

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：吳心楷博士

視覺動作統整能力、空間能力在不同科技使用下對高一學生運動力學概念學習
成效之影響

The influence of visual-motor integration
and spatial ability on mechanics concept
learning of tenth grade student with
different technology usage.

研究生：王 駿 侑

中華民國 103 年 6 月

中文摘要

本研究主要探討不同科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對學生運動力學中之拋體運動整體、記憶認知層次、高階認知層次（理解、應用、分析）之概念學習成效的影響。研究參與者為 211 名私立高一學生，並依班級分為電腦組（使用電腦）、觸控組（使用平板電腦）、動感組（使用平板電腦及其重力加速度感測器）。研究資料來源為拋體運動概念評量，內容包含單選題、複選題與開放式問答題。研究結果顯示科技使用不同對整體拋體運動概念學習成效沒有顯著影響，但觸控組、動感組之另有概念減少幅度比電腦組大。且在記憶認知層次電腦組概念學習成效優於觸控組與動感組，在高階認知層次觸控組與動感組概念學習成效優於電腦組。視覺動作統整能力雖對於高階認知層次有顯著影響，但此影響不會因為科技使用組別的不同而有所差異。反之對於空間能力而言，電腦組相較觸控組與動感組可能會使高空間能力學生於記憶層次的概念學習成效較出色，但也可能使低空間能力學生於高階層次的概念學習成效有限，即以平板電腦為載具之科技使用可能會減低空間能力對學習成效的影響。

綜合上述結果，整體而言此單元之教學以使用平板電腦搭配觸控功能但不使用重力加速度感測器特性，學生學習效果可能較佳。且不同科技使用的學習成效會依據不同教學目標類型或不同空間能力學生而有所不同，但不受視覺動作統整能力之影響。

關鍵詞：科技使用、視覺動作統整能力、空間能力、另有概念

Abstract

This study identified the influence of different technology usage, visual-motor integration, and spatial ability on projectile motion concept learning, including cognitive levels of remember and advanced, in mechanics. 211 tenth grade students at a private senior high school in Taiwan divided into 3 groups (Computer group, Touch group, and Kinetic group) and participated in the 90-minute instructional lesson. Data collected from self-developed projectile motion assessment. The result of this study indicated that the concept learning effectiveness had no significant differences between technology usage groups. Although, students of Touch group and Kinetic group had more reduction of alternative concepts than Computer group. At the remember cognitive level, concept learning effectiveness of Computer group was better than Touch group and Kinetic group, but Touch group and Kinetic group were better than Computer group at the advanced cognitive level on the contrary. Visual-motor integration significantly influences concept learning effectiveness at the advanced cognitive level, but this influence does not vary with the different group. As far as spatial ability is concerned, high spatial ability students of Computer group had more concept learning effectiveness than the high spatial ability students of other groups. Also, low spatial ability students of Computer group had less concept learning effectiveness than the low spatial ability students of other groups.

In conclusion, concept learning of this projectile motion unit would be promising with using tablet PC's characteristic of touching and excluding gravity acceleration sensors. And, concept learning effectiveness with different technology usage might vary with instruction objective and spatial ability of students but does not vary with visual-motor integration.

Key word : technology usage, visual-moto integration, spatial ability, alternative concept

目錄

第一章	緒論.....	1
第一節	研究動機與背景.....	1
第二節	研究目的與問題.....	3
第三節	研究範圍與限制.....	4
第四節	名詞界定.....	5
第二章	文獻探討.....	6
第一節	科技使用方式與物理學習.....	6
第二節	視覺動作統整能力.....	16
第三節	空間能力與物理學習.....	21
第四節	拋體運動常見之另有概念.....	26
第三章	研究方法.....	29
第一節	科技使用與教學設計.....	29
第二節	研究對象.....	40
第三節	研究流程與設計.....	41
第四節	研究工具.....	43
第五節	資料收集與分析.....	51
第四章	研究結果.....	55
第一節	學生於教學前後的概念理解差異.....	55
第二節	科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對整體學習成效之影響..	60
第三節	科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對記憶層次與高階層次概念 學習成效之影響.....	73
第五章	結論與建議.....	89
第一節	結論.....	89
第二節	討論.....	92
第三節	建議與未來研究方向.....	98
參考文獻.....		101

附錄.....	110
---------	-----

表次

表 2-3-1 國內外學者對於空間能力之定義	22
表 2-4-1 過去文獻對於拋體運動另有概念研究整理表	27
表 3-1-1 科技使用組別比較整理	32
表 3-1-2 教學活動內容及各組教學差異對照表	35
表 3-2-1 研究參與者人數分配表	37
表 3-4-1 「運動獨立性」概念細目表與其對應的測驗題目	42
表 3-4-2 拋體運動概念學習評量配分表	43
表 3-4-3 概念評量開放式問題之另有概念編碼表	44
表 3-5-1 研究問題與分析方法對照表	53
表 4-1-1 不同科技使用組別學生於教學前後概念理解之成對樣本 t 檢定	55
表 4-1-2 不同空間能力學生於教學前後概念理解之成對樣本 t 檢定	56
表 4-1-3 不同視覺動作統整能力學生於教學前後概念理解之成對樣本 t 檢定	57
表 4-2-1 科技使用組別之調整前後平均數	60
表 4-2-2 科技使用組別於後測總分主要效果檢定	60
表 4-2-3 拋體運動概念評量開放性問題之另有概念統計表	62
表 4-2-4 科技使用組別、視覺動作統整能力之調整前後平均數	64
表 4-2-5 科技使用組別與視覺動作統整能力於後測總分主要效果檢定	66
表 4-2-6 科技使用組別與空間能力於後測總分雙因子共變數分析	68
表 4-2-7 科技使用組別、空間能力之原始與後測調整後平均數	69
表 4-2-8 科技使用組別與空間能力於後測總分之單純主要效果分析摘要	70
表 4-2-9 科技使用組別於高/低空間能力組平均數差異之 LSD 多重比較結果	71
表 4-3-1 概念測驗後測成績相關表 (Spearman 相關係數)	72
表 4-3-2 科技使用組別、視覺動作統整能力之原始與後測調整後平均數	73
表 4-3-3 科技使用組別主要效果檢定	74
表 4-3-4 科技使用組別各組平均數差異之 HSD 多重比較結果	76
表 4-3-5 科技使用組別事後多重比較摘要表	76
表 4-3-6 科技使用組別、視覺動作統整能力之原始與後測調整後平均數	78
表 4-3-8 科技使用組別與空間能力主要效果檢定	81
表 4-3-9 科技使用組別、空間能力之原始與後測記憶、高階認知層次調整後平均數	82
表 4-3-10 科技使用組別與空間能力於後測記憶、高階層次分數之單純主要效果分析摘要	84
表 4-3-11 科技使用組別於高/低空間能力組記憶、高階層次分數之 LSD 比較結果	87

圖次

圖 3-1-1 電腦模擬動畫各階段的操作介面.....	30
圖 3-3-1 本研究流程示意圖.....	39
圖 3-4-1 概念測驗卷複選題型算分範例.....	44
圖 3-4-2 概念測驗卷問答題型算分範例.....	44
圖 3-4-3 空間能力量表之題本範例.....	47
圖 3-4-4 視覺動作統整能力抄畫圖形範例.....	48
圖 3-4-5 視覺動作統整能力評分標準範例.....	49
圖 4-2-1 概念評量開放式問題回答之另有概念類別趨勢.....	63
圖 4-2-2 各科技使用組後測總分之調整後平均數趨勢圖.....	70
圖 4-3-1 各科技使用組後測記憶認知層次總分之調整後平均數趨勢圖.....	85
圖 4-3-2 各科技使用組後測高階認知層次總分之調整後平均數趨勢圖.....	85

第一章 緒論

本研究旨在探討不同科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對於運動力學中拋體運動概念學習的影響。研究中使用三種不同的科技使用，並將分析科技使用對於概念學習成效的影響，進而探討不同視覺動作統整能力及空間能力對於學習成效的影響，以此提出使用新的科技於教學上之相關建議。本章則針對本研究的研究動機與背景、研究目的、研究問題、研究範圍與限制以及研究中提及的重要名詞進行釋義。

第一節 研究動機與背景

隨著科技的進步，許多科技的裝置已經可以應用於課室之中，較常見的裝置如電腦、筆記型電腦、電子白板、平板電腦、掌上型電腦(PDA)...等，這些裝置在教學上各自擁有不同的特性、優點、與其限制。一些資訊科技融入教學的優點可藉由平板電腦的特性作更進一步的發揮(Frolik & Zurn, 2005)。Moore 等人(2008)指出，平板電腦可以被視為加上了數位書寫等進階功能的筆記型電腦，可以讓人直接在螢幕上創造資訊。此功能為平板電腦最大的特性，且在一些研究中已經提出此種功能確實有增進學生學習成效的潛力(Li, Pow, Wong, & Fung, 2010)。因此，平板電腦自從 2002 年之後，作為教學輔助工具的數量越來越多(Lim, 2011)，但這些研究之中教學的概念與科目可能不同，加上平板電腦運用於教學的方式也各不相同，因此研究的結果不見得都能類推到其他平板電腦相關的研究。但整理過去平板電腦作為教學工具的相關研究可以發現，大部分在科學教學上使用的行動裝置應用程式都以已開發的現成程式作為教學工具(Murray & Olcese, 2011)，或是針對課堂管理、資源整合等功能做開發而非針對特定概念學習。故本研究特別針對物理中的運動力學概念學習，以平板電腦本身的硬體設備搭配專為教學主題設計的行動裝置應用程式 (App)，期望探討平板電腦本身、或相對於電腦的特定性質在物理概念的學習上是否有進一步的正面意義。

在教學中，學生的差異性肯定是重要的一個環節，而為了瞭解了解學習者的特性是否也影響學生在不同科技使用時的運動力學概念學習成效，本研究欲加入特定變項來進行討論。在學生的學習中，視覺動作統整(Visual-motor Integration)被視為個體學習過程中極為重要的能力(Beery, 1997)。視覺動作統整能力已被眾多文獻支持其與學業、閱讀能力、書寫能力、數學能力的相關性(Barnhardt, Borsting, Deland, Pham, & Vu, 2005; Daly, Kelley, & Krauss, 2003; Goldstein & Britt, 1994; Kulp, 1999; Sortor & Kulp, 2003)，且隨著操作任務的不同視覺動作統整會有不同的機制且因能力高低而有不同表現(Bo, Contreras-Vidal, Kagerer, & Clark, 2006; Johansson & Cole, 1992)。由本研究科技使用的特性觀之，不論是操作電腦滑鼠、使用觸控螢幕、或是操作重力加速度感測器都需要相當程度的手部操作，又因為不同科技使用的操作任務均不相同，其學習效果是否會因為操作的能力高低而有所不同也成為本研究關注的問題之一。

另外運動力學的概念學習在過去已有許多實徵的研究發現空間能力與學習成效有相當的關聯，因為在運動力學的概念中，往往需要想像物體移動的過程與物體間的交互作用等動態的現象(Kozhevnikov & Thornton, 2006)。另外，不同的科技（如多媒體等）用來融入教學時，也必須考量到空間能力的影響可能會因科技特性的不同而有所差異(R. E. Mayer & Sims, 1994)。因此可以預期空間能力應該會影響著學生的學習成效，但在本研究中不同科技使用方式是否會使空間能力扮演不同的腳色，則成為本研究的研究問題之一。

總結以上論述，科技使用的演進是時代的趨勢，但在演進的同時更要小心不同科技使用的特性對於學生是否有所助益，亦或者何種特質學生才是受益者。本研究希望透過探討科技使用方式、視覺動作統整能力、空間能力之間對於運動力學中的拋體運動概念的影響，以求能提供給開發者、教學者等教育工作者作為科技使用選擇之參考。

第二節 研究目的與問題

一、研究目的

根據上述的研究背景可以知道，科技使用的不同可能會造成學生學習運動力學中之拋體運動概念學習成效差異。而視覺動作統整能力與空間能力又可能影響科技使用與概念學習成效之間的關係。故本研究目的為：「探討不同科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對高一學生運動力學概念學習成效之關係」。且由於欲更深入探討這些變項如何影響概念學習成效，因此在討論過整體概念學習成效後將依概念認知層次將學習成效分為記憶認知層次概念學習成效與高階認知層次概念學習成效（包含理解、應用、分析認知層次），並分別討論各概念認知層次學習成效與各變項之關係。其中除了科技使用變項會單獨討論外，因為本研究主要並非為單獨探討空間能力與視覺動作統整能力對概念學習成效的影響，而是為探討視覺動作統整能力與空間能力在不同科技使用下對概念學習成效的影響，因此將分別討論視覺動作統整能力與空間能力與科技使用變項間的交互作用並以此進行後續分析。最後，本研究亦分析概念評量開放性問答題中之另有概念於各變項的差異，以不同面向健全研究之結果與推論。

二、研究問題

基於上述研究目的，本研究的研究問題如下：

- (一)：不同科技使用、空間能力、視覺動作統整能力的學生，於教學活動前後對拋體運動概念理解是否有組內的進步？
- (二)：科技使用的不同是否會造成拋體運動概念學習成效的組間差異？
- (三)：視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？
- (四)：空間能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？

第三節 研究範圍與限制

本研究以高一學生為主要研究對象，受限於研究內容、研究時間與研究參與者本身影響，其研究結果推論有以下限制

1. 本研究以苗栗市某私立高中一年級學生為研究對象，且此私立高中家庭社經地位大部分屬中上階級，因此研究結果受地區與研究樣本特性的限制，不宜推論至所有高中一年級學生，而只適用於相似情境之學生進行推論。
2. 研究之課程乃是針對物理運動力學概念中之拋體運動相關內容設計，故此結論不宜推論至其他學科或物理其他不盡相似之領域。
3. 本研究僅探討科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對於概念學習的影響，而無討論性別、社經地位等其他因素。
4. 本研究所述之「科技使用」，特指電腦模擬動畫、平板電腦的觸控功能與重力加速度感測器等功能，故研究結果不宜推論至其他種不同的科技輔助載具或運用不同平板電腦特性之教學。

