視點平均時間」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目，理工相關背景大學生的平均數大於生物和人文相關學科背景大學生；而在「動畫區凝視時間百分比」項目，人文相關背景大學生的平均數大於生物和理工相關學科背景大學生。由關鍵區凝視點平均時間顯示，理工和生物相關學科背景大學生花較多的時間注視關鍵區。

進行 F 考驗的結果，有「文字區的凝視點次數、凝視時間與凝視時間百分比」、「動畫區的凝視點平均時間與凝視時間百分比」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目的 Effect size 值達低度效果。表示不同學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫一與動畫二之和的眼球追蹤資料中，其「文字區的凝視點次數、凝視時間與凝視時間百分比」、「動畫區的凝視點平均時間與凝視時間百分比」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目達低度差異。



表 4-2-1 「細胞擴散作用」 動畫一與動畫二之和的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	F	P	partial eta square
動畫區凝視 點次數	生物相關	25	14.80	8.12	.061	.941	.002
	理工相關	25	14.92	7.30			
	人文相關	24	14.21	7.32			
動畫區凝視 時間	生物相關	25	2212.72	1264.81	.294	.746	.008
	理工相關	25	2366.48	1455.73			
	人文相關	24	2068.29	1364.60			
文字區凝視 點次數	生物相關	25	4.12	3.59	1.008	.370	.028(s)
	理工相關	25	3.64	3.97			
	人文相關	24	2.71	2.94			
文字區凝視 時間	生物相關	25	467.80	573.30	1.070	.348	.029(s)
	理工相關	25	414.92	411.26			
	人文相關	24	284.88	322.06			
動畫區凝視 時間百分比	生物相關	25	.83	.17	.434	.650	.012(s)
	理工相關	25	.84	.16			
	人文相關	24	.87	.12			
文字區凝視 時間百分比	生物相關	25	.17	.17	.434	.650	.012(s)
	理工相關	25	.16	.16			
	人文相關	24	.13	.12			
動畫區凝視 點平均時間	生物相關	25	157.20	63.74	.822	.444	.023(s)
	理工相關	25	160.59	82.49			
	人文相關	24	137.44	54.24			
文字區凝視 點平均時間	生物相關	25	96.66	42.88	.315	.731	.009
	理工相關	25	100.94	66.66			
	人文相關	24	88.48	55.07			
凝視總時間	生物相關	25	2680.52	1347.06	.597	.553	.017(s)
	理工相關	25	2781.40	1446.90			
	人文相關	24	2353.17	1495.81			
關鍵區凝視 點次數	生物相關	25	13.04	8.01	.208	.813	.006
	理工相關	25	12.20	6.87			
	人文相關	24	11.71	7.02			
關鍵區凝視 時間	生物相關	25	1819.48	1301.29	.461	.633	.013(s)
	理工相關	25	1952.64	1453.96			
	人文相關	24	1593.58	1190.56			

關鍵區凝視 點平均時間	生物相關	25	134.76	35.64	1.337	.269	.037(s)
	理工相關	25	159.98	114.87			
	人文相關	24	126.65	41.66			

註：1. \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

2. partial eta square 值中， $0.01 < \eta^2 < 0.0588$ , partial eta square =small(s);  $0.0589 < \eta^2 < 0.1379$ , partial eta square =medium(m);  $\eta^2 > 0.1380$ , partial eta square =large(l)

### 三、不同學科背景大學生之視線軌跡分析

#### (一)生物學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 A 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫一之視線軌跡，如圖 4-2-5。一位代號 B 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-2-6。選擇的依據為研究者以量化研究結果來找出該組典型學習者的視線軌跡。

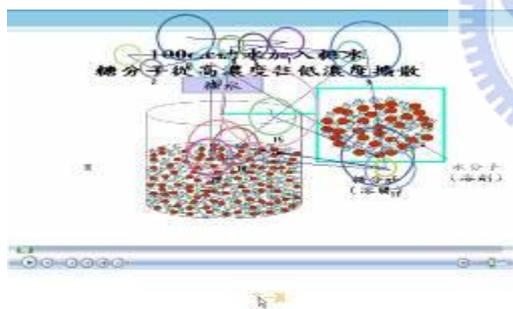


圖 4-2-5 生物學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖

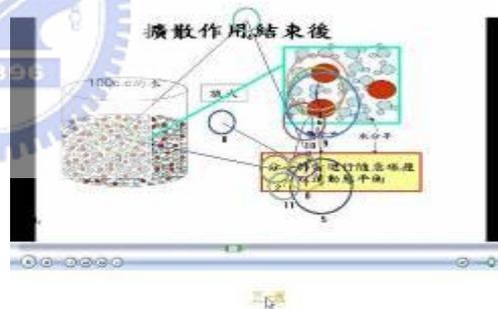


圖 4-2-6 生物學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖

由圖可以得知生物學科相關背景大學生在圖 4-2-5 的文字區和動畫區都有較多的凝視點次數；在圖 4-2-6 關鍵區中的文字部分和動畫部分都有較多的凝視點次數(圓圈越大表示停留時間越久)。

#### (二)理工學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 C 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫一之視線

軌跡，如圖 4-2-7。一位代號 D 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-2-8。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

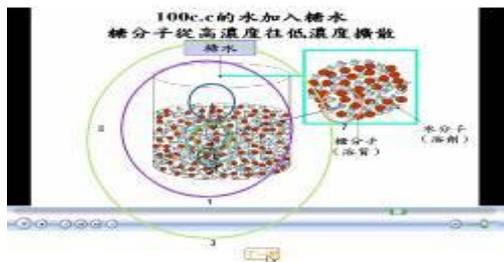


圖 4-2-7 理工學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖

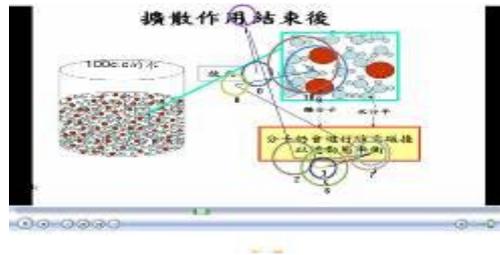


圖 4-2-8 理工學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖

由圖可以得知理工學科相關背景大學生，在圖 4-2-7 主要注意力在動畫區，動畫區平均凝視點時間(mean fixation duration)較長；在圖 4-2-8 關鍵區中的文字部分和動畫部分都有較多的凝視點次數(圓圈越大表示停留時間越久)。

### (三)人文學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 E 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫一之視線軌跡，如圖 4-2-9。一位代號 F 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-2-10。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

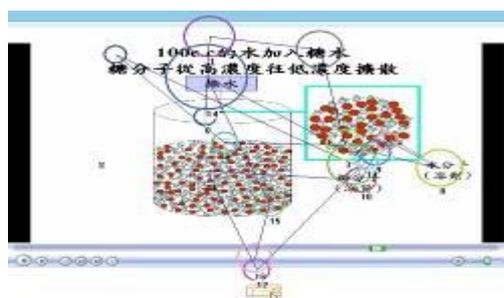


圖 4-2-9 人文學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫一的凝視路徑示意圖

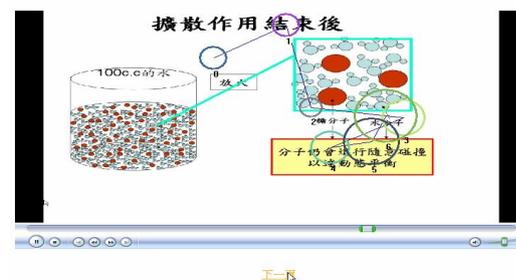


圖 4-2-10 人文學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫二的凝視路徑示意圖

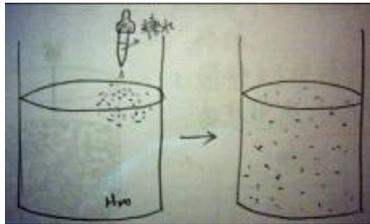
由圖可以得知人文學科相關背景大學生，在圖 4-2-9 在文字區有較多的凝視點次數；在圖 4-2-10 在關鍵區的文字部分有較多的凝視點次數（圓圈越大表示停留時間越久）。

由以上的視線軌跡可以發現，生物與理工相關背景大學生在觀看「細胞擴散作用」動畫一和動畫二的關鍵區凝視相似，與人文學科相關背景大學生的注意力分佈不同。

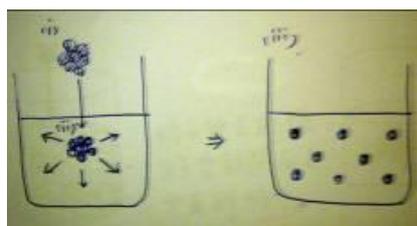
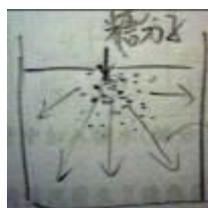
#### 四 不同學科背景大學生在細胞擴散作用之概念建構分析

「細胞擴散作用」動畫教學主要是讓學習者能具備有粒子的概念和分子從高濃度往低濃度擴散的概念。細胞擴散和滲透作用開放式問題的第 1 題「什麼是擴散作用？請舉例」第 3 題「請您預測一下，當滴入一滴糖水進入水後，接下來會有什麼樣的情況發生？請您解釋為什麼？並請畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？」主要探討學習者是否有粒子的概念，分子從高濃度往低濃度擴散的概念是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念建構分析，如表 4-2-2。

表 4-2-2 不同學科背景大學生是否有細胞擴散作用概念的概念建構分析表

概念類別	生物相關 學科背景		理工相關 學科背景		人文相關 學科背景	
	前測	後測	前測	後測	前測	後測
	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數
1、 什麼是擴散作用？請舉 例						
						
答：分子從高濃度區域移向低 濃度區域的現象。	.96	1.00	.92	1.00	.54	.79
答：擴散作用需要有濃度差異 (濃度梯度)方能進行。	.04	.20	.08	.24	.08	.17
答：空間中的高濃度分子經擴 散作用會均勻分佈	.16	.24	.20	.36	.08	.17
答：正確舉出例子	1.00	1.00	.92	.92	.71	.83
總分	2.16	2.44	2.12	2.52	1.38	1.92

3、請您預測一下，當滴入一滴糖水進入水後，接下來會有什麼樣的情況發生？請您解釋為什麼？並請畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？



答：糖分子進行擴散作用	.92	1.00	.96	.96	.75	.92
答：糖分子由高濃度往低濃度擴散，進行任意運動	.52	.68	.48	.68	.29	.38
答：最後整杯糖水溶液達均勻分佈	.56	.64	.64	.80	.29	.50
答：糖水溶液最後達動態平衡	.12	.16	.12	.16	.04	.04
答：正確畫出示意圖	.92	1.00	.92	.96	.50	.62
總分	3.04	3.48	3.12	3.56	1.88	2.46