第四節 名詞界定

一、科技使用

本研究之科技使用指使用資訊科技融入科學教學時，所牽涉到之軟、硬體特性與其使用方式。包含了載具本身的選擇（如本研究中之電腦或平板電腦）及使用到該載具之特性（如本研究中之感測器使用與否），因此相同的載具也可能因目的不同而採取不同的科技使用方式。本研究指涉之科技使用包含使用電腦搭配電腦動畫之電腦組、使用平板電腦搭配使用觸控特性 App(應用程式)之觸控組、及使用平板電腦搭配使用觸控與動感特性 App 之動感組。

二、視覺動作統整能力

視覺動作統整能力指視知覺與手指—手部動作之間協調的良好程度，著重於視覺與動作之間的連結機制，生理上可能與腦下皮質層（Subcortically）及腦幹有關。在抄畫、抓取（Reaching）、指向（Pointing）等動作均需要視覺動作統整能力之作用，且於六歲後漸至發展成熟。本研究指涉之視覺動作統整能力可能運用在電腦滑鼠操控、平板電腦觸控操作、平板電腦感測器操弄等手部任務。

三、空間能力

空間能力是一種心智運作的能力，知覺二度或三度空間的物體進而使用對其使用各種心智功能（如辨別、操弄、轉化、邏輯推理）的能力。本研究指涉之空間能力特指其中之空間感觀能力與二度空間旋轉能力向度。

四、另有概念

另有概念指在某特定科學概念組織中，對某事件或某現象，所持有的一些有別於目前科學公認的想法。此種概念通常由日常生活經驗形成，用以解釋日常生活現象如何及為何運作。本研究之另有概念特指學生對於拋體運動教學單元中不同於現行科學家理論的想法。

第二章 文獻探討

本研究欲釐清在使用平板電腦與其應用程式(App)輔助運動力學學習時「科技使用方式」、「空間能力」、「視覺動作統整能力」及其與物理運動力學概念學習的影響。因此本章將分別針對科技使用方式、空間能力與視覺動作統整能力、與拋體運動常見的另有概念進行探討。

第一節 科技使用方式與物理學習

隨著時日的演進，近年來數位科技已經普遍被應用在日常生活之中。而新興科技於資訊取得的便利性、圖像化能力等優點，使得在教學中引進科技的應用也成為近年來教育的趨勢之一(Finkelstein et al., 2005; J. J. Vogel, Vogel, Janbowers, Muse, & Michelle, 2006)，本國教育部也因應此「數位化」趨勢而推動若干教育政策，如早期的「電腦輔助教學軟體發展與推廣計畫」到近期的「數位學習推動計畫」等（教育部資訊及科技教育司，2013）。提倡科技融入教學的學者們已宣稱科技可以藉由增加對資訊的接觸量進而轉化學習模式、提供師生與專家或同儕合作的機會、表達並交流想法、與探討原本在課室中難以呈現的議題等(Smetana & Bell, 2011)。教育科技的種類族繁不及備載，本研究針對運動力學學習的特性而採用模擬動畫搭配電腦、平板電腦作為教學輔助工具，而以下針對模擬動畫以及平板電腦及其與物理學習間的關係作探討。

一、 模擬動畫輔助教學

(一) 模擬動畫的定義、分類與特性

隨著科技日新月異，電腦作為教學的輔助工具逐漸由簡入繁，由數位化的文字、圖片、聲音等逐漸進展到動態的影片甚至是互動的應用軟體。其中模擬動畫藉由過去三、四十年來的研究，在資訊科技融入教學方面逐漸被認為是一個大有可為的領域(de Jong et al., 1999; Trundle & Bell, 2010; Wu, Krajcik, & Soloway, 2001)。

模擬動畫或稱為電腦模擬動畫 (Computer Simulations)，de Jong 和 Van Joolingen (1998)將電腦模擬動畫定義為包含特定自然或人工系統模型的電腦程式。Smetana 和 Bell (2011)並延伸定義為由電腦產生且展現真實世界與其過程之動態模型，呈現簡化或理論化的真實世界構成 (Component)、現象或過程。Ramasundaram, Grunwald, Mangeot, Comerford, 和 Bliss (2005)則認為模擬動畫提供一個驗證假設的平台，讓學生可以測試各種情境、各種輸入並藉由可能的結果或輸出產生概念。Olympiou、Zacharias、與 de Jong (2013)則認為模擬動畫通常包含現象/系統的模式讓使用者進行互動，在此情境下，學習者進行實驗並觀察操弄之影響進而建構自身的知識。模擬動畫的定義極為廣泛與多樣化(J. J. Vogel et al., 2006)，定義可能跟隨設計的目的、使用的方式、科技的限制等做不同的描述，但基本上筆者歸納後認為本研究對於模擬動畫的定義兼具(Smetana 和 Bell (2011))和 Ramasundaram 等人(2005)的觀點。

跟隨以上的定義，de Jong 和 Van Joolingen (1998)又將模擬動畫廣泛地分為兩大類：分別為「概念性模型」(Conceptual Models)與「操作性模型」(Operational Models)。概念性模型模擬系統中的原則、概念、與現象，此類模擬動畫舉例來說可在經濟學、物理學中使用（如電路模擬動畫）；操作性模型則模擬系統中一系列的認知或非認知操作過程，此類模擬動畫舉例來說可以在雷達操作學習中使用。此外，Lee (1999)回顧過往的研究，提到在模擬動畫在用途上可以分為兩種模式，分別為「呈現模式」(Presentation Mode)與「練習模式」(Practice Mode)，且練習模式的模擬動畫根據一些研究指出結論為比較有效的教學輔助工具，也因為其可以提供學生在給定的學習環境內探索的自由度，模擬動畫經常被拿來作為「發現式學習」(Discovery Learning)的工具。

de Jong 等人以模擬動畫配合發現式學習作了一系列相關的研究，指出其在科學學習上的正面效果(de Jong et al., 1999; de Jong & Van Joolingen, 1998; Olympiou et al., 2013; Swaak & de Jong, 2001; Veermans, Joolingen, & de Jong, 2006)，並提到搭配發現式學習的模擬動畫統稱為「發現式模擬動畫」(Discovery

Simulation)。暫且撇除不同的學科主題與不同軟硬體支援的影響，Swaak 和 de Jong (2001)歸納發現式模擬動畫主要具有以下三種特性：

1. 豐富性 (Richness)：為了提供擁有豐富性的環境，模擬動畫必須擁有豐富資訊供學習者提取。這些資訊可以由許多種方式被包含在內，且藉由不只一種表徵來呈現，如輸出的數據以動態或圖片表徵顯示。
2. 低透明度 (Low Transparency)：相對於文本或超文本 (Hypertext)，模擬動畫應更加直接、直觀地呈現變數與其關係，因而使學習者能獲取更多資訊。
3. 主動互動性 (Active Interaction)：學習者不應被動地接收螢幕上顯示的資訊，而是應該主動進行一些動作 (如作實驗等) 來開始其「有意義」的學習階段。

由以上可以得知，雖然模擬動畫基本上對於學習有相當的幫助，但是隨著設計者或研究者的目的與理念，模擬動畫也會有不同的特性與成效，因此在使用模擬動畫作為教學輔助工具時應謹慎考慮並配合適當的教學方法才能發揮模擬動畫最大的效果。

(二) 模擬動畫於教學上的應用

模擬動畫在科學學習上的應用，除了上述的發現學習，在探究式 (inquiry-based) 教學、學生中心教學、或是知識中心教學上都擁有許多優點 (Trundle & Bell, 2010)。Smetana 和 Bell (2011)整理模擬動畫輔助科學學習的文獻指出模擬動畫具有以下種種優點：

- 模擬動畫提供相當的靈活度，讓學生參與的活動提升至問題解決與高層次思考的階段 (Hargrave & Kenton, 2000; Lee, 1999)。
- 模擬動畫擁有使教學更加具有互動性與真實性的潛力，且具體化抽象的概念使其更易學習 (Ramasundaram et al., 2005)。
- 模擬動畫使學習者藉由立即的真實數據回饋來驗證自己的信念，進而產生個人的問題解決決策 (Hargrave & Kenton, 2000; Lee, 1999; Rose & Meyer, 2002)。
- 模擬動畫高度的開放性提升學生對於自己學習過程的自主性。且教師可

以藉由模擬動畫因材施教，即以適當的指導和鷹架（Scaffolding）來適應學生個別差異(Henderson, Eshet, & Klemes, 2000)。

- 模擬動畫可以將在現實世界中太複雜、太費時、太危險、太困難的實驗與現象重新詮釋於普通課室之中(Akpan, 2002)。在模擬的環境裡，時間可以被快轉或慢速撥放；抽象概念可以被具象化、隱含的過程可以變成可見的。教師可以讓學生專注於原本太複雜的教學目標，減低不必要的認知負荷（Cognitive Load）(de Jong & Van Joolingen, 1998)。

這些將模擬動畫用在科學教學時隱含的優點，使得研究者們在過去四十年間於各個科學學科的教與學上進行了許多研究，考慮到模擬動畫形式跟隨科技迅速發展的特性，以下僅就近期（2000年後）各科學學科的相關研究進行舉例介紹，且在物理學科的部分進行較深入的探討。

地球科學方面，Ramasundaram et al. (2005)將模擬動畫結合新興的地理資訊系統（Geographic Information System）科技建立一虛擬田野實驗室（Virtual Field laboratory），並指出這樣不只可以降低學術研究的預算，更可以提升現行課室內與遠距教學的素質。Hsu 和 Thomas (2002)以修習氣象學的大學生為對象，探討線上模擬動畫的特定特徵對學生概念改變的影響，結果顯示此模擬動畫對於學習的正面效益，並在深入探討後指出，學生的問題解決策略對於從模擬動畫中獲取知識有很大的影響力，但對於將新知遷移到真實世界則影響較小，顯示了在使用模擬動畫輔助教學時也要同時注意學生某些的學習特質。Winn et al. (2006)比較修習海洋學的大學生於實地與虛擬經驗的學習差異，分析結果顯示使用虛擬環境學習的學生製圖結果較實地組為佳，研究者認為這是因為虛擬組的學生在學習時不只學習概念、同時模擬動畫也提供了建構模型的學習機會，所以建議在教學時應該要實地與模擬並行才能有最大學習效果。

化學方面，Wu et al. (2001)使用視覺化工具輔助學生學習分子的構成，該模擬動畫提供學生以多重表徵建構分子模型並比較不同表徵之間的關係。該研究結果顯示該模擬動畫能幫助學生學習分子的建構與表徵之間的轉換，且電腦化的模

型可以作為學生產生心象 (Mental Images) 的載具。Trey 和 Khan (2008)使用一動態類比的模擬動畫來輔助十二年級學生對於勒沙特列原理 (Le Chatelier's Principle) 的學習，研究結果顯示動態、互動式、且整合式的電腦模擬類比相較於靜態的文本，在真實世界無法觀察的現象上會有更高的學習成果。

生物方面，Kiboss 指出學生對於模擬動畫教學活動的投入程度將影響高中二年級學生在學習細胞理論上的學業成就與正面態度，該模擬動畫包含了細胞分裂個階段的圖片、動畫與文字敘述且容許學生自行決定學習步調。Marbach 比較了模擬動畫輔助教學、使用教科書的啟發式教學活動 (如畫圖、填空、填寫引導問題等)、與傳統式教學在分子遺傳學學習的影響差異，結果顯示模擬動畫組與啟發式教學組的學習成就無顯著差異，但模擬動畫在開放式問題的得分較另外兩組為高。

物理方面，Jimoyiannis 和 Komis (2001)在拋體運動單元的教學中使用模擬動畫，結果指出高一學生使用模擬動畫的學習成就顯著高於未使用模擬動畫的組別。Finkelstein et al. (2005)比較使用真實實驗器材與虛擬實驗器材的大學生在電路學實驗的學習成效差異，結果顯示使用虛擬實驗軟體的組別學習成效較高，此結果可能源於虛擬實驗器材的操作較為便利或是省時。Zacharia 和 Anderson (2003)在職前教師修習的一學期課程中，將一系列互動式模擬動畫視為認知架構以輔助學生對於力學、光學/波動學、熱學的實驗與探究學習，經過每個主題的訪談與概念測驗後，結果指出使用模擬動畫可以促進某些物理概念的改變，且增進學生對於實驗現象的預測與解釋能力。Olympiou et al. (2013)研究學生在學習光與顏色單元時，使用的模擬動畫除了具體表徵外輔以抽象表徵是否有差別，結果顯示在較簡單的單元輔以抽象表徵的模擬動畫對低先備知識的學生，相較只有具體表徵的模擬動畫更有幫助，而在複雜的單元對所有學生都有幫助，研究者認為此差異可能是由於較簡單的單元中高先備知識的學生可以自行在心智建構抽象概念所致。

由諸如上述在物理學科上應用模擬動畫的種種研究可以發現，模擬動畫在各

個物理的領域中都有其教學上應用的研究，凡舉力學（運動力學、流體力學）、電學（電磁學、電路學）到熱學、光學（幾何光學、物理光學）等(de Jong & Van Joolingen, 1998; Smetana & Bell, 2011)。可能因為一直以來物理概念抽象且複雜的特性，使得過去數十年來大量研究以發掘學生對於物理概念與過程的學習困難為目標(Jimoyiannis & Komis, 2001)，而模擬動畫多重表徵、具體化、互動性等優點與可能性，恰能針對許多物理學習的困難發揮其效益(Finkelstein et al., 2005)進而開啟了如此廣泛的應用。

值得一提的是，縱使模擬動畫一般已經被視為在物理上是有效的教學輔助工具，物理畢竟是與現實世界互相結合的學科而因此也在真實的學習成效尚有爭議之處(Finkelstein et al., 2005)。例如 Lazonder 和 Ehrenhard (2014)在研究國小學生對於自由落體單元的實驗學習成效時，結果顯示學生使用實物進行實驗比起使用模擬動畫進行實驗會有較多的概念改變，此結果可能是因為使用實物進行實驗的過程會提供學生較多的「觸覺線索（Tactile Cues）」進而改變其迷思概念，然而作者也提到此效應可能會隨著年齡、學習主題等而改變。這些爭議也提醒研究者，科技輔助教學縱然有其方便性與學習優勢，但也要時刻注意其可能伴隨的缺點或是限制。

二、 平板電腦輔助教學

(一) 平板電腦於教學上的應用

科技融入教育除了軟體部分，如上述的模擬動畫，在硬體方面為了達到更佳互動性及合作性的學習環境，許多種類的科技被應用在課室之中，如無線的即時反饋系統(Instant Response System)、各類型的電腦輔助合作學習系統等(Enriquez, 2010)。2002 年之後，則有越來越多的行動裝置供學習者們使用來促進科學學習成效，這些行動裝置包括了 PDA、智慧型手機、筆記型電腦、與平板電腦(Tablet PC)等，而這些行動裝置已經迅速地發展成擁有極高的移動性和運算效能(Lim, 2011)。在這些裝置之中，平板電腦結合了筆記型電腦的性能與方便性，且更多

了觸控螢幕/手寫的功能(Rogers & Cox, 2008)，因此被用來輔助學生的學習(Enriquez, 2010; Fister & McCarthy, 2008; Møller, Georgsen, & Jelsbak, 2013; Moore et al., 2008; O'Malley, 2010; Rogers & Cox, 2008; Roschelle et al., 2007)、促進教師教學(Fister & McCarthy, 2008; Lim, 2011; Uzoglu & Bozdogan, 2012)、或是增進師生或學生之間的互動(Enriquez, 2010; Koile & Singer, 2006; Roschelle et al., 2007)。

然而因為平板電腦發展歷史較短，且許多功能差異極大，所以究竟在教學上是否有其效益、或是要如何應用才會有效研究者們都還在討論當中(Lim, 2011; Murray & Olcese, 2011; Uzoglu & Bozdogan, 2012)，但除了平板電腦本身之外，與其配合的軟體或行動裝置應用程式（Applet，簡稱 App）也應占了很大的影響因素。Murray 和 Olcese (2011)以蘋果電腦旗下的行動裝置應用程式平台 Apple Store 為調查對象，從當時超過 250,000 個 App 當中蒐集了 315 個教育性的 App，並根據 Mean(1994)將之分類為教學類（Tutor）共 112 個、瀏覽類（Exploration）共 79 個、工具類（Tool）73 個、通訊類（Communicate）38 個、協作類（Collaborative）15 個。進一步分析這些 App 卻可以發現大部分對於教學的效益不大，如有些 App 只是單純顯示現存的資料或類比、有些則只是提供使用者反覆練習，總括來說，許多 App 宣稱專為平板電腦/iPad 所設計，但其實並沒有顯示任何特殊之處，即使對學習有幫助也只是因為平板電腦本身的硬體功能或作業系統所致。研究者總結或許因為軟體開發並未追趕上硬體進步的腳步，所以平板電腦如 iPad 或許尚無法在課室學習中扮演革命性的腳色。

此研究者觀點可能顯示了在現有的 App 市場中，教學性的 App 的質與量尚無法為教學帶來太大的助益。反觀來看，若非使用市面上的軟體，而是輔以特別為平板電腦融入教學環境所設計的 App 應會有不一樣的結果。此種做法可能有二，第一是教學者使用平板電腦的內建功能、輔以特別為該特性所設計的教學環境與活動，如 Møller et al. (2013)以平板電腦配合實驗記錄（紀錄數據或拍照）、工作單、瀏覽教材來進行微生物的教學即得到了正面的效益。第二是研究者開發教學

專用的軟體或 App 再搭配平板電腦的特性來進行教學，如 Koile 和 Singer (2006)、Fister 和 McCarthy (2008)與 Enriquez (2010)使用平板電腦的無線網路功能搭配專用的線上學習平台、互動 App 等來達成師生互動或是學生之間的即時互動，對於數學、化學、物理、工程等教學也有相當正面的結果。

然而，以上所提及的研究所涉及的平板電腦優點大多侷限於手寫螢幕、移動性、與無線網路，極少數研究如 Miura, Ravasio, 和 Sugimoto (2010)使用平板電腦較新興的功能如 GPS 來輔助田野調查教學，且教學的主題也大多集中在地球科學或考古學等。截至目前為止，現今的平板電腦在物理教學的應用可能並未完全發揮其硬體的潛力。哪些平板電腦的功能可以被使用於輔助物理教學？教育性的 App 如何設計才可以發揮這些平板電腦的功能？為了在這些問題提供一些解答的方向，以下試討論平板電腦的特性與 App 的設計準則作為本研究教學工具的設計參考。

(二) 平板電腦與 App 的特性

根據平板電腦的新興硬體、上述各研究以及 Cromack (2008)、Lim (2011)、Amelink, Scales, 和 Tront (2012)對於平板電腦輔助教學的分析與調查，在此整理出六種平板電腦或許可以提供新學習機會的功能與特性。且為了更加探討這些功能與特性能發揮的潛力，一併整理在設計物理的教育性 App 時相對應的方針。

1. 移動性 (Mobility)：由於平板電腦的機身不重，比起一般電腦或是都更加的輕便及容易攜帶，所以可以沿襲筆記型電腦的移動特性(Frolík & Zurn, 2005)，教師可就此移動性將教學更加情境化、更貼近真實世界。在 App 的設計上，可以鼓勵學習發生在課室之外，且在真實場景中整合環境與虛擬物體促進學習進行(Chang, Wu, & Hsu, 2013; Wu, Lee, Chang, & Liang, 2013)。
2. 直覺性介面 (Intuitive Interface)：平板電腦提供人性化、貼近使用者 (User-friendly) 的介面，或許能將使用鍵盤與滑鼠的認知負荷減低。例如直接在螢幕上書寫比起製作簡報投影片或在黑板上書寫來的有效率(Lim,

2011)、學生在互相討論或回答問題時比起打字也更方便、容易表達(Fister & McCarthy, 2008; Roschelle et al., 2007)。配合手寫筆的話，也可以提供學習者立即在螢幕上書寫(Moore et al., 2008; Roschelle et al., 2007)甚至運用筆上的按鍵快速切換書寫顏色與模式。因此在 App 的設計上，研究者可以提供學習者多樣的輸入方式，包括打字、觸控、手勢拖曳、語音輸入等。更廣泛地來說，使用者可以運用各種感官（如視覺、聽覺、觸覺）來與模擬動畫互動(Oswald, 2011)。

3. 內建感測器 (Embedded Sensors)：新興的平板電腦內建多種感測器，如加速度感測器、陀螺儀 (Gyroscope)、環境光感測器 (Ambient Light Sensor)、收音麥克風等都已相當普及。在使用上，平板電腦可以立即顯示不同感測器的數據供學生收集與分析資料而不需要額外安裝各式各樣的感測器。在 App 的設計上，教學者可以利用這些功能來設計需要收集數據的教學活動(Madeira et al., 2011)並建構科學概念。
4. 統整性系統 (Integrated System)：平板電腦結合一系列工具供我們作使用，包含可以用照相機照相或錄影、用 GPS (Global Positioning System) 定位、播放多媒體、使用行動通訊技術（如 Wi-fi、3G）連上網際網路。這些整合的系統可以讓學生在單一台機器上就能完成多樣的任務，而不需要帶著大包小包且繁瑣的器材進行教學(Inoue, Yamamoto, Nakazawa, Shigeno, & Okada, 2005)。
5. 多點觸控螢幕 (Multi-touch Screen)：平板電腦內建多點觸控的螢幕，且螢幕的尺寸較智慧型手機為大。比起過去的螢幕只能單點觸控或拖曳，此硬體的突破可以讓學生簡單地放大或縮小螢幕、同時操弄複數個物體、或是運用手勢下達更多樣化的指令。由於真實世界的科學現象往往牽涉不只一個變因，且其改變往往是同步的，因此多點觸控可以使得模擬動畫更為貼近真實情況。另外，若螢幕夠大，多點觸控螢幕的特性亦可以讓學生以合作的方式在同一載具上進行學習(Kim, Meltzer, Salehi, & Blikstein, 2011)。需要注意的是，本

特性專指「多點」觸控的部分，至於觸控之功能特性已包含在「直覺性介面」中了。

如同上述 Murray 和 Olcese (2011)分析教育性 App 時所提出的觀點，已經有越來越多的 App 在設計上運用了平板電腦以上的新興功能。以 Android 平台上的 App 為例，「Instant Heart Rate」分析照相機所錄下的影片以即時算出使用者的脈搏、「Star Chart」讀取 GPS 的數據以即時顯示對應的星空/星座圖、「Need for Speed」可以偵測陀螺儀的數據以轉動平板電腦代替方向盤、「RunKeeper」運用 GPS 的數據計算路跑的時速以及協助記錄里程和路線圖...等不勝枚舉，可惜的是大部分都不是針對教育或是沒有理論基礎作為設計背景。

在物理或是運動力學的應用上，本研究欲結合以上所描述的平板電腦特性與 App 設計原則。過去針對拋體運動學習的研究指出，因為單純虛擬的動畫並無法提供足夠的刺激、線索使學生產生概念改變，無法直接感知加速度的方向與大小也可能造成模擬動畫在此單元的學習成效較低(Lazonder & Ehrenhard, 2014)。而 de Koning 和 Tabbers (2011)也提出若是使學習者的身體跟著現象一起動作、或是以直覺性的手勢輔助其他表徵，則可能在減低工作記憶負荷(Working Memory Load)的同時刺激腦內連結以達到更有效率的學習。因此本研究將結合平板電腦感測器、統整性等特性使用一結合觸感(Haptic)及動感(Kinetic)的教育性 App 來輔助學生進行運動力學的概念學習。在此探討完「哪些平板電腦的功能可以被使用於輔助物理教學？」與「教育性的 App 如何設計才可以發揮這些平板電腦的功能？」問題後，更進一步欲使用針對以上特性所設計的教育性 App 來進行運動力學之「拋體運動」單元的教學並檢視其成效與影響因素，針對此 App 的描述，則在第三章有更詳細的說明。

第二節 視覺動作統整能力

由於本研究之科技使用，不論是電腦組的滑鼠使用、觸控組與動感組的觸控螢幕使用、動感組的重力感測器使用均仰賴視覺刺激與大量的手部操作（包含手指與手臂），因此本研究擬將視覺動作統整能力納為研究變項之一。本節就視覺動作統整能力作介紹，內容包括其理論基礎、與學習的關係、與操作任務的關係。

一、理論基礎

兒童的動作發展在最早期時，一些動作的產生或反射（如嬰兒的踢腿）被提出其內在歷程的運作與經驗無關，但隨著年紀的增長許多動作開始需要涉及知覺與多個系統，如抓握需要協調視覺、觸覺與手部肌肉(Robert, Rita, & Robert, 1991)。在兒童的學習中，Kephart(1971)強調知覺學習與動作學習間高度相關，提出「知覺動作說」，認為抽象的認知作用乃根源於具體的肌肉活動，因此他說：「行為發展始自肌肉活動，而且吾人所謂高層次的行為，也是植基於低層次的動作，因此較高級的活動係以肌肉的活動為基層的結構。」（引自許天威，1986）他並將學習過程分為下列六階段：

1. 大肌肉動作期（Gross-motor Stage）
2. 動作－知覺期（Motor-perceptual Stage）
3. 知覺－動作期（Perceptual-motor Stage）
4. 知覺期（Perceptual Stage）
5. 知覺－概念期（Perceptual-conceptual Stage）
6. 概念期（Conceptual Stage）

這些發展階段及動作－知覺作用階段為學習的基本階段，若此基本階段有所缺陷時，將影響兒童的學習速度及學習成就。由此可知，兒童早年的肌肉發展與動作反應，為一切學習與行為的開端。Kephart 更進一步指出任何的學習活動皆包括下列輸入、統整、輸出、回饋四個過程（引自許天威，1986）：

1. 輸入（Input）：指感官接受訊息的刺激而產生神經衝動，並傳入神經中

樞。

2. 統整 (Integration)：指個體接收各式各樣的訊息後之心理歷程為輸入中樞神經，由腦部加以組織整理，並將舊經驗與新刺激連結組合而形成一個完形。
3. 輸出 (Output)：指個體認知過程中，由刺激之感受與統整之後，引起動器反應的動作。
4. 回饋 (Feedback)：指對動作反應的核對功能，促進此知覺作用構成連鎖過程，並使知覺作用越趨精密正確。

在完成一工作任務時，動作與知覺的配合順序是：先由動作領導知覺，待知覺作用發展完成後，再由知覺作用指揮動作，以促進動作的執行。例如，開始時兒童雙手操弄環境中的事物，眼睛則跟隨著手的接觸與操弄而移動，以此了解環境中的事物，Kephart 稱為「手－眼活動」(Hand-eye Activities)，在此過程中動作與知覺的配合極為重要。

而在眾多知覺之中，視覺又被發展心理學者認為是最重要的感官，目前已經確知視覺系統在新生兒時期以發展得相當健全(Robert et al., 1991)。在視覺與動作的理論中，Getman(1965)提出視覺動作發展 (Visual Motor Development) 及視知覺發展 (Visual Perception Development) 理論，與 Kephart 同樣強調知覺與動作的發展具有密切的關係。Getman 指出個體動作與知覺的發展循著一定的順序而生，前一階段的發展乃是後一階段的基礎。而在指導兒童各種知動學習上，又以視覺動作統整能力 (Visual-motor Integration / Visuomotor Integration) 最重要。他認為學習程序可分為下列九個系統階段，稱為「視動模式 (Visuomotor Model)」且可分為兩部份，第一部份說明知覺動作的發展，為第 1. 至第 7. 階段、第二部份則在說明智能的發展及第 8. 及 9. 點，詳細列出如下 (引自張英鵬，1997)：

1. 天賦反射系統 (Innate Responses system)：個體一出生即具有的反應，是一切學習活動的基礎，包括有：頸緊張反射動作 (Tonic Neck Reflex)、震驚反射動作(Startle Reflex)、眼瞼及瞳孔對光線反射動作 (Light Reflex)、