由表 4-2-2 顯示，生物相關、理工相關和人文相關學科背景大學生在概念類別的平均分數皆有明顯增加，表示許多學習者在細胞擴散作用動畫教學後概念產生改變，所擁有科學概念的比例增加，另有概念的比例也相對減少。

在概念類別「什麼是擴散作用？請舉例」方面，生物學科背景大學生後測總分的平均是 2.44，理工學科背景大學生後測總分的平均是 2.52，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 1.92；在概念類別「請您預測一下，當滴入一滴糖水進入水後，接下來會有什麼樣的情況發生？請您解釋為什麼？並請畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形」方面，生物學科背景大學生後測總分的平均是 3.48，理工學科背景大學生後測總分的

平均是 3.56，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 2.46，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示生物：理工：人文=134.76：159.98：126.65。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的注視，因此獲得較多正確的科學概念。

當觀看「細胞擴散作用」動畫一與動畫二時，學習者的注意力分佈不同，科學概念成績也不同，顯示在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。研究顯示，不同受試者間視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間與概念獲得的平均分數，三者之間的關係能清楚顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

### 第三節 不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」教學動畫三和動畫四之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析

#### 一、眼球追蹤資料動畫與文字區之範圍與統計資料

「細胞擴散作用」動畫三的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-3-1；關鍵區範圍，則如圖 4-3-2。「細胞擴散作用」動畫四的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-3-3；關鍵區範圍，則如圖 4-3-4。

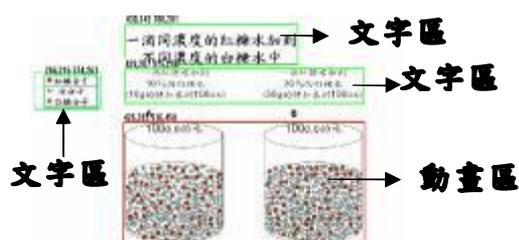


圖 4-3-1 「細胞擴散作用」動畫三的動畫與文字區範圍

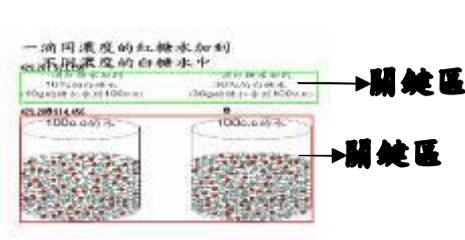


圖 4-3-2 「細胞擴散作用」動畫三的關鍵區範圍

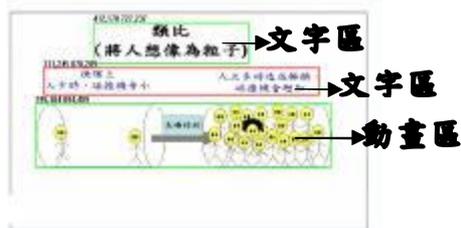


圖 4-3-3 「細胞擴散作用」動畫四的動畫與文字區範圍

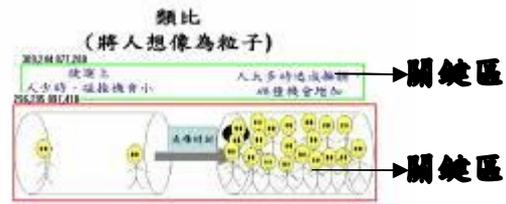


圖 4-3-4 「細胞擴散作用」動畫四的關鍵區範圍

## 二、不同學科背景大學生眼球追蹤資料之敘述性統計與變異數分析

### 分析

由表 4-3-1 可發現，在「文字區的凝視點次數、凝視時間、凝視時間百分比與凝視點平均時間」項目，生物相關學科背景大學生的平均數都大於理工和人文相關學科背景大學生；而在「動畫區的凝視點次數、凝視時間、凝視時間百分比與凝視點平均時間」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」項目，理工相關背景大學生的平均數大於生物和人文相關學科背景大學生。由關鍵區凝視點平均時間顯示，理工和生物相關學科背景大學生花較多的時間注視關鍵區。

進行 F 考驗的結果除了「動畫區凝視時間」及「文字區的凝視點次數與凝視時間」項目的 Effect size 值達中度顯著效果外，「動畫區的凝視點次數、凝視時間百分比與凝視點平均時間」、「文字區的凝視時間百分比與凝視點平均時間」、「凝視總時間」、「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目的 Effect size 值都達低度效果。表示不同學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫三與動畫四之和的眼球追蹤資料中，其「動畫區凝視時間」及「文字區的凝視點次數與凝視時間」項目達中度顯著差異；「動畫區的凝視點次數、凝視時間百分比與凝視點平均時間」、「文字區的凝視時間百分比與凝視點平均時間」、「凝視總時間」、「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目達低度差異。

表 4-3-1 「細胞擴散作用」 動畫三與動畫四之和的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	F	P	partial eta square
動畫區凝視 點次數	生物相關	25	12.28	9.23	1.373	.260	.037(s)
	理工相關	25	17.00	14.13			
	人文相關	24	12.50	9.97			
動畫區凝視 時間	生物相關	25	1787.24	1430.21	2.493	.090	.066(m)
	理工相關	25	2797.56	2840.25			
	人文相關	24	1627.54	1336.93			
文字區凝視 點次數	生物相關	25	8.44	7.93	2.533	.087	.067(m)
	理工相關	25	4.32	4.73			
	人文相關	24	5.67	6.74			
文字區凝視 時間	生物相關	25	974.16	1021.40	2.259	.112	.060(m)
	理工相關	25	449.64	492.68			
	人文相關	24	704.62	1004.33			
動畫區凝視 時間百分比	生物相關	25	.63	.32	1.362	.263	.037(s)
	理工相關	25	.78	.29			
	人文相關	24	.71	.35			
文字區凝視 時間百分比	生物相關	25	.37	.32	1.362	.263	.037(s)
	理工相關	25	.22	.29			
	人文相關	24	.29	.35			
動畫區凝視 點平均時間	生物相關	25	136.75	47.46	.713	.494	.020(s)
	理工相關	25	137.39	67.08			
	人文相關	24	120.88	46.58			
文字區凝視 點平均時間	生物相關	25	104.06	25.78	1.807	.172	.048(s)
	理工相關	25	81.52	58.48			
	人文相關	24	80.75	56.33			
凝視總時間	生物相關	25	2761.40	1686.65	1.124	.331	.031(s)
	理工相關	25	3247.20	2944.35			
	人文相關	24	2332.17	1449.39			
關鍵區凝視 點次數	生物相關	25	18.28	11.34	.343	.711	.010
	理工相關	25	19.32	11.69			
	人文相關	24	16.67	10.77			
關鍵區凝視 時間	生物相關	25	2535.52	1713.07	1.294	.281	.035(s)
	理工相關	25	3007.64	2502.64			
	人文相關	24	2120.37	1389.94			

關鍵區凝視 點平均時間	生物相關	25	135.31	28.06	1.167	.317	.032(s)
	理工相關	25	144.37	49.59			
	人文相關	24	128.05	30.81			

註：1. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

2. partial eta square 值中， $0.01 < \eta^2 < 0.0588$ , partial eta square =small(s);  $0.0589 < \eta^2 < 0.1379$ , partial eta square =medium(m);  $\eta^2 > 0.1380$ , partial eta square =large(l)

### 三、不同學科背景大學生之視線軌跡分析

#### (一)生物學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 G 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫三之視線軌跡，如圖 4-3-5。一位代號 H 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-3-6。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

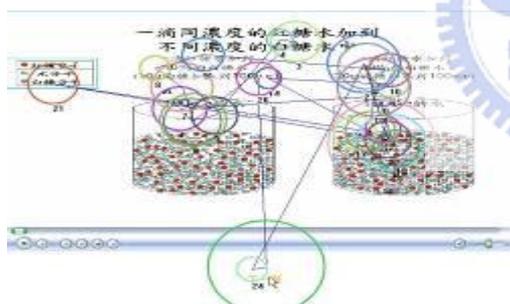


圖 4-3-5 生物學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫三的凝視路徑示意圖

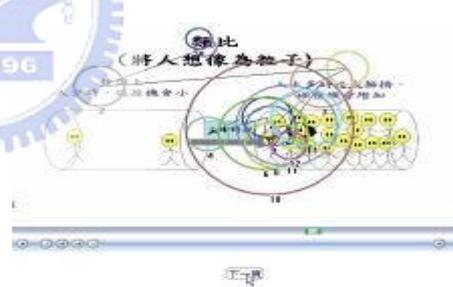


圖 4-3-6 生物學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知生物學科相關背景大學生在圖 4-3-5 的文字區和動畫區都有較多的凝視點次數，在關鍵區的文字部分也有較多的凝視點次數；在圖 4-3-6 的動畫區和文字區有較多的凝視點次數，動畫區平均凝視點時間較長(圓圈越大表示停留時間越久)。

#### (二)理工學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 I 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫三之視

線軌跡，如圖 4-3-7。一位代號 J 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-3-8。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

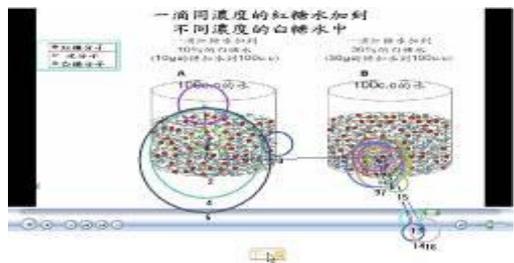


圖 4-3-7 理工學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫三的凝視路徑示意圖

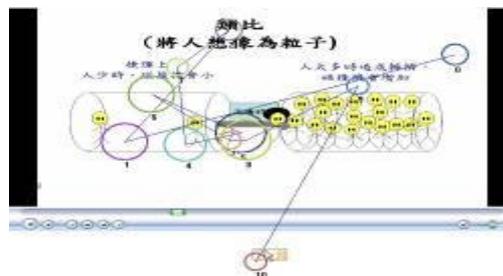


圖 4-3-8 理工學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知理工學科相關背景大學生在圖 4-3-7 的主要注意力在動畫區，動畫區平均凝視點時間較長；在圖 4-3-8 主要注意力在動畫區，注意力隨動畫移動而跟著移動(圓圈越大表示停留時間越久)。

### (三)人文學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 K 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫三之視線軌跡，如圖 4-3-9。一位代號 L 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-3-10。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