握物反射動作(Grasp Reflex)、靜位—運動反射動作(Stato-kinetic Reflex)、肌伸張反射動作(Myotatic Reflex)等。

2. 一般動作系統 (General motor system)：此階段的基本動作技能包括爬 (Creeping)、走(Walking)、跑(Running)、跳(Jumping)、跑跳(Skipping)及單腳跳(Hopping)六項。兒童須熟練此系統的動作技能才會協調，以進行更高層次的學習活動。
3. 特殊動作 (Special Motor System)：學習前兩個階段的動作之後，使再進行眼—手協調動作(Eye-hand Relationship)、雙手同時運作(Combinations of Two Hands Working Together)、手—腳協調動作(Hand-foot Relationship)，發音與表情姿態關聯(Voice 和 Gesture Relationship)等技能的學習。
4. 眼球動作系統 (Ocular Motor System)：本階段的發展重點在於雙眼的配合移轉與運作，所必備的視覺技能有注視(Fixation)、移視(Saccadic)、追視(Pursuits)、環視(Rotation)。
5. 說話—動作系統 (Speech Motor System)：語言—動作與聽覺統整包括三項能力：牙牙發聲(Babbling)，模仿的發聲(Imitative Speech)、自創的發聲(Original speech)。雖然此模式著重於視覺，但 Getman 認為視、聽、說三方面的配合，有助於知覺的發展。
6. 視覺認知系統 (Visualization System)：個體由視覺與聽覺及其他感官所獲得的印象可以再生 (Recall)，此種能力可分為兩種：a.即刻的視覺影像 (Immediate Visualization)；b.過去與未來的視覺影像 (Past-future Visualization)。
7. 知覺動作(Perception)：知覺作用為前述各階段內各種能力逐層發展而成，若前述能力的發展有困難，則容易導致知覺作用的障礙。
8. 認知作用 (Cognition)：由於視覺形象的統整可以構成認知，因此經由各知覺作用的統整，進而構成個體的認知能力。

9. 符號化與抽象的過程（Symbolic & Abstract Processes）乃至智能的發展（Intellectual Development）。

由 Kephart 與 Getman 的理論可知視覺與動作之間的關係，而連結兩者的能力即視覺統整能力，此能力與應與學習有極大的關係。至於實際會作用於何種學習與其作用機制為何，則因後續研究而逐漸明朗化，在此將繼續說明。

二、 視覺動作統整能力與學習

由上述視覺動作統整能力的機制可想見，此能力應該會與手部相關的學習行為有相當程度的正相關，而許多研究也已經以實徵的研究宣稱視覺動作統整能力對手寫能力（Handwriting Skill）與閱讀能力有顯著的影響(Barnhardt et al., 2005; Contreras-Vidal, Bo, Boudreau, & Clark, 2005; Daly et al., 2003; Goldstein & Britt, 1994)。另外，數學學習成就也被指出與視覺動作統整能力有關(Barnhardt et al., 2005; Goldstein & Britt, 1994; Kulp, 1999; Sortor & Kulp, 2003; S. A. Vogel, 1990)，原因可能由於數學計算均須使用紙筆且低視覺動作統整能力的學生在幾何圖形的抄畫上也較容易遇到困難(Sortor & Kulp, 2003)。進一步的研究可以發現，以上趨勢在控制認知層次後依然存在，但年齡上在幼稚園至國小低年級階段最為明顯(Kulp, 1999)，因此視覺動作統整能力時常被作為早期學習障礙的指標之一(S. A. Vogel, 1990)。

三、 視覺動作統整能力與操作任務

使用科技輔助學習時必定要進行許多複雜的手部操作行為，以視覺動作的觀點來看，當行為者需要執行特定的簡單動作（如抓取或將手伸至特定位置）時有可能有兩種理論架構：第一種是「空間—動作對應（Spatial-to-motor Map）」，即是將空間座標（Spatial Coordinate）轉換為轉動關節的指令，屬於反向動作模式（Inverse Kinematic Model）。此種模式需要不斷地由視覺回饋計算目標所在和當前位置，並將兩者的差距向量轉換成關節轉動的指令以行經正確的軌跡；第二種是「動作—空間對應（Motor-to-spatial Map）」，即是將當前的手臂位置用動作座

標 (Motor Coordinate) 轉換為空間座標使整個系統預測當前軌跡的空間結果，是一種順向動作模式 (Forward Kinematic Model)。感官的回饋提供手部當前位置以利調整動作—空間對應，並同時提供手部動作的資訊以利調整空間—動作對應(Bullock, Grossberg, & Guenther, 1993)。而其實許多操作任務所需的轉換機制遠比上述的簡單動作對應還要複雜得多。例如任務為將滑鼠指標移至電腦螢幕的指定地點時，空間—動作對應的精準度不只會被本身感官的不契合(Incongruency)影響，還會被滑鼠的感測器輸入所影響，使得操作更加困難(Bo et al., 2006)。

若根據以上理論檢視本研究，本研究之不同科技使用組別其操作任務複雜程度會因滑鼠使用、觸控螢幕使用、重力加速度感測器的使用而有所不同，因此視覺動作統整能力對學習成效的影響於各科技使用組別會有所不同。回顧相關的研究，Lane 和 Ziviani (2010)在研究影響學生使用滑鼠的變因時其研究結果即顯示視覺動作統整能力確實會影響到學生操作滑鼠的速度、流暢度 (Fluency)、與精確度 (Accuracy)；Kane, Jayant, Wobbrock, 和 Ladner (2009)利用行動裝置輔助視知覺或動作能力缺陷者的日常生活，且有正面的效應。雖然本研究由本章第一節之文獻探討可預期平板電腦特性或許可以彌補視覺動作能力的差距，但此些研究都並未進一步討論科技使用是否會影響使用電腦或平板電腦輔助教學時的學習成效，因此本研究希望由資料分析結果試圖找尋可能的答案。

第三節 空間能力與物理學習

一、空間能力

空間能力 (Spatial Ability) 歷史上源於針對機械性向 (Mechanical Aptitude) 與實作能力 (Practical Ability) 的研究。從 1925 年開始，許多學者們已使用因素分析法將空間能力從語文能力中區分出來，並進一步探討空間能力的內涵與其在學習者上的個別差異 (McGee, 1979)。而接續的一系列研究開始轉而討論空間能力與邏輯推理能力、數學能力、各學科學習成效等之間的關係，自此空間能力已普遍地被視為心智能力的成分之一，如 Turstone (1941) 提出之心理能力論 (Primary Mental of Intelligence) (引自 Linn & Petersen, 1985) 或是 Gardner 的多元智能 (Gardner & Hatch, 1989) 均強調空間能力為其重要因素。Linn 和 Petersen (1985) 整理出研究空間能力的觀點大致可分為四類，分別為：

- 差異觀點 (the differential perspective)：比較空間能力在各種母群體的差異，如空間能力在性別上的差異等。
- 心理計量觀點 (the psychometric perspective)：比較各種空間任務的相關性，藉此定義空間能力的因素 (factors)。
- 認知觀點 (the cognitive perspective)：探討人們解決特定空間任務時的心智過程。
- 策略觀點 (the strategic perspective)：探討人們解決給定空間任務時使用的策略。

上述四種研究觀點顯示了空間能力的複雜性，且在此領域形成了百家爭鳴的景況。雖然如此，研究結果都不約而同地指向，進而與數學、科學、機械領域的學習成效有相當大的關聯 (Pellegrino, Alderton, & Shute, 1984; Shea, Lubinski, & Benbow, 2001)。依據研究者們所抱持的理論架構與基本假設不同，空間能力也有著許多不同的定義與內容，以下茲將國內外學者對空間能力的定義整理如表 2-3-1：

表 2-3-1 國內外學者對於空間能力之定義

研究者	空間能力之定義
Thurstone (1938)	空間能力是能夠在心中記住一個空間圖像，並在腦海中扭轉、移轉或者旋轉這個圖像至一個新的位置，再將此變動過的圖像與研究者所提供的圖像進行比對的表現能力（引自李琛玫，1996）。
Guilford & Lacey(1947)	空間能力是能夠在心裡想像物體的旋轉，及在平面上想像物體被展開後的平面圖或摺起後的立體圖形，或是瞭解空間中物體位置改變之關係的能力（引自李琛玫，1996）。
Lohman (1979)	空間能力是能夠類化、保留及轉換抽象視覺圖像的能力。
McGee (1979)	空間能力是對視覺刺激形式內部安排的理解，即不受方位改變而產生混淆的能力，並且能在心理操作、旋轉或扭轉以視覺呈現的刺激物的能力。
Cooper & Regan (1982)	個體將平面或立體的視覺刺激，進行編碼、轉換、產生及記憶成內在表徵的能力。
Gardner (1983)	空間能力是在腦中想像事物 (picturing things in the head)，包含想像摺疊和旋轉物體的能力、描繪二度空間的物體視覺化（想像）三度空間物體，以及分辨由不同角度觀看同一物體的能力。
Linn & Petersen (1985)	空間能力是一種關於空間的知覺、概念、表徵及推理的能力。
Lord (1985)	空間能力是在思考時產生心像，以及轉換變化心象的能力。
Pellegrino & Hunt (1991)	空間能力是視覺圖像的推理能力。
Kelly (1992)	空間能力是對視覺形式的認知與記憶，即心理操作物體形狀的流暢能力（引自蔣家唐，1995）。

綜合以上學者對空間能力的研究可以得知，雖然空間能力的定義略有差異。但大多數研究均強調空間能力是一種心智運作的能力，知覺二度或三度空間的物體進而使用對其使用各種心智功能（如辨別、操弄、轉化、邏輯推理）的能力。

二、空間能力的類型

瞭解空間能力的定義後，也確認了空間能力的內涵並非單一且簡單化的。藉由早先眾多學者的研究，特別是以因素分析法作的探討，已可以對空間能力至少擁有兩種以上因素的說法提供強而有力的支持(McGee, 1979)。因此從 1940 年代以後探討其因素與架構已經成為了一個專門的研究領域，但至今還是眾說紛紜，未有一個非常明確的答案(Yilmaz, 2009)。其中較為大家廣泛引用的分類列舉如下：

1. Lohman (1988) 所提出較為重要的三種因素(鄭海蓮 & 陳世玉, 2007)：
 - (1) 空間視覺化 (Spatial Visualization)：在心智中將兩度空間的圖形摺疊成三度空間圖形、拆解成平面圖形或操弄物體的各元件的能力，可由方塊設計 (Block Design)、摺紙作業 (Paper Folding) 來進行測量。
 - (2) 空間關係 (Spatial Relations)：在心智中快速又正確地旋轉操弄並辨識物件的能力，可由圖形作業進行測量。
 - (3) 空間方位 (Spatial Orientation)：藉由想像將物體重新排列，而後從不同角度推理觀看情形的能力，可由窗-椅測驗 (Chair-Window Spatial Orientation Test) 來進行測量。
2. McGee (1979)整理前人研究總結兩種主要的因素：
 - (1) 空間視覺化 (Spatial Visualization)：藉由想像操作、旋轉、扭轉、倒置物體的能力。
 - (2) 空間方位 (Spatial Orientation, SO)：想像物體在不同觀點時的樣貌。
3. Carroll (1993) 整理使用現代分析方法的研究並列出五個主要因素(Lohman, 1996)：

- (1) 空間視覺化 (Spatial Visualization)：操作視覺圖形的能力，依可以掌握其視覺材料的難度與複雜度決定能力高低，無關乎解決任務的速度。
 - (2) 快速旋轉 (Speeded Rotation)：相對簡單地操弄視覺圖像（如心智旋轉、轉化）的速度。
 - (3) 完形速度 (Closure Speed)：領會與辨認視覺圖像的速度，不包含進一步的理解。
 - (4) 完形變通 (Closure Flexibility)：尋找、理解與辨認視覺圖像的速度，包含事先知道什麼需要被理解、什麼應該被隱藏。
 - (5) 空間知覺速度 (Spatial Perceptual Speed)：尋找已知視覺圖像或是比較圖像的速度。
4. 國內部分有鑑於現階段將發展多元智能視為教育發展的重要目標之一，教育部頒定之九年一貫課程內容即包含了圖形與空間（教育部技職司，1998）。因而康鳳梅等人(2006)自 2003 開始由構念層次的成因指標 (cause indicators) 發展針對我國高職學生的空間能力指標。各指標如下（引自簡慶郎，2005）：
- (1) 空間方位 (Orientation)：受試者能從不同的角度想像物體或圖形在空間的旋轉變化，且對改變方向的物體或圖形擁有想像的能力。
 - (2) 空間關係 (Spatial Relations)：受試者能夠想像在空間中將不同的物體面互相關聯，並想像操弄其摺合、展開或旋轉組合與分解的能力。
 - (3) 空間感觀 (Spatial Perception)：受試者能夠正確辨識物體相結合外觀所形成之線，且對所觀看的物體能夠形成精確影像的能力。
 - (4) 空間視覺化 (Spatial Visualization)：受試者能夠經由心理旋轉、移動，而將相對位置改變的物體操作或轉換其空間模式的能力。
 - (5) 空間組織 (Spatial Organization)：受試者能夠組織經由觀察物體不同方向之空間影像，而揣想其另一方向之影像或立體之能力。

由上述可知在各學者強調之空間能力因素中，有許多項目重複出現，代表基本核心已經成形，總括的來說均對應空間能力為心智上的心像操弄，內含數種運

作形式且考慮速度的變項。但值得注意的是某些變項（variances）就算眾多研究使用因素分析法也難以完全釐清(Stumpf & Eliot, 1999)，該名詞在不同的理論架構中，均有或多或少定義與解釋上的差異。如重複出現多次的「空間視覺化」，Lohman 的解釋與 McGee、Carroll 的解釋在操作任務的描述有相當出入，也提醒我們不同因素的定義將左右其適合的測量方式，反之，不同的測量方式對應的操作任務、空間能力內涵都將不同(Yilmaz, 2009)，我們在探討某空間能力因素時必將其測量方式與操作任務都納入考量。

三、空間能力與學習之關係

為數眾多的研究都已指出，空間能力與科學學習成效有相當大的關係(Lord, 1985; Pribyl & Bodner, 1987; Yang, Andre, Greenbowe, & Tibell, 2003)。Shepard (1979)總結地說到，由報告指出科學家如愛因斯坦(Einstein)、法拉第(Faraday)、華生(Watson)在發展想法時的思考流程應是使用內在心像或視覺表徵(Pallrand & Seeber, 1984)。化學學習方面，Pribyl 和 Bodner(1987)認為對於需要在心智上處理一個分子之二度空間表徵的問題解決時，高空間能力學生的表現顯著優於低者。Bonder 和 McMillen 之研究顯示空間能力測驗與一班化學成就測驗有正相關。生物學習方面，Macnab 和 Johnstane 指出三度空間至二度空間、二度空間至三度空間的轉換等空間能力在生命科學中扮演相當重要的腳色，且這些能力都與顯微鏡的使用有關。Lord(1985)的研究結果指出，在產生及控制心像有困難的學生，會對解讀圖表產生困難，生命科學課程的表現也較差。地球科學學習方面，Bishop (1987)指出空間能力與天文的學習關係密切。Orion, Ben-Chaim, 和 Kali(1994)的研究結果顯示，地質簡介課程之成績與學生空間透視能力之表現呈高度相關。物理方面，Pallrand 和 Seeber (1984)發現能成功學習物理的學生大多具有較高的空間能力。

第四節 拋體運動常見之另有概念

一、另有概念與學習

學生在課堂中正式進行科學概念的學習之前，通常已經在生活中已有相關的經驗。這些由生活事件或現象的經驗形成的想法有時因為無法客觀及考慮其他影響條件，而與現行科學家的想法與理論不同，被稱為「另有概念（Alternative Conception）」或「迷思概念（Misconception）」(Smith, diSessa, & Roschelle, 1994)，也因此 Posner, Strike, Hewson, 和 Gertzog (1982)指出「學生並非如同白板（Blank Slate）一般進入課堂中」，即學生是帶著關於他們日常生活現象如何及為何運作的完整理解。在教學過程中，學習者基於過去的背景知識、態度、與經驗產生自己對於目標的意義與詮釋。從認知模型的角度來看，學生從自己對於世界的觀點針對現象或事件建立了合感知的（Sensible）、同步（Coherent）的理解(Osborne & Wittrock, 1983;引自 Dilber, Karaman, & Duzgun, 2009)。

關於學生的另有概念，至今為止還沒有文獻能夠有效指出何種教學方法能夠使其完全轉換(Başer & Geban, 2007)。但在科學學習中教學策略相當重要，因為可以促進有意義的學習以及避免迷思概念的產生。由過去的一些研究可以得知，電腦模擬動畫對於中學生至大學生的階段，不只可以增進問題解決能力並可以相當程度協助改變迷思概念(Dilber et al., 2009)。電腦模擬動畫可以簡化在現實生活中太複雜的現象，且學生可以藉由操作（如改變參數）立即獲得視覺化的回饋，由此過程詮釋模擬動畫中的科學概念並與自己的概念做對照，最後形成並驗證其假設(Carlsen & Andre, 1992)。由上述文獻，本研究可以預期使用使用電腦模擬的三組科技使用組別均會產生概念改變。且如同本章第一節所述，由於平板電腦的重力加速度感測器特性可以使學生由手部就感知模擬動畫中物體所受的重力方向與大小，所以應更容易與生活經驗產生關連，進而促使更多另有概念的改變。

二、拋體運動常見之另有概念

因本研究預定於拋體運動概念評量開放性問題部分進行另有概念的頻率分析，所以在編碼之前在此蒐集並整理既有對拋體運動概念之研究結果，茲列出如表 2-4-1，且此處所指拋體運動均特只在同一平面之運動：

表 2-4-1 過去文獻對於拋體運動另有概念研究整理表

類別	另有概念	研究者
對於專有名詞的混淆	速度與加速度的混淆。	Muller, Bewes, Sharma, 和 Reimann (2008)
	位移與速度的混淆。	Muller et al. (2008)
	斜向拋射與水平拋射的混淆。	Muller et al. (2008)
對於過程錯誤的想像	動量與力的混淆，認為等加速度需要越來越大 越大的力來維持。	Muller et al. (2008)
	移動的物體必定有力作用在其移動方向上。	Prescott 和 Mitchelmore (2005)
	水平拋射的軌跡為「倒 L 型」，即拋體會 做水平運動直至作用力「用盡 (Ran out)」 才由重力開始作用。	Gilbert 和 Watts (1983)
	落體受空氣阻力的影響會以相同的加速 度減速。	Dilber et al. (2009) 邱維宣 (2002)
	自由落體運動軌跡會受使其加速的外力 影響 (如球棒施與球的力)。	邱維宣 (2002)
	在北極或南極地球的重力會比較小。	Dilber et al. (2009)
	對同樣高度不同質量的自由落體，質量越 大的物體掉到地面的時間越短，即重力加 速度與本身質量相關。	Dilber et al. (2009) Gilbert 和 Watts (1983)

物體的重量只跟質量有關。	Dilber et al. (2009)
	Gilbert 和 Watts (1983)
重力大小與物體狀態有關，即運動中的物體受到的重力大於靜止的同樣物體。	Prescott 和 Mitchelmore (2005)
重力大小會因不同的物體本身性質而有差異（如氣球與太空人的靴子）。	Gilbert 和 Watts (1983)
增加氣體壓力會使自由落體的速度更慢。	Dilber et al. (2009)
水平與垂直方向運動會互相影響。	Dilber et al. (2009)
	邱維宣（2002）
若在重力加速度比地球弱的星球以同樣速度拋射同一物體，能達到的最大高度會比較小。	Dilber et al. (2009)

以上列之參考文獻中，邱維宣（2002）之研究對象為高中一年級學生、Dilber et al. (2009)之研究對象為 16 至 17 歲即高一或高二學生、Gilbert 和 Watts (1983)則是整理先前眾多研究結果，對象由國中至大學生不等、Muller et al. (2008)之研究對象為大一物理相關科系的學生、Prescott 和 Mitchelmore (2005)則以高三學生為研究對象。本研究以高中一年級為對象，於國中時已曾約略接觸過拋體運動概念但未深入探究，因此雖以上述之另有概念為開放性問題之編碼基礎，但可預期這些另有概念不會盡數出現在本研究中。

第三章 研究方法

本研究採取準實驗研究法（Quasi-Experimental Design）的設計，本章節共分為五節，將針對本研究之研究方法做詳細地描述，內容包括「科技使用與教學設計」、「研究對象」、「研究流程與設計」、「研究工具」、「資料收集與分析」五個面向。

第一節 科技使用與教學設計

一、科技使用

本研究涉及運動力學中的「拋體運動」單元，綜合第二章對於模擬動畫、科技使用與物理教學研究文獻之探討，基於視覺化、便利性、資料收集效率等考量已有越來越多研究使用模擬動畫輔助運動力學教學。但另有一派學者指出與實體物件的互動可以激發額外腦內活動進而提升學習記憶的保持（Retention）與提取（Retrieval），即使同樣是「動手做（Hands-On）」，許多資訊在虛擬的環境中、單單由滑鼠來操作實驗是難以被經歷到的(Lazonder & Ehrenhard, 2014; Marshall, Cheng, & Luckin, 2010)。針對此爭論，本研究欲將模擬動畫的教學結合平板電腦之特性並使用與之配合的教育性 App，試圖探討不同的科技使用是否能夠在運動力學的教學上開創不同的可能性。在研究設計上，本研究將教學依載具與使用方式的不同將學生分為三組，茲分別敘述如下，並整理成表（見表 3-1-1）。

（一）電腦組

此組別之學生每人均配有一台桌上型電腦與滑鼠，並輔以針對拋體單元學習之模擬動畫進行教學。在動畫中可以設定一至最多十個物體同時進行拋射的實驗，模擬動畫操作與實驗步驟大致如下：

1. 學習者設定欲進行實驗的物體數量。
2. 學習者拖曳與物體同色之箭頭以設定初始速度方向與大小（如圖 3-1-1.a）。
3. 在進階的概念學習中，學習者可以勾選是否要在動畫開始前或動畫進行中改

變重力加速度（Gravitational Acceleration，代號 g ），並拖曳白色箭頭改變重力加速度之大小與方向（如圖 3-1-1.b）。

4. 學習者可以設定播放速率調整動畫呈現之速度。
5. 學習者按下「Play」鈕並觀察物體依照先前設定之初始參數所呈現的運動過程（如圖 3-1-1.c），依據探討問題情境的需要，可以在動畫撥放過程中即時改變重力加速度之向量。
6. 學習者觀察運動物體留下之軌跡，對照軌跡上之標記以理解該物體在某時刻的位置，也可以由此判斷是否與其他物體有碰撞（如圖 3-1-1.d）。最後，學習者可以按下截圖鍵將整個螢幕畫面保存至記憶體、按下「Reset」鈕重置物體進行下一輪實驗、或是按下「Clear」鈕清除所有軌跡由步驟 1. 重新開始實驗。

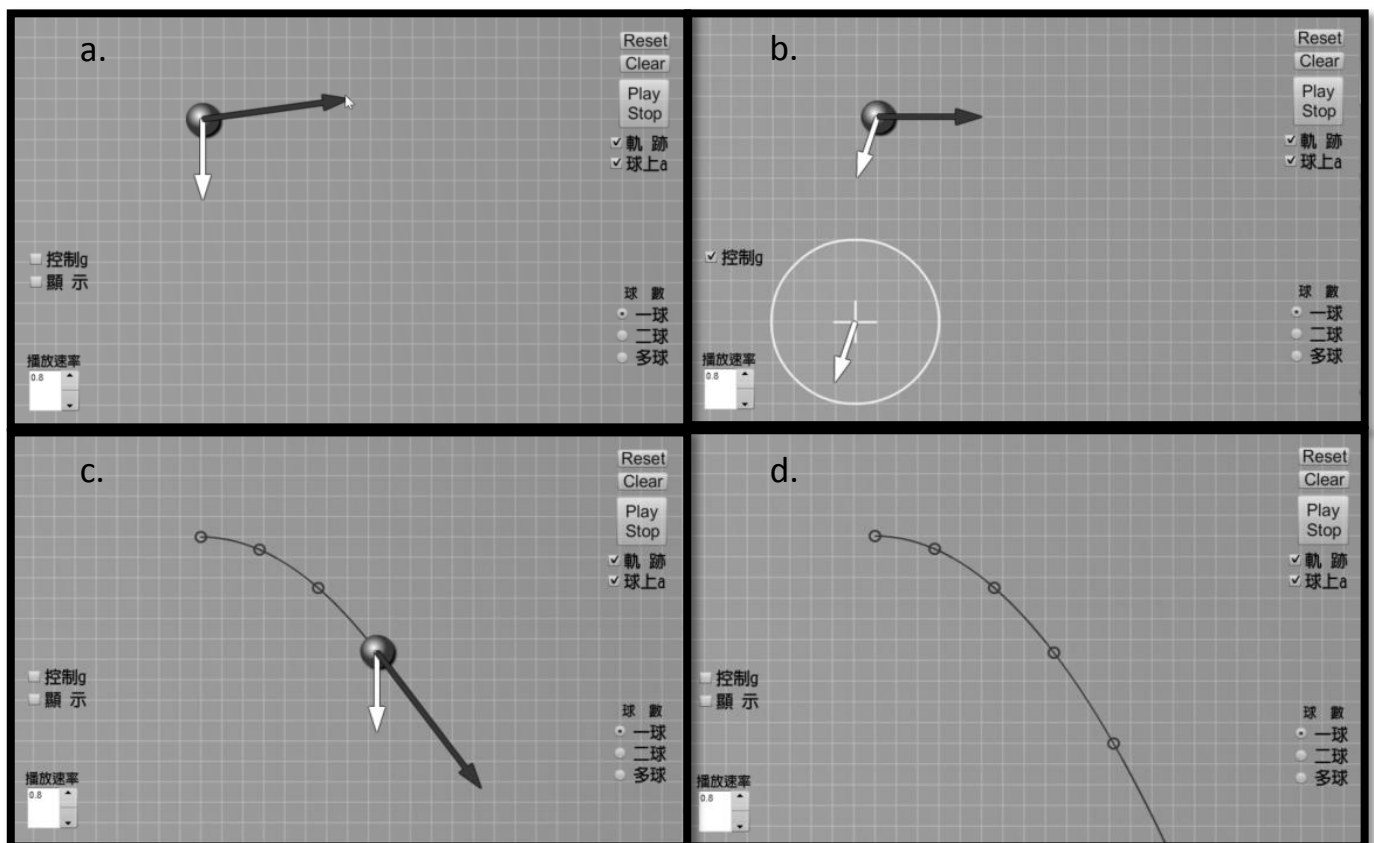


圖 3-1-1 電腦模擬動畫各階段的操作介面；a.設定拋體初始條件 b.設定重力加速度 c.拋體運動過程 d.拋體運動軌跡

為避免學習者一次接收過多資訊而造成認知負荷，本模擬動畫允許學生勾選是否要呈現運動軌跡或物體上的重力加速度。除此之外，本模擬動畫的介面與作設計符合 Swaak 與 de Jong (2001)所提之發現式模擬動畫應具有的特性－各向量與軌跡的呈現使用多種視覺化或動態的表徵（豐富性）、物體的運動狀態直接呈現在學習者眼前而不需想像（低透明度）、學習者必須自行設定拋體的初始條件並主動探索結果與控制變因之間的關係（主動互動性）。

(二) 觸控組

本組之學生每人均配有一台平板電腦，並使用 Android 系統作為 App 的載具，該款平板電腦重約 680 克、搭載 10 吋觸控式螢幕、且內建重力感測器與陀螺儀等感測器。本組所使用之 App 以電腦組所使用的模擬動畫為基礎，介面與操作步驟均與上述電腦組之操作步驟相同，但在步驟 2. 3.及 5. 中，向量箭頭的設置由滑鼠改為手指直接拖曳、在步驟 1. 4. 6. 中則以手指直接觸碰螢幕取代滑鼠點選。根據 de Koning 與 Tabbers (2011)所指出學習者若以直覺性的手勢輔助學習、加上觸感（Haptic）的刺激，則有可能達到更有效率的學習，因此與電腦組最大的差異之處在於滑鼠的操作替換為手指直接的操控，學習者可以藉由手指的拖曳直覺地體會各向量的大小與方向（如圖 3-1-2）。

此組別在平板電腦的輔助教學上，呼應了若干先前所述平板電腦的特性與設計物理教學 App 應考量的面向，如學生可以在分組討論時可以互相傳閱或直接展示給同學們看實驗結果（移動性）、實驗操作與設置並不需要教師額外說明就能如同實物般使用（直覺性介面）、學生可以將實驗結果藉由內建的截圖功能保存並上傳到雲端空間分享或留存（統整性系統）。

(三) 動感組

本組硬體設置與觸控組相同，且與觸控組使用相同之 App。不同之處在於動感組開啟 App 中之重力加速度感測器讀取功能，即上述操作步驟 3.及 5.之中，模擬動畫內物體所受的重力加速度並非由拖曳重力加速度向量來進行設定，而是直接讀取平板電腦內的感測器數據並直接顯示在螢幕上，重力加速度的方向與大