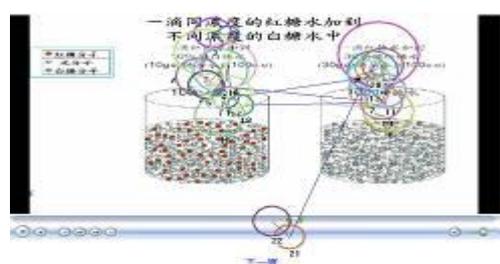


圖 4-3-9 人文學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫三的凝視路徑示意圖

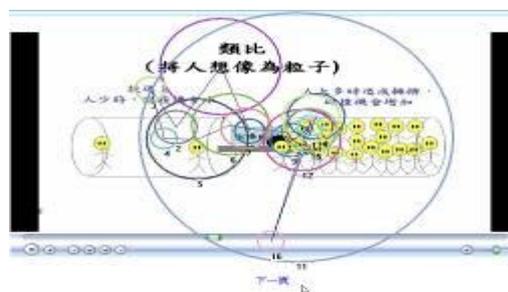


圖 4-3-10 人文學科背景大學生在「細胞擴散作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知人文學科相關背景大學生在圖 4-3-9 主要注意力在文字區和關鍵區的文字部分；在圖 4-3-10 主要注意力在文字區和動畫區，在關鍵區的

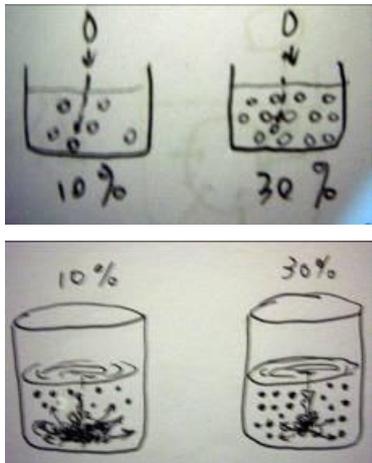
文字部分，也有較長的凝視時間，動畫區平均凝視點時間也較長(圓圈越大表示停留時間越久)。

由以上的視線軌跡可以發現，生物與理工相關背景大學生在觀看「細胞擴散作用」動畫三時，均會注視動畫區；而生物與人文相關背景大學生在觀看觀看「細胞擴散作用」動畫三時均會注視文字區。在這部分，理工與人文相關背景大學生在觀看觀看「細胞擴散作用」動畫三時的注意力分佈是不同的。另外從視線軌跡可以發現，生物、理工與人文相關背景大學生在觀看「細胞擴散作用」動畫四時的凝視區相似。

#### 四 不同學科背景大學生在細胞擴散作用之概念建構分析

「細胞擴散作用」動畫教學主要是讓學習者能具備有粒子的概念和分子從高濃度往低濃度擴散的概念。細胞擴散和滲透作用開放式問題的第4題「請您預測一下，分別將一滴同濃度糖水滴到10%糖水和30%糖水中，接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？比較兩者是否有不同，並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？」主要探討學習者是否有粒子的概念，分子從高濃度往低濃度擴散的概念是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念建構分析，如表4-3-2。

表 4-3-2 不同學科背景大學生是否有細胞擴散作用概念的概念建構分析表

概念類別	生物相關 學科背景		理工相關 學科背景		人文相關 學科背景	
	前測 平均 分數	後測 平均 分數	前測 平均 分數	後測 平均 分數	前測 平均 分數	後測 平均 分數
	<p>4、請您預測一下，分別將一滴同濃度糖水滴到 10% 糖水和 30% 糖水中，接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？比較兩者是否有不同，並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？</p> 					
答：糖分子進行擴散作用	.72	.96	.64	.88	.33	.75
答：同濃度糖水在 10% 糖水中擴散較快(同濃度糖水在 30% 糖水中擴散較慢)	.52	.88	.56	.88	.46	.96
答：由於 30% 濃度糖水，其糖分子數高於 10% 濃度糖水，因此糖分子擴散作用較難較緩慢	.44	.88	.36	.72	.21	.50
答：正確畫出示意圖	.52	.88	.60	.92	.25	.54
總分	2.20	3.60	2.16	3.40	1.25	2.79

由表 4-3-2 顯示，生物相關、理工相關和人文相關學科背景大學生在概念類別的人數平均分數皆有明顯增加，表示許多學習者在細胞擴散作用動畫教學

後概念產生改變，所擁有科學概念的比例增加，另有概念的比例也相對減少。

在概念類別「請您預測一下，分別將一滴同濃度糖水滴到 10% 糖水和 30% 糖水中，接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？比較兩者是否有不同，並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？」方面，生物學科背景大學生後測總分的平均是 3.60，理工學科背景大學生後測總分的平均是 3.40，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 2.79，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示生物：理工：人文=135.31：144.37：128.05。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的注視，因此獲得較多正確的科學概念。

當觀看「細胞擴散作用」動畫三與動畫四時，學習者的注意力分佈不同，科學概念成績也不同，顯示在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。研究顯示，不同受試者間視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間與概念獲得的平均分數，三者之間的關係能清楚顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

## 第四節 不同學科背景大學生觀看「細胞滲透作用」教學動

### 畫一、動畫二與動畫三之眼球追蹤資料、視線軌跡

#### 與概念建構分析

##### 一、眼球追蹤資料動畫與文字區之範圍與統計資料

「細胞滲透作用」動畫一、動畫二與動畫三的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-4-1。關鍵區範圍，則如圖 4-4-2。「細胞滲透作用」動畫二的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-4-3；關鍵區範圍，則如圖 4-4-4。「細胞滲透作用」動畫三的網路學習課程，其動畫與文字區計

算範圍，如圖 4-4-5；關鍵區範圍，則如圖 4-4-6。

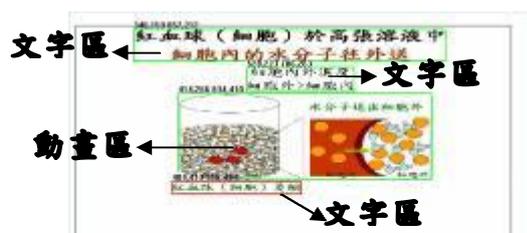


圖 4-4-1 「細胞滲透作用」動畫一的動畫與文字區範圍

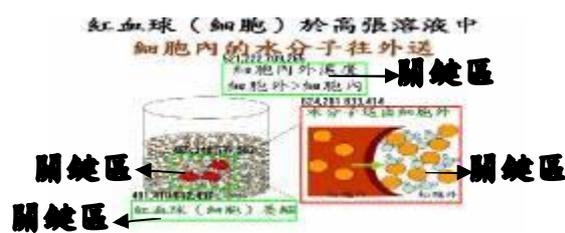


圖 4-4-2 「細胞滲透作用」動畫一的關鍵區範圍

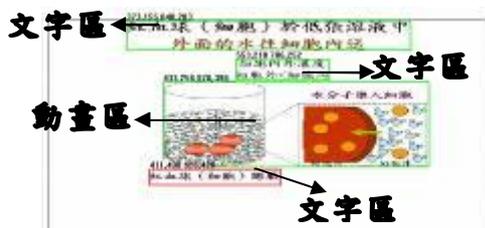


圖 4-4-3 「細胞滲透作用」動畫二的動畫與文字區範圍

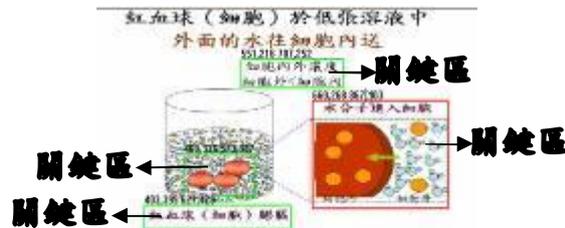


圖 4-4-4 「細胞滲透作用」動畫二的關鍵區範圍

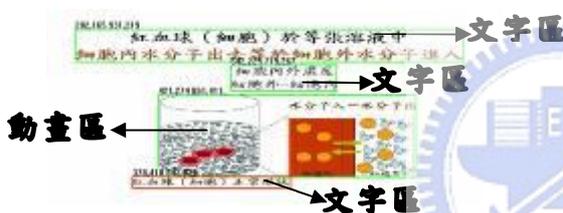


圖 4-4-5 「細胞滲透作用」動畫三的動畫與文字區範圍

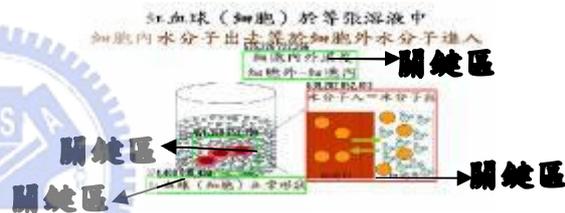


圖 4-4-6 「細胞滲透作用」動畫三的關鍵區範圍

## 二、不同學科背景大學生眼球追蹤資料之敘述性統計與變異數分析

表 4-4-1 可發現，在「文字區的凝視時間百分比與凝視點平均時間」項目，生物相關學科背景大學生的平均數都大於理工和人文相關學科背景大學生；而在「動畫區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」、「文字區凝視點次數與凝視時間」、「凝視總時間」、「關鍵區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」項目，理工相關背景大學生的平均數大於生物和人文相關學科背景大學生；「動畫區凝視時間百分比」項目，人文相關學科背景大學生的平均數都大於理工和生物相關學科背景大學生。由關鍵區凝視點平均時間顯

示，生物和理工相關學科背景大學生花較多的時間注視關鍵區。

進行 F 考驗的結果，發現「動畫區的凝視點次數與凝視時間」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視點次數與凝視時間」項目的 Effect size 值低度效果。表示不同學科背景大學生「細胞滲透作用」動畫一、動畫二與動畫三之和的眼球追蹤資料中，其「動畫區的凝視點次數與凝視時間」、「凝視總時間」及「關鍵區的凝視點次數與凝視時間」項目達低度差異。



表 4-4-1 「細胞滲透作用」 動畫一、動畫二與動畫三之和的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	F	P	partial eta square
動畫區凝視 點次數	生物相關	25	13.96	9.75	1.018	.367	.028(s)
	理工相關	25	18.20	13.10			
	人文相關	24	15.25	8.92			
動畫區凝視 時間	生物相關	25	1617.88	1224.45	1.305	.278	.035(s)
	理工相關	25	2251.60	2055.77			
	人文相關	24	1689.25	1057.75			
文字區凝視 點次數	生物相關	25	10.76	12.75	.000	1.000	.000
	理工相關	25	10.80	11.06			
	人文相關	24	10.75	11.69			
文字區凝視 時間	生物相關	25	1091.80	1350.43	.028	.973	.001
	理工相關	25	1168.20	1272.73			
	人文相關	24	1164.83	1246.61			
動畫區凝視 時間百分比	生物相關	25	.61	.25	.364	.696	.010
	理工相關	25	.66	.23			
	人文相關	24	.67	.20			
文字區凝視 時間百分比	生物相關	25	.39	.25	.364	.696	.010
	理工相關	25	.34	.23			
	人文相關	24	.33	.20			
動畫區凝視 點平均時間	生物相關	25	106.23	32.23	.190	.827	.005
	理工相關	25	111.29	27.70			
	人文相關	24	108.53	26.84			
文字區凝視 點平均時間	生物相關	25	98.54	16.06	.154	.857	.004
	理工相關	25	93.30	41.06			
	人文相關	24	95.50	37.96			
凝視總時間	生物相關	25	2709.68	2183.47	.563	.572	.016(s)
	理工相關	25	3419.80	3112.45			
	人文相關	24	2854.08	2039.03			
關鍵區凝視 點次數	生物相關	25	12.52	11.14	.922	.402	.025(s)
	理工相關	25	17.40	13.73			
	人文相關	24	12.83	9.96			
關鍵區凝視 時間	生物相關	25	1346.28	1209.28	.912	.407	.025(s)
	理工相關	25	1968.64	1823.51			
	人文相關	24	1465.46	1355.14			