小隨著平板電腦的旋轉與傾斜而改變（如圖 3-1-3），符合第二章所述內建感測器的平板電腦特性。因此本組除了擁有電腦組、觸控組的特性之外，更多了動感（Kinetic）的刺激，且學習經驗應更加直覺、也更加貼近真實世界的環境。

表 3-1-1 科技使用組別比較整理

	電腦組	觸控組	動感組
載具	電腦	平板電腦	平板電腦
操作媒介	滑鼠	觸控螢幕	觸控螢幕 重力加速度感測器
豐富性			
模擬動畫特性	低透明度 主動互動性	同電腦組	同電腦組
平板電腦特性	無	移動性 直覺性介面 統整性系統	移動性 直覺性介面 統整性系統 內建感測器

二、教學設計

（一）POE 教學策略

本研究為使科技使用達到最大的教學效果，希望學生能在開放的問題情境中進行探究活動並建構科學概念，因此採用「預測－觀察－解釋（Predict—Observe—Explain）」，即 POE 的教學策略。POE 常用於實驗活動的教學，其運用上著重學生主動積極的探究過程，重視學生的經驗與既有概念且強調有意義的學習。教師應營造適當地問題情境，引導學生由學習經驗產生認知上的轉變，發展學生反思及問題解決的能力（林嘉琦，2006）。而 POE 教學策略的實施通常包括以下三個步驟(White & Gunstone, 1992)：

1. 預測 (Predict)

教師首先需要讓學生了解教學活動的情境，向學生說明教學活動的流程並提醒必須注意的事項。讓學生明瞭接下來必須進行預測後，便開始呈現實際的問題情境，允許學生詢問相關的問題以確認學生確實掌握問題的核心。接下來引導學生針對問題討論並提出預測，提出預測的方式包含選取選項或回答開放式問題等（口語、紙筆皆可），並要求學生就預測提出思考脈絡與理由。進行預測的目的有二：

- (1)幫助學生回顧且確認自身相關的背景知識，並決定運用何種概念來回答問題與做出預測。
- (2)使學生藉由口語或書寫持續思考、整理思緒，並在之後的觀察活動更加聚焦於重點概念。

在此階段教師可以盡量鼓勵學生進行討論，可以歸納想法但暫時不作評判，因在開放性的討論環境下，學生能有較高的投入且能增進學生間合作學習的機會，此階段的參與對學習成就較低之學生尤其重要。

2. 觀察 (Observe)

實驗或演示開始後，請學生立即記錄或描述個人所觀察到的現象。根據經驗顯示，即使是同一現象也會使不同的學生擁有不同的經驗，因此「立即紀錄」便是避免學生在聽取別人觀點後影響自己的觀察。教師在此階段可以協助學生聚焦於現象與主題概念之間的連結，避免觀察結果過於發散無法回答引導問題。

3. 解釋 (Explain)

實驗或演示結束後，可以請學生討論觀察的結果。當學生先前的預測與觀察的結果一致時，可以藉由觀察紀錄再次檢視先前概念的正確性，並進行概念的深化。當預測與觀察有出入、不一致時，即產生認知衝突，此階段需要學生協調兩者差異並重新建立認知平衡。對於學生來說此步驟是有挑戰性的，教師應適時引導，以討論來鼓勵思考各種可能，直至收斂出解釋，而此過程中的解釋即呈現出學生對於科學概念的理解情況。

(二) 本研究之 POE 教學策略實施

在本研究之「拋體運動」單元中，學生應已具備運動力學的基本知識（如位移、速度、加速度之間的關係與重力加速度的基本敘述），但初次接觸二維空間的運動。三科技使用組別的教師均為研究者本人，且在教學情境中，教師引導學生將模擬動畫中之圓球物體視為砲彈，進而探討在何種條件或原則下砲彈會碰撞（即攔截成功）。就概念的複雜程度與層次，三科技使用組別之教學活動均為 90 分鐘，進行 4 個循環的 POE 教學活動，且 4 個 POE 教學循環中之電腦模擬動畫與 App 的使用方式均相同，唯各科技使用組間在 POE 各階段所使用的硬軟體特性可能有所不同如表 3-1-2。詳細教案以觸控組為例，請見附錄（一）。三組的活動流程均相同以減低教學策略不同造成的差異，均包含了 1 次的前導循環，令學生複習先前學過的相關概念以及熟悉電腦或平板電腦的操作再進行 3 次的正式循環，每次的 POE 教學活動均遵循以上所述的步驟以及注意事項，：

- **準備階段：**教師描述情境並引起學習動機，確認學生對於問題情境（包含情境中蘊含的假設）到達一定程度的掌握，便開始進行正式活動。
- **預測階段（Predict）：**教師引導學生思考問題並建立自己的預測，進而分組進行討論，教師徵求各組別發表討論過後認為最有可能的預測，最後歸納整理學生的觀點且要求學生在接下來的實驗中針對這些重點仔細觀察。
- **觀察階段（Observe）：**學生自行操作模擬動畫或 App 進行實驗的驗證，教師協助操作上的疑問並確認學生是對於該問題情境聚焦探討，同時要求學生截圖且紀錄自己的觀察。
- **解釋階段（Explain）：**學生整理自己的觀察並與先前的預測對照，教師引導學生思考其中的異同進而提出合理的解釋。此階段在個別思考完後，允許學生與其他組員分享紀錄或截圖、傳閱平板電腦。隨後教師邀請各組發表整理完的原則以及背後的概念，電腦組可以藉由廣播系統操作模擬動畫給全班看，觸控組及動感組則將平板電腦連接投影機進行演示。教師一邊歸納學生的概念一邊深化其思考，最後總結並帶出下一循環的問題情境。

表 3-1-2 教學活動內容及各組教學差異對照表

教學活動內容	電腦組	觸控組	動感組
● 引起動機 ：教師以真實情境問題引起學習動機，並描述問題情境、假設、及教學目標。	以電腦播放動畫影片	以平板電腦播放動畫影片	以平板電腦播放動畫影片
● 介紹科技操作 ：介紹接下來要使用的動畫或 App 如何操作、各功能所代表的意涵。	使用投影幕說明電腦動畫操作方式，學生以滑鼠初探。	使用投影幕說明 App 操作方式，學生以觸控螢幕初探。	使用投影幕說明 App 操作方式學生以觸控螢幕、轉動平板電腦初探。
● POE 前導循環			
- 準備階段	教師提出前導問題：「水平飛行的飛機空投砲彈時要如何準確的擊中地面上的目標？」並實際示範一次模擬動畫的操作與結果的判讀。		
- 預測階段 (Predict)	學生回顧相關概念並加以討論，以紙筆或文書軟體紀錄其預測。	學生回顧相關概念並加以討論，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。	學生回顧相關概念並加以討論，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。
- 觀察階段 (Observe)	學生使用模擬動畫進行實驗並觀察水平速度與軌跡 (x 方向位移、y 方向位移) 之間的關係。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀	學生使用 App 進行實驗並觀察水平速度與軌跡 (x 方向位移、y 方向位移) 之間的關係。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、	學生使用 App 進行實驗並觀察水平速度與軌跡 (x 方向位移、y 方向位移) 之間的關係。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、

	摩並討論各自結果。	傳閱平板電腦並討論各自結果。	傳閱平板電腦並討論各自結果。
- 解釋階段 (Explain)	學生分組討論並推派代表使用螢幕廣播系統說明解釋。教師總結 y 方向位移與水平初速無關。	學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結 y 方向位移與水平初速無關。	學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結 y 方向位移與水平初速無關。
● POE 循環 1			
- 準備階段	教師提出引導問題 1：「兩砲彈均在同一水平線沿 x 軸拋射，在甚麼條件下能在落地前擊中？」並實際示範一次模擬動畫的操作與結果的判讀。		
- 預測階段 (Predict)	學生回顧前導循環並預測可能結果，以紙筆或文書軟體紀錄其預測。	學生回顧前導循環並預測可能結果，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。	學生回顧前導循環並預測可能結果，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。
- 觀察階段 (Observe)	學生使用模擬動畫進行實驗，調整兩球的初速及相對位置，觀察兩球軌跡之異同。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩並討論各自結果。	學生使用 App 進行實驗，調整兩球的初速及相對位置，觀察兩球軌跡之異同。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、傳閱平板電腦並討論各自結果。	學生使用 App 進行實驗，調整兩球的初速及相對位置，觀察兩球軌跡之異同。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、傳閱平板電腦並討論各自結果。
- 解釋階段 (Explain)	學生分組討論並推派代表使用螢幕廣播系統說明解釋。教師總結兩球之 y 方向位移均相	學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結兩球之 y	學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結兩球之 y

同，擊中與否應著重於	方向位移均相同，擊中	方向位移均相同，擊中
x 方向的變因，但必須	與否應著重於 x 方向的	與否應著重於 x 方向的
要在 y 方向位移超過高	變因，但必須要在 y 方	變因，但必須要在 y 方
度前擊中。	向位移超過高度前擊	向位移超過高度前擊
	中。	中。

● POE 循環 2

- | | | | |
|---------------------|--|--|--|
| - 準備階段 | 教師提出引導問題 2：「兩砲彈均沿同一直線斜向拋射，在甚麼條件下能在落地前擊中？」並實際示範一次模擬動畫的操作與結果的判讀。 | | |
| - 預測階段
(Predict) | 學生由先前循環預測可能結果，以紙筆或文書軟體紀錄其預測。 | 學生由先前循環預測可能結果，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。 | 學生由先前循環預測可能結果，以紙筆、文書 App 或繪圖 App 紀錄其預測。 |
| - 觀察階段
(Observe) | 學生使用模擬動畫進行實驗，調整兩球的初速（大小、角度）及相對位置，觀察兩球相撞之規律。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩並討論各自結果。 | 學生使用 App 進行實驗，調整兩球的初速（大小、角度）及相對位置，觀察兩球相撞之規律。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、傳閱平板電腦並討論各自結果。 | 學生使用 App 進行實驗，調整兩球的初速（大小、角度）及相對位置，觀察兩球相撞之規律。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩、傳閱平板電腦並討論各自結果。 |
| - 解釋階段
(Explain) | 學生分組討論並推派代表使用螢幕廣播系統說明解釋。教師總結兩球之 y 方向位移均相同，擊中與否應著重於 | 學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結兩球之 y 方向位移均相同，擊中 | 學生分組討論並推派代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結兩球之 y 方向位移均相同，擊中 |

x 方向的變因，但必須	與否應著重於 x 方向的	與否應著重於 x 方向的
要在 y 方向位移超過高	變因，但必須要在 y 方	變因，但必須要在 y 方
度前擊中。	向位移超過高度前擊	向位移超過高度前擊
	中。	中。

● POE 循環 3

- | | |
|---------------------|--|
| - 準備階段 | 教師提出引導問題 3：「承問題 2，若砲彈射出後受到的重力加速度會改變，在甚麼條件下能在落地前擊中？力的改變會影響攔截到的時間嗎？」並實際示範一次模擬動畫的操作與結果的判讀。 |
| - 預測階段
(Predict) | 學生由先前循環預測可能結果，以紙筆或文書軟體紀錄其預測。 |
| - 觀察階段
(Observe) | 學生使用模擬動畫進行實驗，調整兩球的初速（大小、角度）及相對位置，並在動畫開始後以滑鼠拖曳重力加速度控制盤中之向量，改變重力加速度，同時觀察兩球相撞之條件和規律。由螢幕截圖保存實驗結果，可走動觀摩並討論各自結果。 |
| - 解釋階段 | 學生分組討論並推派 |

(Explain)	代表使用螢幕廣播系統說明解釋。教師總結運動獨立性的意涵並解釋改變重力加速度並不影響碰撞時間的原因。	代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教教師總結運動獨立性的意涵並解釋改變重力加速度並不影響碰撞時間的原因。	代表使用平板電腦連結投影幕說明其解釋。教師總結運動獨立性的意涵並解釋改變重力加速度並不影響碰撞時間的原因。
------------------	---	--	---

總時間	90 分鐘	90 分鐘	90 分鐘
------------	-------	-------	-------

第二節 研究對象

本研究採方便取樣，以苗栗市私立高級中學高中一年級 6 個班級為研究對象。由於實施時間為寒假輔導，有部分缺課情形，因此總共人數為 211 人，其中有 112 位男生與 99 位女生。所有學生依班級分配至電腦組、觸控組、與動感組中，人數分別為 79 人、60 人、與 72 人（如表 3-2-1）。

表 3-2-1 研究參與者人數分配表

	電腦組	觸控組	動感組
班級數	2	2	2
男生人數	40	34	38
女生人數	39	26	34
總和人數	79	60	72

第三節 研究流程與設計

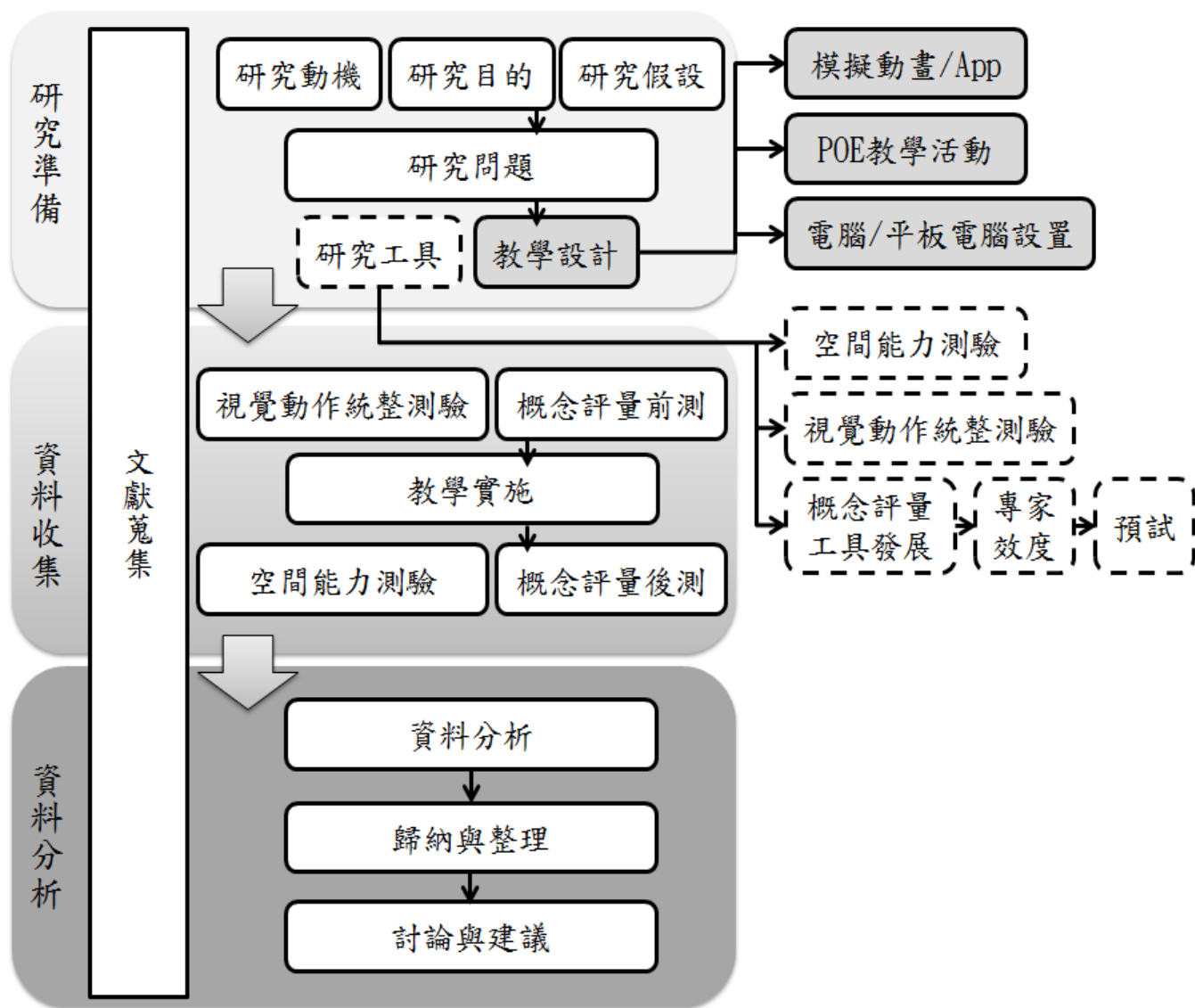
本研究流程可粗略劃分為三個階段，分別為研究準備、資料收集、與資料分析，在整個研究過程中皆持續收集參考文獻。

較細節的研究流程如圖 3-3-1 所示，本研究在第一階段研究者首先廣泛蒐集文獻，加以回顧及整理以形成研究動機，並初步確立研究目的、問題。接著一邊與模擬動畫/App 設計者溝通改良並同時建構合適之教學活動，期間不斷與指導教授、物理專家討論，並協調、修改整個教學的實施。而後針對教學目標研究者發展針對該單元的運動力學概念學習評量工具，並邀請專家檢核校閱以提升此評量工具之效度，並進行預試，在預試後修改並完成概念學習評量工具。除了概念學習評量工具，研究者另針對欲測量的空間能力與視覺動作統整能力向度挑選適合的量表。

待研究準備齊全後即開始實施教學活動，按照預定計畫蒐集學生學習資訊與評量結果，在教學實施前 3 至 5 天進行視覺動作統整發展測驗與概念學習評量前測，受限於受試者學校時間之安排，空間能力量表於教學活動後與概念學習評量後測一併實施。研究如何增進空間能力的學者(Garg, Norman, Spero, & Taylor, 1999; Olkun, 2003)指出，空間能力雖可經由訓練獲得進步，但必須是經由適當設計的教學活動，即特別針對增進空間能力的教學時間、教學環境、及教學策略。Baenninger 和 Newcombe (1989)綜觀過去針對增進空間能力的教學策略研究後提到短期（為期三週以內）的空間能力訓練對空間能力的增進並非有效，而至少要有一學期的教學過程才可能有其成效。另外，Baenninger 和 Newcombe (1989)也提到若教學過程提供之「空間經驗（Spatial Experience）」與空間能力測量方式有直接關聯才較容易顯現出空間能力改變的效果。由此可知，本研究之教學活動及教學策略並非針對增進空間能力所設計、教學活動之經驗與空間能力測量方式極為不同、且教學時間僅有 90 分鐘，因此三科技使用組別學生的空間能力在教學活動前後應不會有顯著改變，即空間能力測量結果並不會因科技使用組別的不

同而有所差異，應可將空間能力量表的施測置於教學活動後而不影響研究結果。最後將所有測驗依據其評分標準進行評分。在此概念學習量表中包含了選擇題與開放式問答題，問答題除了評分之外也另外以逐字稿形式利於後續質性分析。

圖 3-3-1 本研究流程示意圖



第四節 研究工具

本研究所使用之研究工具主要有三，分別為「拋體運動概念學習評量」、「空間能力量表」、「視覺動作統整能力發展測驗」，以下就此三種工具進行描述與說明。

一、拋體運動概念學習評量

1. 設計與發展

此測驗以拋體運動中之「運動獨立性」為主題，繪製專家概念圖後配合 Bloom (1956)所提出的概念階層發展出細目表 3-4-1(引自 Anderson & Krathwohl, 2001)，並以此表作為發展題目之基礎。參考國外發展已臻完備之運動力學概念測驗 (Force Concept Inventory, FCI) (Hestenes & Halloun, 1995)及國內高中基本學力測驗等設計出初版概念測驗，包含 13 題單選題、7 題複選題與 5 題開放式問答题。該初版概念測驗經過 3 位專家 (包含 1 位物理系教授、1 位高中物理教師、與 1 位國中理化教師)審核並修訂以建立其專家效度後，於台北市公立高中 2 班高一學生共 61 人進行預試。依據預試結果刪去若干選項後之測驗版本其 Cronbach's Alpha 信度為 0.76、難度為 0.74、鑑別度為 0.37，最終版本之測驗卷內容如附錄 (二) 所示。

表 3-4-1 「運動獨立性」概念細目表與其對應的測驗題目

	記憶	理解	應用	分析
運動獨立性： 拋體運動的位 移、速度、加速度 可就水平方向、垂 直方向分別討 論，且彼此獨立不 互相影響。	● 指出拋體運動時水平方向等速運動而垂直方向作自由落體 ● 指出拋體運動的可就水平、垂直方向分別討論 ● 指出「兩拋體若在無外力作用下會相碰，則在重力影響下也會相碰」 ● 指出「兩拋體若在無外力作用下會相碰，則無論重力大小或方向如何改變，兩拋體均會相碰。」 題號： 1、2、6、8、10、 12、14、18、22	● 說明拋體水平、垂直方向的運動形式（第 11 題） ● 說明「兩拋體若在無外力作用下會相碰，則在重力影響下也會相碰」 ● 歸納出「兩拋體若在無外力作用下會相碰，則無論重力大小或方向如何改變，兩拋體均會相碰」 題號： 11、13、17、21、 25	● 應用概念於問題情境 ● 預測不同條件中拋體的運動形式與軌跡 ● 應用概念於問題情境 ● 預測不同條件中兩拋體相碰與否 題號： 5、9、15、19、 23	● 判斷並指出同高度的兩個水平拋體相碰的變因 ● ◆判斷並指出影響兩相向斜拋物體會相碰的變因 ● 判斷並指出「兩拋體若在無外力作用下會相碰，則無論重力大小或方向如何改變，兩拋體均會相碰」的變因 題號： 11、13、16、17、 20、21、24、25

2. 標準與配分

此概念測驗卷包含 3 個獨立單選題與 7 個題組，題組內除了單選題外也可能包含複選題或問答題。各類型題目配分如表 3-4-2 所示，單選題計分方式為答對得 1 分；複選題則將各選項視為獨立的是非題，每個選項答對得 1 分如舉例圖 3-4-1 所示；每題問答題滿分為 3 分，若有寫出該題關鍵概念得 1 分，若有描述概念則依據其完整程度再得 1 至 2 分如舉例圖 3-4-2 所示。

問答題評分標準由研究者與一物理科系研究生，亦是物理科職前教師共同瀏覽作答狀況並討論後訂定評分依據，再共同評定 3 分之 1 試卷總數以建立評分者信度，其 Spearman 相關係數為 0.87 ($p < 0.05$)，顯示問答題的評分具有相當地一致性，最終討論與稍作修改後由研究者完成其餘試卷的評分。

表 3-4-2 拋體運動概念學習評量配分表

題目類型	題數	配分方式	類型配分
單選題	13	● 每題 1 分	13
複選題	7	● 每選項 1 分	37
問答題	5	● 每題滿分 3 分	15
總和	25 題		65 分

複選題作答舉例 18. 你認為，此情況下可能影響擊中與否的變因是？(可複選) ☒甲球與乙球的重量 ☐甲球與乙球在水平方向的初速 ☒甲球與乙球在鉛直方向的初速 ☐甲球與乙球在水平方向的加速度 ☒甲球與乙球在鉛直方向的加速度 ☒甲球與乙球在水平方向的起始距離 ☐甲球與乙球在鉛直方向的起始高度	標準答案 18. 你認為，此情況下可能影響擊中與否的變因是？(可複選) ☐甲球與乙球的重量 ☒甲球與乙球在水平方向的初速 ☒甲球與乙球在鉛直方向的初速 ☐甲球與乙球在水平方向的加速度 ☒甲球與乙球在鉛直方向的加速度 ☒甲球與乙球在水平方向的起始距離 ☒甲球與乙球在鉛直方向的起始高度
算分範例 該生於第 3、4、5、6 選項的勾選狀況與標準答案相同，故此題共得 4 分。	

圖 3-4-1 概念測驗卷複選題型算分範例

問答題題目舉例 19. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。	
作答舉例 1. 因為 A B C 三球皆位於乙球的連心線上。	作答舉例 2. 如果甲在 A 處，重力加速度一樣所以初速夠大就會撞的到；如果甲在 B 處，初速在甲乙連心線上就會撞的到；如果甲在 C 處，重力加速度一樣，所以初速夠大就撞的到了。
算分範例 1. 該生寫出概念關鍵字「連心線」，得 1 分。 並未做其他描述，所以此題共得 1 分。	算分範例 2. 該生寫出概念關鍵字「連心線」，得 1 分； 寫出「重力加速度一樣」作為解釋，得 1 分； 寫出「初速夠大就撞得到」為考慮其他變因，得 1 分； 所以此題該生共得 3 分。

圖 3-4-2 概念測驗卷問答題型算分範例

3. 問答題回答質性分析

雖然問答題已有評定分數，但在相同的分數下學生所回答的內容可能不盡相同。因此針對開放性的問答題將轉譯為數位形式並進行質性的內容分析，以進一步探討學生回答中蘊含之另有概念並統計次數、頻率以提供更多資訊於回答研究問題。另有概念之編碼如表 3-4-3，由第二章關於拋體運動另有概念之文獻探討修改而成，因教學目標與教學對象可能與文獻中的研究不同，所以編碼表並未使用到第二章表 2-4-1 整理之全部另有概念並補充其他關於本研究可能之另有概念。

表 3-4-3 概念評量開放式問題之另有概念編碼表

類別	編碼	定義/描述	回答舉例
專有名詞 的混淆	AC-N-1	速度與加速度混淆	甲球水平方向的加速度要夠大，距離才夠。
	AC-N-2	力與速度的混淆	乙球有一初速，再加上本來的初速必大於甲球之速，初速 + 重力 > 重力。
對過程錯誤的想像	AC-P-1	移動的物體必定有力作用在其移動方向上	搞不好球每次受力的方向會不同。
	AC-P-2	兩拋體軌跡相交即有發生碰撞	因為這樣甲球和乙球的拋物線會交叉。
錯誤的關係連結	AC-V-1	重力大小與物體運動狀態有關	乙球有一初速，乙重力 > 甲重力，所以相碰。
	AC-V-2	重力加速度與本身質量相關	因為如果乙球的質量較大，那下降的速度會越快。
	AC-V-3	水平與垂直方向運動會互相影響	因為重力加速度，過太久垂直速度會很快，水平距離很難增加。

二、空間能力量表

1. 量表內容說明

本研究所使用之空間能力測量工具引用自 1998 年康鳳梅、鍾瑞國等所修訂發展之「空間能力量表」，根據空間能力之內涵、文獻分析、量表編制理論所建構，依空間能力的分類其內容共分為 4 個分量表。本研究根據研究目的與文獻採用其中 2 個分量表，分別為「空間感觀能力分量表」15 題是非題及「二度空間旋轉能力」20 題單選題，兩份分量表之算分方式皆為答對一題得一分，因此總分為 35 分，範例如圖 3-4-3。

2. 信度說明

該量表於修訂時針對我國 1,523 位高工學生之空間能力表現進行調查，其總量表之庫李信度 (KR-20) 為 0.89 (康鳳梅等人, 2002)。在本研究正式施測中，採用之兩分量表總庫李信度 (KR-20) 為 0.81。

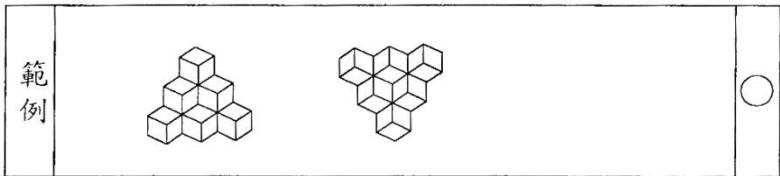
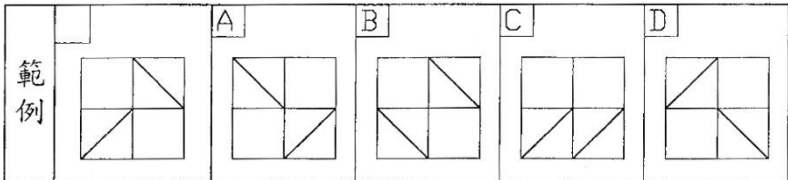
分量表名稱	題目範例	題型	配分
空間感觀能力	範例  ○ 在上面的範例所看到的圖形，分別是由 10 個小立體方塊所組成，且組合方式也相同，所以答案為『○』，將答案寫在右方之答案欄中。	是非題	每題 1 分
二度空間旋轉能力	範例  在上面的範例中，只有 A 選項欄中的圖形，經過二度空間之旋轉後，它的大小、樣式與題目中之圖形是完全相同的。所以答案為『A』，將答案寫在題目左上方的答案欄中。	選擇題	每題 1 分