關鍵區凝視 點平均時間	生物相關	25	104.87	30.78	.045	.956	.001
	理工相關	25	105.57	19.75			
	人文相關	24	104.43	38.60			

註：1. \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

2. partial eta square 值中， $0.01 < \eta^2 < 0.0588$ , partial eta square =small(s);  $0.0589 < \eta^2 < 0.1379$ , partial eta square =medium(m);  $\eta^2 > 0.1380$ , partial eta square =large(l)

### 三、不同學科背景大學生之視線軌跡分析

#### (一)生物學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 M 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫一之視線軌跡，如圖 4-4-7。一位代號 N 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-4-8。一位代號 O 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫三之視線軌跡，如圖 4-4-9。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

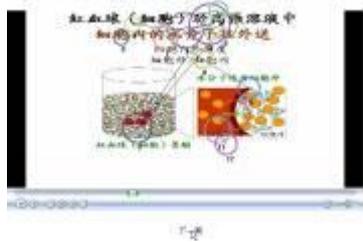


圖 4-4-7 生物學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫一的凝視路徑示意圖



圖 4-4-8 生物學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫二的凝視路徑示意圖

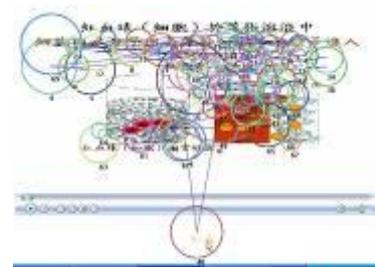


圖 4-4-9 生物學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫三的凝視路徑示意圖

由圖可以得知生物學科相關背景大學生在圖 4-4-7 的文字區和動畫區都有較多的凝視點次數，而且關鍵區的文字和動畫部分也都有較多的凝視點次數；

在圖 4-4-8 的文字區有較多的凝視點次數，而且在關鍵區的動畫部分和文字部分也都有較多的凝視點次數；在圖 4-4-9 的文字區和動畫區都有較多的凝視點次數，關鍵區文字和動畫部分凝視點次數明顯有比較多(圓圈越大表示停留時間越久)。

## (二)理工學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 P 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫一之視線軌跡，如圖 4-4-10。一位代號 Q 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-4-11。一位代號 R 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫三之視線軌跡，如圖 4-4-12。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

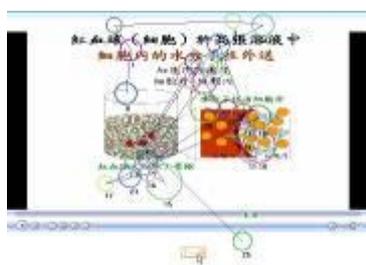


圖 4-4-10 理工學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫一的凝視路徑示意圖



圖 4-4-11 理工學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫二的凝視路徑示意圖

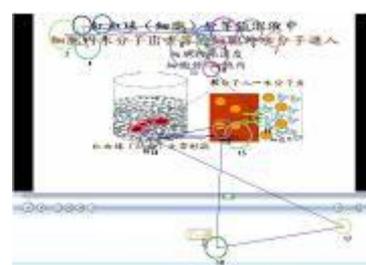


圖 4-4-12 理工學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫三的凝視路徑示意圖

由圖可以得知理工學科相關背景大學生在圖 4-4-10 的關鍵區的動畫部分和文字部分都有較多的凝視點次數；在圖 4-4-11 的關鍵區文字和動畫部分都有較多的凝視點次數；在圖 4-4-12 的關鍵區文字和動畫部分有較多的凝視點次數(圓圈越大表示停留時間越久)。

## (三)人文學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 S 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫一之視線軌跡，如圖 4-4-13。一位代號 T 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫二之視線軌跡，如圖 4-4-14。一位代號 U 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫三之視線軌跡，如圖 4-4-15。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

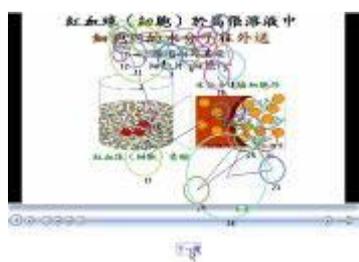


圖 4-4-13 人文學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫一的凝視路徑示意圖



圖 4-4-14 人文學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫二的凝視路徑示意圖



圖 4-4-15 人文學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫三的凝視路徑示意圖

由圖可以得知人文學科相關背景大學生在圖 4-4-13 的文字區和關鍵區的文字部分有較多的凝視點次數；在圖 4-4-14 的文字區和關鍵區的文字部分有較多的凝視點次數，文字區平均凝視點時間也較長；在圖 4-4-15 的文字區和關鍵區的文字部分有較多的凝視點次數，文字區平均凝視點時間也較長(圓圈越大表示停留時間越久)。

由以上的視線軌跡可以發現，生物與理工大學生在觀看「細胞滲透作用」動畫一、動畫二與動畫三時的凝視區相似，兩者的注意力分佈是相似的。

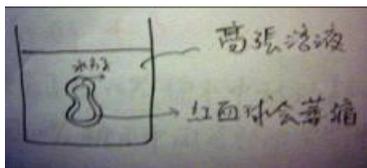
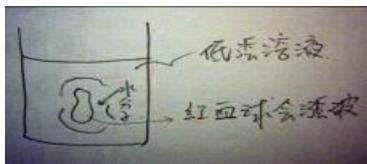
#### 四 不同學科背景大學生細胞滲透作用之概念建構分析

「細胞滲透作用」動畫教學主要是讓學習者能具備水的擴散稱為滲透作用的概念、滲透作用需要半透膜的概念和高張、低張、等張名詞的概念。細胞擴

散和滲透作用開放式問題的第 6 題「請您分別說明何謂低張溶液、高張溶液、等張溶液，並分別說明紅血球在這三種溶液下會發生什麼樣的情形？」主要探討學習者是否有滲透作用需要半透膜的概念和高張、低張、等張名詞的概念是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念建構分析，如表 4-4-2。



表 4-4-2 不同學科背景大學生是否有細胞滲透作用概念的概念建構分析表

概念類別	生物相關 學科背景		理工相關 學科背景		人文相關 學科背景	
	前測 平均 分數	後測 平均 分數	前測 平均 分數	後測 平均 分數	前測 平均 分數	後測 平均 分數
6、請您分別說明何謂低張溶液、高張溶液與等張溶液，並分別說明紅血球在這三種溶液下會發生什麼樣的情形？						
						
						
						
答：高張溶液的糖濃度是相對比較高的	.48	.72	.56	.80	.25	.42
答：低張溶液的糖濃度是相對比較低的	.48	.72	.56	.80	.25	.42
答：當兩者的糖濃度相當，水分子的擴散就會呈現動態平衡，兩方的濃度都不會改變，為等張溶液	.60	.80	.64	.80	.38	.54
答：紅血球在高張溶液中形狀會萎縮	.68	.96	.84	.92	.63	.92
答：紅血球在低張溶液中形狀會膨脹或漲破	.68	.96	.84	.92	.63	.92
答：紅血球在等張溶液中形狀維持不變	.96	1.00	1.00	1.00	.92	.92
答：正確畫出示意圖	.28	.44	.48	.64	.13	.38

總分	4.16	5.60	4.92	5.88	3.17	4.50
----	------	------	------	------	------	------

由表 4-4-2 顯示，生物相關、理工相關與人文相關學科背景大學生在每一個概念類別的平均分數皆有增加，其中大部分生物與理工相關學科背景的大學生，對於科學概念已經有較長時間的學習，因此在動畫教學前對水的擴散稱為滲透作用的概念、滲透作用需要半透膜的概念和高張、低張、等張名詞的概念等有較完整的心智表徵，所以生物與理工相關學科背景的大學生前測答對的平均分數，比人文相關學科背景的大學生來的高。生物相關、理工相關和人文相關學科背景大學生在概念類別的後測成績平均分數皆有明顯增加，表示許多學習者在細胞擴散作用動畫教學後概念產生改變，所擁有科學概念的比例增加，另有概念的比例也相對減少。

在概念類別「請您分別說明何謂低張溶液、高張溶液與等張溶液，並分別說明紅血球在這三種溶液下會發生什麼樣的情形」方面，生物學科背景大學生後測總分的平均是 5.60，理工學科背景大學生後測總分的平均是 5.88，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 4.50，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示生物：理工：人文 = 104.87：105.57：104.43。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的注視，因此獲得較多正確的科學概念。

當觀看「細胞滲透作用」動畫一、動畫二與動畫三時，學習者的注意力分佈不同，科學概念成績也不同，顯示在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。研究顯示，不同受試者間視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間與概念獲得的平均分數，三者之間的關係能清楚顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

## 第五節 不同學科背景大學生觀看「細胞滲透作用」教學動

### 畫四之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析

#### 一、眼球追蹤資料動畫與文字區之範圍與統計資料

「細胞滲透作用」動畫四的網路學習課程，其動畫與文字區計算範圍，如圖 4-5-1；關鍵區範圍，則如圖 4-5-2。

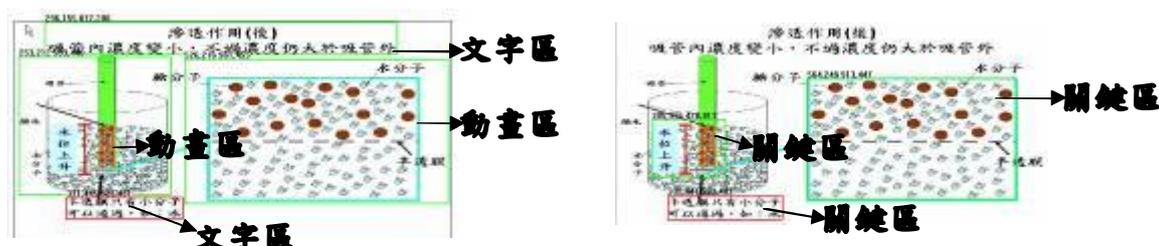


圖 4-5-1 「細胞滲透作用」動畫四的動畫與文字區範圍

圖 4-5-2 「細胞滲透作用」動畫四的關鍵區範圍

#### 二、不同學科背景大學生眼球追蹤資料之敘述性統計與變異數分析

表 4-5-1 可發現，在「動畫區的凝視點次數、凝視時間與凝視時間百分比」及「凝視總時間」項目，生物相關學科背景大學生的平均數都大於理工和人文相關學科背景大學生；而在「動畫區凝視點平均時間」及「關鍵區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」項目，理工相關背景大學生的平均數大於生物和人文相關學科背景大學生；「文字區的凝視點次數、凝視時間、凝視時間百分比與凝視點平均時間」項目，人文相關學科背景大學生的平均數都大於理工和生物相關學科背景大學生。由關鍵區凝視點平均時間顯示，理工和生物相關學科背景大學生花較多的時間注視關鍵區。

進行 F 考驗的結果除了「動畫區凝視時間百分比」及「文字區凝視時間百分比」項目的 P 值達顯著，而且 Effect size 值達中度效果外，「動畫區的凝

視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」、「文字區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」、「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目的 Effect size 值都達低度效果。表示不同學科背景大學生在細胞滲透作用動畫之五的眼球追蹤資料中，其「動畫區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」、「文字區的凝視點次數、凝視時間與凝視點平均時間」及「關鍵區的凝視時間與凝視點平均時間」項目達低度差異；「動畫區凝視時間百分比」與「文字區凝視時間百分比」項目達中度差異。



表 4-5-1 「細胞滲透作用」動畫四的眼球追蹤資料敘述性統計與變異數分析表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	F	P	partial eta square
動畫區凝視 點次數	生物相關	25	10.24	10.80	.789	.458	.022(s)
	理工相關	25	8.44	8.25			
	人文相關	24	7.20	5.52			
動畫區凝視 時間	生物相關	25	1125.56	1333.40	.606	.549	.017(s)
	理工相關	25	1122.56	1153.34			
	人文相關	24	820.75	747.74			
文字區凝視 點次數	生物相關	25	2.32	3.18	.977	.381	.027(s)
	理工相關	25	1.56	2.33			
	人文相關	24	2.54	2.11			
文字區凝視 時間	生物相關	25	249.88	353.98	.882	.418	.024(s)
	理工相關	25	166.24	252.34			
	人文相關	24	269.83	253.14			
動畫區凝視 時間百分比	生物相關	25	.85	.19	3.285*	.043	.085(m)
	理工相關	25	.79	.31			
	人文相關	24	.65	.32			
文字區凝視 時間百分比	生物相關	25	.15	.19	4.219*	.019	.106(m)
	理工相關	25	.13	.20			
	人文相關	24	.31	.29			
動畫區凝視 點平均時間	生物相關	25	104.70	22.55	1.428	2.47	.039(s)
	理工相關	25	119.05	76.79			
	人文相關	24	93.84	42.47			
文字區凝視 點平均時間	生物相關	25	60.57	60.83	1.678	1.94	.045(s)
	理工相關	25	54.14	61.48			
	人文相關	24	82.64	46.98			
凝視總時間	生物相關	25	1375.44	1615.16	.318	.729	.009
	理工相關	25	1288.80	1231.43			
	人文相關	24	1090.58	861.69			
關鍵區凝視 點次數	生物相關	25	5.68	6.39	.114	.892	.003
	理工相關	25	6.28	5.95			
	人文相關	24	5.54	4.80			
關鍵區凝視 時間	生物相關	25	596.00	623.65	.738	.482	.020(s)
	理工相關	25	829.40	716.00			
	人文相關	24	623.21	623.65			

關鍵區凝視 點平均時間	生物相關	25	96.72	34.42	1.385	.257	.038(s)
	理工相關	25	118.90	75.56			
	人文相關	24	96.21	46.28			

註：1. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

2. partial eta square 值中， $0.01 < \eta^2 < 0.0588$ , partial eta square =small(s);  
 $0.0589 < \eta^2 < 0.1379$ , partial eta square =medium(m);  $\eta^2 > 0.1380$ , partial eta square  
=large(l)

### 三、不同學科背景大學生之視線軌跡分析

#### (一)生物學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 V 的生物學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-5-3。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

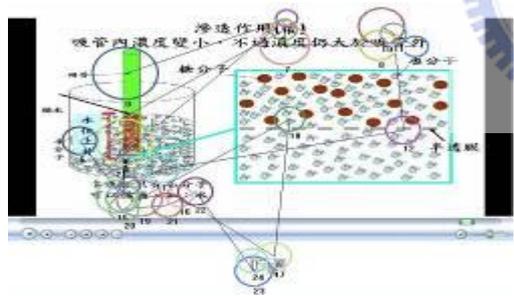


圖 4-5-3 生物學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知生物學科相關背景大學生在圖 4-5-3 的文字區和動畫區都有較多的凝視點次數，關鍵區的文字和動畫部分凝視點次數明顯有比較多(圓圈越大表示停留時間越久)。

#### (二)理工學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 W 的理工學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-5-4。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

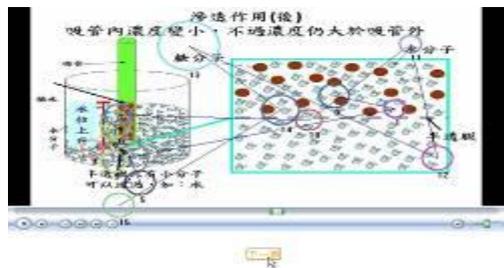


圖 4-5-4 理工學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知理工學科相關背景大學生在圖 4-5-4 的關鍵區文字和動畫部分都有較多的凝視點次數(圓圈越大表示停留時間越久)。

## (二)人文學科相關背景大學生之視線軌跡分析

一位代號 X 的人文學科相關背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫四之視線軌跡，如圖 4-5-5。選擇的依據為找該組大部分學習者有類似軌跡之典型學習者其視線軌跡。

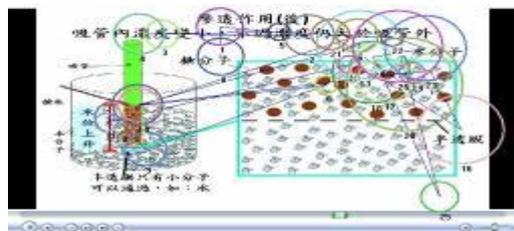


圖 4-5-5 人文學科背景大學生在「細胞滲透作用」動畫四的凝視路徑示意圖

由圖可以得知人文學科相關背景大學生在圖 4-5-5 的文字區和關鍵區的動畫部分有較多的凝視點次數(圓圈越大表示停留時間越久)。

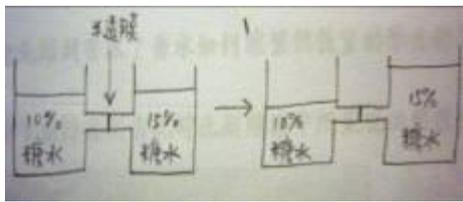
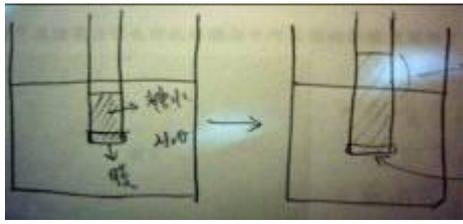
由以上的視線軌跡可以發現，生物與理工大學生在觀看「細胞滲透作用」動畫四時的凝視區相似，因此，兩者的注意力分佈是相似的。

#### 四 不同學科背景大學生細胞滲透作用之概念建構分析

「細胞滲透作用」動畫教學主要是讓學習者能具備水的擴散稱為滲透作用的概念、滲透作用需要半透膜的概念和高張、低張、等張名詞的概念。細胞擴散和滲透作用開放式問題的第 2 題「什麼是滲透作用？請舉例」第 5 題「請您預測一下，如果在吸管中加入糖水(糖分子為大粒子不能通過半透膜) 接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？」主要探討學習者是否有水的擴散稱為滲透作用的概念和滲透作用需要半透膜的概念是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念建構分析，如表 4-5-2。



表 4-5-2 不同學科背景大學生是否有細胞滲透作用概念的概念建構分析表

概念類別	生物相關 學科背景		理工相關 學科背景		人文相關 學科背景	
	前測	後測	前測	後測	前測	後測
	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數	平均 分數
2、什麼是滲透作用？請舉例						
						
答：水穿過選擇通透性膜進行擴散稱為滲透作用	.64	.88	.52	.92	.17	.50
答：水分子經由半透膜從低濃度溶液往高濃度溶液擴散	.40	.56	.28	.56	.08	.21
答：滲透作用經過半透膜擴散是擴散作用的特例	.00	.20	.08	.20	.00	.08
答：正確舉出例子	.60	.92	.68	.84	.21	.71
總分	1.64	2.56	1.56	2.52	.46	1.50
5、請您預測一下，如果在吸管中加入糖水(糖分子為大粒子不能通過半透膜) 接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？						
						
答：水分子透過半透膜進行滲透作用	.48	.80	.44	.76	.21	.50
答：經過一段時間吸管中的糖水溶液升高	.68	.96	.80	.96	.38	.87

答：經過一段時間糖水濃度變小，不過濃度仍比外面水溶液高	.12	.28	.12	.40	.04	.33
答：正確畫出示意圖	.80	1.00	.92	1.00	.29	.75
總分	2.08	3.04	2.28	3.12	.92	2.46

由表 4-5-2 顯示，生物相關、理工相關與人文相關學科背景大學生在每一個概念類別的平均分數皆有增加，其中大部分生物與理工相關學科背景的大學生，對於科學概念已經有較長時間的學習，因此在動畫教學前對水的擴散稱為滲透作用的概念、滲透作用需要半透膜的概念和高張、低張、等張名詞的概念等有較完整的心智表徵，所以生物與理工相關學科背景的大學生前測答對的平均分數，比人文相關學科背景的大學生來的高。生物相關、理工相關和人文相關學科背景大學生在概念類別的後測成績平均分數皆有明顯增加，表示許多學習者在細胞擴散作用動畫教學後概念產生改變，所擁有科學概念的比例增加，另有概念的比例也相對減少。

在概念類別「什麼是滲透作用？請舉例」方面，生物學科背景大學生後測總分的平均是 2.56，理工學科背景大學生後測總分的平均是 2.52，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 1.50；在「請您預測一下，如果在吸管中加入糖水(糖分子為大粒子不能通過半透膜)接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？並請分別畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形」方面，生物學科背景大學生後測成績總分的平均是 3.04，理工學科背景大學生後測總分的平均是 3.12，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生總分的平均 2.46，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示生物：理工：人文=96.72：118.90：96.21。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的注視，因此獲得較多正確的科學概念。

當觀看「細胞滲透作用」動畫四時，學習者的注意力分佈不同，科學概念成績也不同，顯示在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。研究顯示，不同受試者間視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間與概念獲得的平均分數，三者之間的關係能清楚顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

## 第六節 不同學科背景大學生的工作記憶相關分析

表 4-6-1 短期記憶與學科背景和測驗間的關係表

	認知短期記憶	視覺短期記憶
學科背景	-.067	-.202
二階層前測	.042	-.022
二階層後測	.109	-.152
開放式問題前測	.318**	-.001
開放式問題後測	.223*	-.046

單尾檢定 \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

從表 4-6-1 可以得知，學生的學科背景與受試者的短期記憶之間，並沒有特別的關聯。認知短期記憶主要是測試受試者的語文記憶，經由短時間內所呈現的題目，來瞭解受試者對題目的理解力和記憶力。認知短期記憶和開放式問題前測及後測有顯著相關，表示開放式問題前測和後測作答分數較高的受試者，其擁有的認知短期記憶能力可能較強。

## 第五章 結論與建議

本研究旨在探討細胞擴散和滲透作用教學動畫對不同學科背景之大學生的另有概念之概念建構學習成效，並進一步探討不同學科背景之大學生，在觀看動畫教學時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)、文字與動畫區凝視時間的百分比(percentage)與視線軌跡(scanpath)的比較和分析以及探討其概念建構的關係。本章主要是依據第四章資料分析的結果，彙整成本研究的結論，並提出一些後續相關研究的建議。

### 第一節 結論與討論

本節以第四章研究結果與討論，依據各研究工具類別依序說明本研究的主要發現，並分別探討細胞擴散和滲透作用概念動畫對於教學前後概念建構歷程的影響，並且探討不同學科背景大學生在觀看細胞擴散和滲透作用概念動畫過程中的眼球追蹤資料，最後彙整出本研究的結論。

#### 一、不同學科背景大學生細胞擴散和滲透作用概念及概念改變成效分析

以下針對研究問題一「不同學科背景的大學生在教學前對細胞擴散和滲透作用相關概念的理解是否有差異？」與研究問題二「瞭解細胞擴散和滲透作用教學是否有助於概念建構？」做詳盡的分析與探討，最後歸納為結論。

(一)研究問題一「不同學科背景的大學生在教學前對細胞擴散和滲透作用相關概念的理解是否有差異？」

本研究以 74 位大學生為樣本，其中 25 位學科背景是生物相關，25 位學科背景是理工相關，24 位學科背景是人文相關，生物和理工相關學科背景大

學生的細胞擴散和滲透作用概念明顯優於人文相關學科背景大學生，生物和理工相關學科背景大學生沒有顯著的差異，不同學科背景大學生細胞擴散作用概念二階層前測和開放式問題前測成績達顯著差異。

(二)研究問題二「瞭解細胞擴散和滲透作用教學是否有助於概念建構？」

依據開放式問題之細胞擴散和滲透作用概念類別評分表評分後的結果，在細胞擴散和滲透作用動畫教學後，不論生物、理工與人文學科相關背景大學生在「請說明何謂擴散作用並且舉例？」問題中回答「分子從高濃度區域移向低濃度區域的現象」、「擴散作用需要有濃度差異(濃度梯度)方能進行」、「空間中的高濃度分子經擴散作用會均勻分佈」，在「請說明何謂滲透作用並且舉例？」問題中回答「水穿過選擇性通透膜進行擴散稱為滲透作用」、「水分子經由半透膜從低濃度溶液往高濃度溶液擴散」、「滲透作用經過半透膜擴散是擴散作用的特例」等相關概念上，所擁有科學概念的比例增加，另有概念的比例相對減少。不論是生物、理工與人文學科相關背景大學生，二階層測驗和開放式問題的後測成績的平均數均明顯優於前測成績的平均數，各組前後測之成對樣本 T 檢定也都達到顯著效果。進行單因子變異數分析後，不同學科背景大學生的細胞擴散和滲透作用概念後測（二階層測驗和開放式問題）成績得分沒有顯著差異。表示細胞擴散和滲透作用教學動畫對於不同學科背景的大學生的細胞擴散和滲透作用概念建構均有很大的幫助。

## 二、不同學科背景大學生觀看細胞擴散和滲透作用動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析

以下針對研究問題三「不同學科背景的大學生在進行細胞擴散和滲透作用動畫學習時注意力分佈是否有不同？」與研究問題四「探討動畫學習時其凝視區域、次數、時間與細胞擴散和滲透作用概念建構是否有關聯？」做詳盡的分析與探討，最後歸納為結論。

(一)不同學科背景大學生觀看「細胞擴散作用」動畫之眼球追蹤資料、視線軌

## 跡與概念建構分析

眼球追蹤資料證明生物和理工學科背景大學生在關鍵區凝視點平均時間較長，從視線軌跡分佈集中在關鍵區，可以呼應眼球追蹤統計資料，因為生物與理工相關背景大學生在觀看「細胞擴散作用」動畫中的凝視區相似，所以兩者的注意力分佈是相似的。從「細胞擴散作用」的概念類別成績發現，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生的總分，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示，生物和理工學科背景大學生也都高於人文學科背景大學生。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的凝視點次數，因此獲得較多正確的科學概念。

因此，顯示在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。當視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間相近時，其概念獲得的平均得分相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

## (二)不同學科背景大學生觀看「細胞滲透作用」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念建構分析

眼球追蹤資料證明生物和理工學科背景大學生在關鍵區凝視點平均時間較長，從視線軌跡分佈集中在關鍵區，可以呼應眼球追蹤統計資料，因為生物與理工相關背景大學生在觀看「細胞滲透作用」動畫中的凝視區相似，所以兩者的注意力分佈是相似的。從「細胞滲透作用」的概念類別成績發現，生物和理工學科背景大學生都高於人文學科背景大學生的總分，表示擁有正確概念平均數較高。同時從關鍵區凝視點平均時間顯示，生物和理工學科背景大學生也都高於人文學科背景大學生。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的凝視點次數，因此獲得較多正確的科學概念。由以上結果，我們可推論，理工和生物相關學科背景大學生的關鍵區凝視點平均時間較長，而且從視

線軌跡也可以發現，關鍵區有較多的凝視點次數，因此獲得較多正確的科學概念。

一言以蔽之，關於研究問題三「不同學科背景的大學生在進行細胞擴散和滲透作用動畫學習時注意力分佈是否有不同？」與研究問題四「探討動畫學習時其凝視區域、次數、時間與細胞擴散和滲透作用概念建構是否有關聯？」，本研究顯示不同學科背景的大學生在進行細胞擴散和滲透作用動畫學習時注意力分佈是有不同的，而且在動畫教學中注意力分佈區不同確實會影響學習者的概念建構。研究顯示，不同受試者間視線軌跡所呈現的注意力分佈點和眼球在關鍵區凝視點平均時間與概念獲得的平均分數，三者之間的關係能清楚顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

### 三、工作記憶容量跟學科背景和學習成就表現上是否有關聯

以下針對研究問題五「工作記憶容量跟學科背景和學習成就表現上是否有關聯？」進行分析與探討，最後歸納為結論。

從第四章第六節的結果，我們得到以下的結論：學科背景跟短期記憶（包括：認知短期記憶和視覺短期記憶）之間並沒有特別的關聯。認知短期記憶和開放式問題前測及後測有顯著相關，因此可推論，開放式問題前測和後測作答分數較高的受試者，其擁有的認知短期記憶能力可能較強。

### 四、結論

綜合以上八個動畫在生物學科相關、理工學科相關和人文學科相關背景大學生代表的視線軌跡、眼球追蹤資料與概念建構分析可以發現：生物與理工學科相關背景的大學生在眼球追蹤資料方面，注視關鍵區的分佈是沒有明顯不同的。生物與理工學科相關的大學生在關鍵區凝視點平均時間較長。生物學科相關背景大學生代表的視線軌跡大部份的時間在觀看文字區和關鍵區的動畫和文

字；理工學科相關背景大學生代表的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫區和關鍵區的動畫和文字；人文學科相關背景的大學生代表的視線軌跡大部份的時間在觀看文字區和關鍵區的文字，觀看動畫區的時間較短。

從研究上可以發現，不論生物學科相關、理工學科相關和人文學科相關背景大學生，當其眼球注意力分佈與關鍵區凝視點平均時間相近時，概念獲得平均得分也相近。不同學科背景之大學生在觀看細胞擴散和滲透作用教學動畫時眼球凝視點次數、凝視點時間、動畫與文字區凝視點的平均時間值、動畫與文字區凝視時間的百分比、總凝視時間與視線軌跡是有差異的，而且眼球追蹤資料及視線軌跡與細胞擴散與滲透作用概念建構有密切的關係。

## 第二節 建議

根據本研究的結論，以及研究過程的缺失，提出以下各項建議，供未來的研究者作為參考。

### 一、對教學與教材設計的建議

本研究結果顯示「細胞擴散和滲透作用」網路多媒體動畫課程能幫助大學生進行概念建構，並且透過眼動儀能了解到不同學科背景學習者在學習動畫時認知歷程與注意力分佈的情形。建議未來教材設計者在設計類似有關的科學概念動畫前，要先了解該科學概念在文獻上所記載的另有概念，對不同學科背景的學習者提供適當（如理工學科相關背景的學習者，課程教學上以動畫呈現為主要；人文學科相關背景的學習者，課程教學上要有文字說明來輔助學習）的多媒體教學，才能提高學習者的學習效率和效果。

### 二、對未來研究的建議

本研究受限人力與時間的限制，因此沒有繼續做追蹤研究。建議未來研究者可增加追蹤研究，能更充分驗證概念建構的成效。未來對於相關科學教育研

究，有興趣之研究者更可以將規模擴大，比較不同地區或國家是否會有相同的結果。研究的主題也可擴大至其他自然科學的概念，比較不同的科學概念是否會有類似的結果。

運用眼動儀可以瞭解學習者的認知歷程和眼球注意力，未來更可配合腦電波圖(electroencephalogram，簡稱 EEG)，來記錄大腦活動時的電波變化。當學習者在學習科學概念時，眼動儀和 EEG 所記錄的資料，是能夠提出更科學化的證據，再經由資料的交叉分析，應該能進一步了解人類學習的歷程和反應。以上建議提供給未來有興趣的研究者參考。



## 參考文獻

### 中文部分

- 李宗薇(1994)。 **教學媒體與教育工學**，師大書苑，49-51。
- 李玉琇和蔣文祁(譯)(2005)。 Sternberg, R.J. (2003) 著。 **認知心理學**(Cognitive Psychology) (3rd Edition)。台北市：雙葉。
- 余曉清(1997)。 **二十一世紀的科學教育-科技如何豐富科學教育**。教學科技與媒體(*Instructional Technology & Media*), 33, 12-19。
- 唐大崙(2006)。 **觀其眸子，人焉廋哉-以眼球追蹤法探索行為背後歷程**。眼球追蹤理論與技術研討會。台北市：國立台灣師範大學。
- 翁嘉鴻(2001)。 **以認知負荷觀點探討聽覺媒體物件之媒體呈現方式對學習成效之影響**。國立中央大學資訊管理學系碩士論文，未出版，中壢市。
- 曾千虹(1991)。 **國小、國中及高中學生之細胞概念發展**。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，彰化市。
- 曾千虹和耿正屏(1993)。 **國小、國中及高中學生之細胞概念發展**。科學教育，7，157 - 182。
- 熊召弟、王美芬、段曉林、熊同鑫(譯)(2001)。 S.M.Glynn, R.H. Yeany& B.K. Britton(1991) 著。 **科學學習心理學**(The Psychology of Learning Science)。台北市：心理。
- 蔡介立(2006)。 **眼球運動與閱讀歷程**。眼球追蹤理論與技術研討會。台北市：國立台灣師範大學。
- 謝祥宏、耿正屏和湯清二(1996)。 **交互式多媒體教學系統對高學習者學習細胞生理之研究**。科學教育學刊，4 (1)，1-30。
- 蘇育任和陳廣智(2003)。 **國小學生的微小粒子迷思概念成因之研究**。論文發表於中華民國第十九屆科學教育學術研討會。

## 英文部分

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, 8, 47-90.
- Baddeley, A. D. (2000) The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Cook, M. P., Carter, G., & Wiebe, E. N. (2006). Visual representations of DNA: A comparison of salient features for experts and novices. Presented at the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent process. *The Journal of the Learning Science*, 14, 161-199.
- Christianson, R. G., & Fisher, K.M.(1999).Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. *INT. J. SCI. EDUC.*,21(6), 687– 698.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4, 27-43.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and The Format of Instruction, *Cognitive and Instruction*, 8, 293-332.
- Chi, M. T. H., Glaser R., and Farr, M. J. (1988).The nature of expertise. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 1, 1123–1130.
- Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing*. New York: Oxford University Press.
- Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P. (1987). High school students' difficulties in understanding

- osmosis. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 541-551.
- Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P. (1985). *Identifying students' difficulties in understanding concepts pertaining to cell water relations: An exploratory study*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, French Lick Spring, IN.
- Fisher, K.M. (1985). *A Misconception in Biology : Amino Acids and Translation*. *Journal of Research in Science Teaching*, 122 ,1.
- Guan, Y.H. (2003). *The effects of multimedia presentations on information processing: Eye-movement analyses of text and picture integration in a multimedia-based learning scenario*. *Doctoral thesis*.
- Guan, Y.H. (2006). *The effects of multimedia presentations on the learning efficiency of assembly instructions*. ED-MEDIA 2006, 2541-2547.
- Hughes, A., Wilkens, T., Wildemuth, B. M., & Marchionni, G. (2003). *Text or pictures? An eyetracking study of how people view digital video surrogates*. *Image and Video Retrieval, Proceedings Lecture Notes in Computer Science*. Retrieved April 23, 2006, from [http://www.open-video.org/papers/hughes\\_civr\\_2003.pdf](http://www.open-video.org/papers/hughes_civr_2003.pdf)
- Hoffman, J. E., Subramaniam, B. (1995). *The role of visual attention in saccadic eye movements*. *Perception and psychophysics*, 57(6), 787-795.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). *A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory*. *Psychological Review*, 99(1), 122-149.
- Johnson-Laird P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lang, A., Zhou, S., Schwartz, N., Bolls, P., & Potter, R. (2000). *The effects of edits on arousal, attention and memory for television messages: When an edit is an edit? Can an edit be too much?* *Journal of Broadcasting and Electronic Media*, 44(1), 94-109.
- Lawson, A. E. (1988). *The acquisition of biological knowledge during childhood: Cognitive conflict or Tabula Rasa*. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 185-199.
- McKendree, J., Small, C., Stenning, K., & Conlon, T. (2002). *The Role of Representation in Teaching and Learning Critical Thinking*. *Educational Review*, 54 (1), 57-67.
- Mayer, R.E., & Moreno, R. (2003). *Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning*. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- Mayer, R.E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000). *A learner-centered approach to multimedia explanations:*

- deriving instructional design principles from cognitive theory. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*.
- <http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp#4.1>.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning : The role of modality and contiguity, *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368.
- Mayer, R.E. (1999). Designing instruction for constructivist learning. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models*, 2, 141–159.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding Instructions, *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 49-63.
- Marek, E. A., Cowan, C. C., & Cavallo, A. M.L. (1994). Students' misconceptions about diffusion: how can they be eliminated? *The American Biology Teacher*, 56(2), 74-77
- 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.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Odom, A. L., & Kelly, P. V. (2001). Integrating concept mapping and the learning cycle to teach diffusion and osmosis concepts to high school biology students, *Science Education*, 85, 615-635.
- Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
- Perner, J. (1991). Understanding the representational mind, 15-124. Cambridge, MA: MIT Press.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representation: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- She, H.C. (2004a). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of research in science teaching*, 41(2), 142-164.
- She, H.C. (2004b). Facilitating changes in ninth grade students' understanding of dissolution and diffusion through DSLM instruction. *Research in science education*, 34, 503-525.
- She, H.C. (2003). DSLM instructional approach to conceptual change involving thermal expansion. *Research in Science and Technological Education*, 21(1),

43-54.

- She, H.C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: a study of air pressure and buoyancy. *International journal of science education*, 24(9), 981-996.
- Sanger, M.J., Brecheisen, D. M., & Hynek, B. M. (2001). Can computer animations affect college biology students' conceptions about diffusion and osmosis? *American Biology Teacher*, 63 (2), 104-109.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving : Effects on learning, *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Stepans, J. I. (1991). Developmental patterns in students' understanding of physics concepts. In S.M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 89-115.
- Fodor, J. A. (1998). *Concepts*. Oxford: Oxford University Press.
- Treagust, D.F. (1995). The development and use of diagnostic instruments to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159-169.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual Revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Zuckerman, J. T. (1998). Representations of an osmosis problem. *American Biology Teacher*, 60 (1), 27-30.

## 附錄一：細胞擴散和滲透作用二階層測驗

您的姓名 \_\_\_\_\_ 系所 \_\_\_\_\_

### 【細胞概念】 單選題 共20大題

請選出正確答案，每一題只有一個選項是正確的。

- ( ) 1a. 假設有一個透明的杯子，杯子內裝滿了水，這時候某人將黑色染劑，滴了幾滴到水裡，過了一段時間，最後整個水呈現均勻的淡黑色分佈，請問這是？  
(a)擴散作用 (b)滲透作用 (c)水和染劑之間的化學反應 (d)重力作用
- ( ) 1b. 您的理由是什麼？  
(a)因為沒有半透膜，因此擴散作用和滲透作用就不會發生 (b)粒子在不同濃度間移動 (c)染劑分成更小的粒子並與水混合 (d)水從一個區域移動到另一區域
- ( ) 2a. 在擴散作用的過程裡，粒子的移動是？  
(a)高濃度往低濃度 (b)低濃度往高濃度 (c)沒有規則，可從高濃度移到低濃度，也可以從低濃度往高濃度
- ( ) 2b. 您的理由是什麼？  
(a)因為太多粒子擠在一個區域，因此粒子會移向其它空間大的區域 (b)高濃度區域的粒子較可能運動到其它區域 (c)粒子會不斷運動，直到兩邊區域成等張溶液，粒子就停止運動 (d)高濃度區域的粒子互相排斥的機會較大
- ( ) 3a. 若要使葡萄糖溶液的濃度較高，應該如何？  
(a)增加更多的水 (b)增加更多的葡萄糖 (c)以上皆非
- ( ) 3b. 您的理由是什麼？  
(a)倘若愈多的水，則溶液體積增加，濃度增加 (b)愈多的水才能夠跟葡萄糖反應，讓葡萄糖溶液的濃度增加 (c)葡萄糖溶液的濃度是定值，不會因為外在條件改變 (d)同體積溶液下，溶質相對愈多，濃度愈高
- ( ) 4a. 假設有一個透明的杯子，杯子內裝滿了水，這時候某人將黑色染劑，滴了幾滴到水裡，過了一段時間，最後整個水呈現均勻的淡黑色分佈，請問這時候染劑分子？

(a)已經停止運動 (b)繼續任意地運動 (c)以上皆非

( ) 4b. 您的理由是什麼？

(a)整個容器是相同的顏色。如果染劑分子仍然運動著，容器應該會有不同層次的黑色 (b)如果染劑分子停止運動，黑色染劑應該會沈澱在容器底端 (c)染劑分子是一直在運動 (d)這是液體，如果是固體狀則分子就會停止運動。

( ) 5a. 假設有兩個大杯子：A杯和B杯，A杯和B杯都裝滿相同的水量，不過A杯溫度為25°C，B杯溫度為35°C，同時加入一大滴黑色染劑，最後兩杯的水都變成淡黑色，請問A杯還是B杯先變成淡黑色？

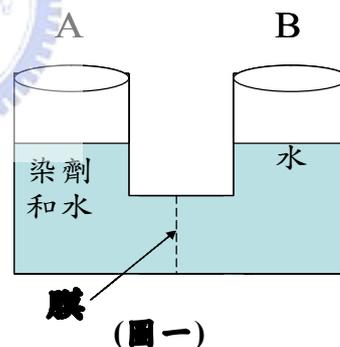
(a)A杯 (b)B杯 (c)同時

( ) 5b. 您的理由是什麼？

(a)高溫會使染劑分解 (b)染劑分子在高溫移動速度快  
(c)低溫會加速分子運動 (d)溫度不會影響分子運動

( ) 6a. 在下圖中(圖一)，A邊(內含水和染劑)和B邊(只有水)，兩邊被一個膜隔開，其中膜只能讓水通過，則經過兩小時後，A邊的水位會比一開始的水位？

(a)高 (b)低 (c)一樣高

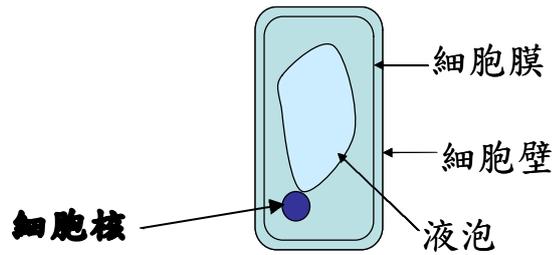


( ) 6b. 您的理由是什麼？

(a)水會從高張溶液移動到低張溶液 (b)水的分子濃度A邊比較低 (c)水由低濃度向高濃度運動

( ) 7a. 在下圖中(圖二)，是一個生長在淡水的植物細胞，現在將此細胞放於25%濃度的食鹽水中，則中間的液泡會？

(a)變大 (b)變小 (c)大小不變



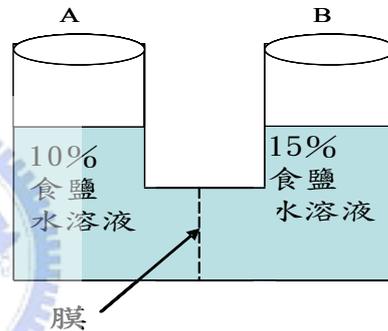
(圖二)

( ) 7b. 您的理由是什麼？

- (a) 鹽會進入細胞來吸收液泡中的水
- (b) 水會從液泡移動到細胞外的食鹽水
- (c) 植物有細胞壁，鹽進不去，水也不會散失
- (d) 食鹽水在細胞外，不會影響到細胞內的液泡

( ) 8a. 在下圖中(圖三)，B邊對A邊來說是

- (a) 高張
- (b) 低張
- (c) 等張



(圖三)

( ) 8b. 您的理由是什麼？

- (a) 水對大部分的物質是呈現高張
- (b) 等張指的是相同的意思
- (c) 水是從高濃度到低濃度
- (d) 在A邊溶解的粒子比較少

( ) 9a. 所有細胞的細胞膜都是？

- (a) 半透膜
- (b) 透膜
- (c) 以上皆非

( ) 9b. 您的理由是什麼？

- (a) 可允許所有物質通過
- (b) 只可讓一些物質進入，但是阻止一些物質離開
- (c) 細胞膜允許所有營養物質通過

( ) 10a. 分別將一滴同濃度糖水滴到10% 糖水和30% 糖水中，同濃度糖水在哪个濃度的糖水，擴散速率較快？

- (a) 10% 糖水
- (b) 30% 糖水
- (c) 一樣快

( ) 10b. 您的理由是什麼？

- (a) 30% 糖水比較少的空間讓粒子移動
- (b) 10% 糖水比較少的空間讓粒子

移動 (c)跟糖水濃度沒有關係 (d)因為 30 % 糖水濃度夠高，所以才能和同濃度糖水起化學反應

( ) 11a. **紅血球於高張溶液會？**

(a)萎縮 (b)漲破 (c)維持原狀

( ) 11b. **您的理由是什麼？**

(a)高張溶液含溶劑比較多 (b)紅血球內的水會往高張溶液運動

(c)水進出紅血球一樣多 (d)高張溶液內的溶質會進入紅血球內

( ) 12a. **小美在通風良好的教室內噴香水，結果？**

(a)只有小美自己聞到香水味 (b)幾乎全班的人都會聞到香水味(c)香水味道會在教室持續一整年

( ) 12b. **您的理由是什麼？**

(a)香水進行擴散作用 (b)香水進行滲透作用 (c)香水進行化學反應

( ) 13a. **在濃度10%的糖水和濃度30%的糖水中，各加一滴染劑，則？**

(a)染劑在兩杯糖水的擴散速率一樣快 (b)染劑在10%的糖水擴散速率較快

(c)染劑在30%的糖水擴散速率較快

( ) 13b. **您的理由是什麼？**

(a)比較多的空間讓染劑移動 (b)糖水對染劑擴散速率沒有影響

(c)粒子想要往外移動

( ) 14a. **下列何者物質，如細胞膜一般能讓水分子通過？**

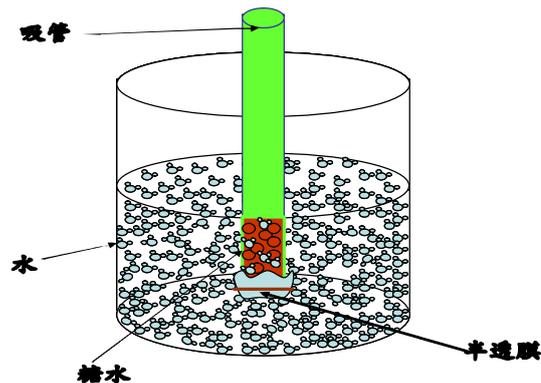
(a)蛋膜 (b)保鮮膜 (c)塑膠袋

( ) 14b. **您的理由是什麼？**

(a)半透膜 (b)透膜 (c)以上皆非

( ) 15a. **如下圖四所示，吸管中的糖水高度，過一段時間後，會？**

(a)升高 (b)降低 (c)不變



(圖四)

( ) 15b. 您的理由是什麼？

- (a)糖分子進行擴散作用 (b)水分子進行滲透作用 (c)糖分子進行滲透作用  
(d)水分子進行擴散作用

( ) 16a. 擴散作用一定需要半透膜？

- (a)一定要有 (b)不一定

( ) 16b. 您的理由是什麼？

- (a)兩邊溶液有半透膜隔開，才能稱擴散作用 (b)擴散作用，指分子從高濃度移向低濃度，不一定需要半透膜 (c)滲透作用和擴散作用都需要半透膜

( ) 17a. 紅血球於低張溶液，形狀會？

- (a)萎縮 (b)漲破 (c)維持原狀

( ) 17b. 您的理由是什麼？

- (a)紅血球內的水分子進入低張溶液中 (b)低張溶液的水分子進入紅血球  
(c)低張溶液與紅血球起化學反應

( ) 18a. 紅血球於等張溶液，形狀會？

- (a)萎縮 (b)漲破 (c)維持原狀

( ) 18b. 您的理由是什麼？

- (a)紅血球內的濃度和等張溶液濃度相同 (b)紅血球內的成分和等張溶液成分相同 (c)紅血球的水分子和等張溶液中的水分子一樣多

( ) 19a. 一杯濃度均勻的糖水，仍會進行以下哪個作用？

- (a)進行擴散作用 (b)進行滲透作用 (c)分子仍會進行隨意碰撞，以達動態平衡 (d)分子停止運動

( ) 19b. 您的理由是什麼？

- (a)沒有濃度梯度 (b)擴散作用永遠不會停止 (c)滲透作用永遠不會停止 (d)分子會一直進行隨意運動

( ) 20a. 濃度相同的兩杯糖水，則？

- (a)溶質數目一樣多 (b)溶劑一樣多 (c)以上皆非

( ) 20b. 您的理由是什麼？

- (a)濃度相同，指溶質與溶液之相對含量相同 (b)濃度相同，指溶質含量相同 (c)濃度相同，指溶劑含量相同

## 附錄二：開放式問題之 細胞擴散和滲透作用概念類別評分表

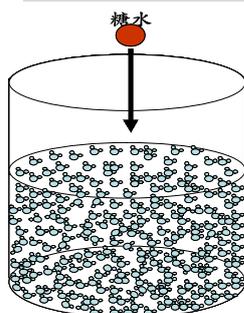
### ● 1請說明何謂擴散作用，並且舉例

評分標準	得分
<b>概念：</b> 分子從高濃度區域移向低濃度區域的現象稱擴散作用。 擴散不需要能量。 擴散作用需要有濃度差異(濃度梯度)方能進行。	
1、分子從高濃度區域移向低濃度區域的現象	1
2、擴散作用需要有濃度差異(濃度梯度)方能進行	1
3、空間中的高濃度分子經擴散作用會均勻分佈	1
4、正確舉出例子	1
<b>總分</b>	<b>4</b>

### ● 2請說出何謂滲透作用，並且舉例

評分標準	得分
<b>概念：</b> 水穿過選擇通透性膜進行擴散稱為滲透作用 (即滲透作用為擴散作用的一種) 滲透作用常見於高張、等張、低張溶液。	
1、水穿過選擇性通透膜進行擴散稱為滲透作用	1
2、水分子經由半透膜從低濃度溶液往高濃度溶液擴散	1
3、滲透作用經過半透膜擴散是擴散作用的特例	1
4、正確舉出例子	1
<b>總分</b>	<b>4</b>

### ● 3請您預測一下，當滴入一滴糖水進入水後，接下來會有什麼樣的情況發生？請您解釋為什麼？並請畫出您此時此刻腦海中所呈現的影像或圖形？

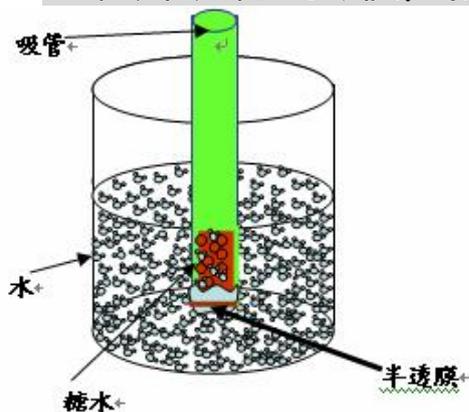


評分標準	得分
<b>概念：</b> 糖分子進行擴散作用 最後整杯水溶液達均勻分佈 糖水為高濃度，水為低濃度	
1、糖分子進行擴散作用	1
2、糖分子由高濃度往低濃度擴散，進行任意運動	1
3、最後整杯糖水溶液達均勻分佈	1
4、糖水溶液最後達動態平衡	1
5、正確畫出示意圖	1
<b>總分</b>	5

- 4請您預測一下，分別將一滴同濃度糖水滴到10% 糖水和30 % 糖水中，接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？比較兩者是否有不同，並請分別畫出您此時此刻腦海中呈現的影像或圖形？

評分標準	得分
<b>概念：</b> 糖分子進行擴散作用 同濃度糖水在10% 糖水中擴散較快 同濃度糖水在30% 糖水中擴散較慢	
1、糖分子進行擴散作用	1
2、同濃度糖水在10% 糖水中擴散較快(同濃度糖水在30% 糖水中擴散較慢)	1
3、由於30% 濃度糖水，其糖分子數高於10% 濃度糖水，因此糖分子擴散作用較難較緩慢	1
4、正確畫出示意圖	1
<b>總分</b>	4

- 5請您預測一下，如果在吸管中加入糖水(糖分子為大粒子不能通過半透膜)接下來會有什麼樣的情況發生？請您分別解釋為什麼？並請分別畫出您此時此刻腦海中呈現的影像或圖形？



評分標準	得分
<b>概念：</b> 水分子透過半透膜進行滲透作用 經過一段時間吸管中的糖水溶液升高 經過一段時間糖水濃度變小，不過濃度仍比外面水溶液高	
1、水分子透過半透膜進行滲透作用	1
2、經過一段時間吸管中的糖水溶液升高	1
3、經過一段時間糖水濃度變小，不過濃度仍比外面水溶液高	1
4、正確畫出示意圖	1
<b>總分</b>	4

● 6請您分別說明何謂低張溶液、高張溶液與等張溶液，並分別說明紅血球在這三種溶液下會發生什麼樣的情形？

評分標準	得分
<b>概念：</b> 當細胞內外的糖濃度有所差異時，水分就會流進、或流入細胞；高張溶液的糖濃度是比較高的。相對地，低張溶液糖濃度比較低，所以水分會由低張溶液往高張溶液擴散；當兩者的糖濃度相當，水分子的擴散就會呈現動態平衡，兩方的濃度都不會改變，是為等張溶液。	
1、高張溶液的糖濃度是相對比較高的	1
2、低張溶液的糖濃度是相對比較低的	1
3、當兩者的糖濃度相當，水分子的擴散就會呈現動態平衡，兩方的濃度都不會改變，為等張溶液	1
4、紅血球在高張溶液中形狀會萎縮	1
5、紅血球在低張溶液中形狀會膨脹或漲破	1
6、紅血球在等張溶液中形狀維持不變	1
7、正確畫出示意圖	1
<b>總分</b>	7