圖 3-4-3 空間能力量表之題本範例

三、視覺動作統整能力發展測驗

1. 量表內容說明

本研究所使用之視覺統整能力測量工具採用 Beery 於 1967 年開始編製發展之「拜瑞－布坦尼卡視覺動作統整發展測驗 (The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration, 簡稱 VMI)」用以篩選視覺動作統整障礙學生或評量教育或其他介入的效果。測驗內容包含一系列依發展順序/難易順序排列的 27 個幾何圖形如圖 3-4-4, 施測時由受試者抄畫該系列圖形以表現其視覺－動作的發展程度。施測時間 10 至 15 分鐘, 本研究參考說明手冊基於受試者年齡而將施測時間訂為 10 分鐘, 且略過施測者示範與前 3 個摹畫練習的步驟。受試學生於時間內盡量將圖形一模一樣抄畫至各題作答區中, 過程中施測者不會有其他介入且不得塗改答案。評分部分, 說明手冊於各題均詳列評分標準(範例如圖 3-4-5), 將學生回答分為通過與不通過, 通過者得 1 分, 因此總分為 24 分。

3. 信度說明

研究指出此 VMI 測驗結果大體上不受文化影響, 且本國前後曾四次建立 VMI 測驗從 3 歲至成人的常模, 本研究採用之中文第四版 VMI 題本, 於 1996 年建立常模時其 84 位 16 歲受試者所得之庫李信度 (KR-20) 為 0.82、重測信度為 0.81 (劉鴻香、陸莉, 1997)。本研究之評分者為研究者與一國小自然科教師, 均參照說明手冊之評分標準給予評分, 分別評定總份數之三分之一後, 以 Pearson 積差相關建立之評分者信度為 0.92。

題號	圖形	評分標準	給分	不給分
13		1. 七個圖 2. 一個圖形明顯的在另兩個圖形之下方		
14		1. 六個圖 2. 底線與另一邊為直線 3. 橫線與水平線<10° 4. 同一邊之二點間<2:1		
15		1. 有四個角 2. 兩對角線<10° 3. 角封閉 4. 重疊或分離不大於1/16吋 5. 中間1/3處交接 6. 兩圖之高度<2:1		
16		1. 好的角 2. 170°-190° 3. 無狗耳朵 4. >2/3邊長 5. 兩銳角等於或<60°		
17		1. 兩個三角形 2. 兩個角在中間1/3相接 3. 左角60°-120° 4. 邊斜100°或以上 第三個角重疊或分離<1/16吋		
18		1. 八個點、圈、或短線 2. 三個點不在一直線 3. 兩點之間最長的<短×2		
19		1. 各邊俱備（一鈍角可為圓弧） 2. 各個角方向不混亂 3. 不過分重疊或分離		
20		1. 好的角 2. 170°-190° 3. 短邊>2/3長邊 4. 兩銳角等於或<60°		
21		1. 三個完整的雙線圓環 2. 圓環上下重疊 3. 至少有一個明顯的立體重疊		
22		1. 各部分數量正確 2. 方向正確 3. 無混亂		
23		1. 外為平行四邊形 2. 內為一長方形 3. 長方形在右下方 4. 方向不混亂		
24		1. 全部角伸至邊外 2. 在同一邊上下重疊 3. 無方向混亂		

圖 3-4-4 視覺動作統整能力抄畫圖形範例

補充資料

圖 26 錐形盒子

評分標準		發展趨向	
1. 外面為一平行四邊形（或方形） 2. 內部為一橫的長方形 3. 內部的圖形明顯的在右下方（右下方的斜線最短） 4. 無明顯的方向混亂		發展趨向摘要	
給 1 分	不給分	年齡	各年齡組隨機樣本
		3-0	塗鴉
		4-0	圓形或方形
		5-0	內部畫線
		5-7	對角線出現
		5-11	各部分均出現：趨向方形並對稱
		7-0	略形簡潔：接近矩形
		8-6	外形為矩形；內部形狀移向右方
		9-0	內部為矩形
		10-0	甚少變化
		11-0	更簡潔：尤其在交叉點
		13-2	內部圖形下移
		14-6	各部分與空間幾乎完全統整

發展的趨向並不是一直都在增加。一個相當早期的成就如外面的長方形可能在較後的特徵出現後，如內部的圖形下移即暫時消失。當內部形狀的位置初步趨於正確時，外部的形狀則又趨向於變成方形。有一很強烈的趨向是突顯新的成就，例如，內部的圖形向下移往往比必需的多些。

圖 3-4-5 視覺動作統整能力評分標準範例

第五節 資料收集與分析

本研究過程所蒐集的資料來源如上所述為「拋體運動概念學習評量」、「空間能力量表」、「視覺動作統整能力發展測驗」，其內包含的資料依特性可分為量化與質性資料兩種，量化資料利用 SPSS 22.0 軟體作為統計分析工具，質性資料則利用 Nvivo 10 以及 Excel 2010 軟體作為質性分析工具。各資料內容將針對研究問題選擇適當的研究方法進行分析，其對應關係與分析內容說明如下並整理成表 3-5-1：

(一) 不同科技使用、空間能力、視覺動作統整能力的學生，於教學活動前後對拋體運動概念理解是否有組內的進步

此研究問題可以依照探討變項加以細分為 3 小題，分析方式大略相同且分述如下：

1. 不同科技使用組別的學生對運動力學概念的理解是否有差異。

使用「拋體運動概念學習評量」的前、後測資料，分別就電腦組、觸控組、與動感組作「組內比較」，檢驗學生於前/後測之總分及概念各階層表現是否有差異。而判斷有無差異的分析方法採用成對樣本 t 檢定。

2. 不同空間能力的學生對運動力學概念的理解是否有差異。

先就「空間能力量表」之結果將所有學生分為量表成績前 50% 的「高空間能力組」與後 50% 的「低空間能力組」。將所有學生的空間能力量表分數排序後，結果顯示中位數為 23 分，故訂定空間能力量表分數高於 23 分者屬「高空間能力組」、分數低於或等於 23 分者屬「低空間能力組」。再分別比較高空間能力組、低空間能力組學生於前/後測之總分及概念各階層表現是否有差異，檢定方法同上一小題。

3. 不同視覺動作統整能力的學生對運動力學概念的理解是否有差異。

先就「視覺動作統整能力發展測驗」之結果將所有學生分為量表成績前 50% 的「高視覺動作統整能力組」與後 50% 的「低視覺動作統整能力組」。再分別比

較高視覺動作統整能力組、低視覺動作統整能力組學生於前/後測之總分及概念各階層表現是否有差異，檢定方法同上二小題。

(二) 科技使用的不同是否會造成拋體運動概念學習成效的組間差異

在整體概念學習成效方面，由於先備知識可能也會影響概念學習成效，因此在科技使用變項對於整體概念學習成效影響之分析，將採用之統計方法為單因子共變數分析（Analysis of Covariance, ANCOVA）。分析模式以先備知識（概念評量前測總分）作為共變數、整體概念學習成效（概念評量後測總分）作為依變項、科技使用組別為自變項。檢定結果中，科技使用組別變項之差異以 0.05 為顯著水準，若達顯著水準即代表科技使用組別的不同會造成整體概念學習成效的差異，為進一步探求各組間是否有差異，將採用最小顯著差異法（Least Significant Difference, LSD）進行多重事後比較確認詳細情形。另外，本研究將探討學生於問答题的答题狀況以不同角度配合上述共變量分析之結果，方法為針對開放式問答题的回答分析其中的另有概念並進行編碼、次數與頻率的統計。

由於欲更深入探討科技使用如何影響概念學習成效，因此在討論過整體概念學習成效後將依概念認知層次將學習成效分為記憶認知層次概念學習成效與高階認知層次概念學習成效（包含理解、應用、分析認知層次），並分別討論各概念認知層次學習成效與科技使用之關係。因分析模式之依變項（記憶認知層次分數、高階認知層次分數）不只一項且預期兩依變項間應有相關，因此此階段的分析將採用多變量共變數分析（Multivariate analysis of covariance, MANCOVA）作為主要分析工具。

(三) 視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效

由於本此問題之目的在於探求視覺動作統整能力對於概念學習成效之影響是否會因為不同科技使用而有差異，所以預期之研究方法對於整體概念學習成效分析為雙因子共變數分析法（ANCOVA）並將先備知識訂為共變數。為了確認何者為較佳之分析模型，除了必要之假設檢定外還必須先進行視覺動作統整能力

與科技使用交互作用項的效果檢定，若達 0.05 顯著水準則表示兩者有交互作用，不能將兩者拆開來分別觀測其效果，而必須接著進行單純主要效果檢定以確定兩變項對整體概念學習成效之關係。

如同研究問題（一），欲更深入探討科技使用與視覺動作統整能力如何影響概念學習成效，而接著進行以記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效為依變項之多變量共變數分析（MANCOVA），若需要探討各組別間之差異則使用最小顯著差異法（LSD）進行多重事後比較確認詳細情形，以求獲取更多資訊。

(四) 視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效

由於本此問題之目的在於探求空間能力對於概念學習成效之影響是否會因為不同科技使用而有差異，所以如同上一研究問題，對於整體概念學習成效分析應為雙因子共變數分析法（ANCOVA）並將先備知識訂為共變數。為了確認何者為較佳之分析模型，除了必要之假設檢定外還必須先進行空間能力與科技使用交互作用項的效果檢定，若達 0.05 顯著水準則表示兩者有交互作用，不能將兩者拆開來分別觀測其效果，而必須接著進行單純主要效果檢定以確定兩變項對整體概念學習成效之關係。

如同研究問題（一），欲更深入探討科技使用與空間能力如何影響概念學習成效，而接著進行以記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效為依變項之多變量共變數分析（MANCOVA），若需要探討各組別間之差異則使用最小顯著差異法（LSD）進行多重事後比較確認詳細情形，以求獲取更多資訊。

表 3-5-1 研究問題與分析方法對照表

研究問題	分析內容	統計方法
1. 不同科技使用、空間能力、視覺動作統整能力的學生，於教學活動前後對拋體運動概念理解是否有組內的進步？	● 教學前後三組科技使用的學生對拋體運動概念的理解是否有差異 ● 教學前後高/低空間能力的學生對拋體運動概念的理解是否有差異 ● 教學前後高/低視覺動作統整能力的學生對拋體運動概念的理解是否有差異	● 成對樣本 t 檢定 ● 成對樣本 t 檢定 ● 成對樣本 t 檢定
2. 科技使用的不同是否會造成拋體運動概念學習成效的組間差異？	● 科技使用變項對於整體概念學習成效之影響 ● 科技使用變項對於記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效之影響 ● 科技使用組別與另有概念改變情形之關係	● ANCOVA - LSD 事後比較 ● MANCOVA - LSD 事後比較 ● 次數/頻率統計
3. 視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？	● 科技使用與視覺動作統整能力變項對於整體概念學習成效之影響 ● 科技使用與視覺動作統整能力變項對於記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效之影響	● ANCOVA - 單純主要效果檢定 - LSD 事後比較 ● MANCOVA - 單純主要效果檢定 - LSD 事後比較
4. 視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？	● 科技使用空間能力變項對於整體概念學習成效之影響 ● 科技使用與空間能力變項對於記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效之影響	● ANCOVA - 單純主要效果檢定 - LSD 事後比較 ● MANCOVA - 單純主要效果檢 - LSD 事後比較

第四章 研究結果

本研究的研究目的是探討不同的科技使用教學活動、空間能力、視覺動作統整能力，與高中一年級學生在拋體運動的概念理解之關係。其中科技使用依特性分為電腦組、觸控組與動感組，而概念理解則就本研究發展之拋體運動的運動獨立性評量作為研究工具，除總分外也將此評量中的題目依認知階層分為記憶性層次與高階層次兩項進行探討。

為回答研究問題，本章共分四節，第一節至第三節均呈現量化統計分析的結果，第四節則針對概念評量中的開放性問題進行質性的討論。

第一節 學生於教學前後的概念理解差異

本節所針對的研究問題為：在教學活動前後，不同科技使用組別、空間能力、視覺動作統整能力的學生，對「運動獨立性」的概念理解是否有差異？為此在統計方法上使用成對樣本 t 檢定來進行探討。本節將針對不同的科技使用組別、不同空間能力、不同視覺動作統整能力分別討論其前/後測概念理解評量總分（整體概念理解）、記憶層次分數（記憶層次概念理解）、與高階層次分數（高階層次概念理解）是否存在顯著差異。

一、不同科技使用組別於教學前後的概念理解差異

表 4-1-1 列出針對各科技使用組別使用成對樣本 t 檢定的結果，顯示出學生的整體概念理解、記憶層次概念理解、與高階層次分數高階層次概念理解在三個組別中之 p 值均小於 0.05 達到顯著，亦即所有科技使用組別的學生在拋體運動概念理解上都有顯著的進步。

為進一步探討概念評量前測與後測的差異大小，表 4-1-1 中亦求出各個成對樣本 t 檢定的效果量 (Effect Size, ES)，以 Cohen's d 為計算方法。根據 Cohen(1988) 對效果量大小的界定。各科技使用組別的學生在總分及記憶層次的概念評量分數

前後測差異均達到 0.8 的高效果量，但在高階認知層次方面電腦組學生的前後測差異只有大於 0.2 的低效果量，而觸控組及動感組的學生則是大於 0.5 的中等效果量。此結果可能代表學生在本研究的教學法下較不易產生學習的遷移或者是高階認知層次的學習本來就較難在短時間內有大幅的進步。另外，相對於電腦組、使用平板電腦也有可能較能促進學生在高階層次認知的學習。

表 4-1-1 不同科技使用組別學生於教學前後概念理解之成對樣本 *t* 檢定

組別	N	前測		後測		t	p	ES
項目		平均值	標準差	平均值	標準差			
電腦組								
總分	79	20.12	4.99	24.59	5.32	7.54	<.01**	0.87
記憶層次	79	6.50	2.29	10.46	2.81	10.25	<.01**	1.13
高階層次	79	13.91	3.58	14.85	3.02	4.11	.02*	0.26
觸控組								
總分	60	21.87	5.57	26.72	4.94	7.66	<.01**	0.88
記憶層次	60	7.41	2.31	10.71	4.25	8.41	<.01**	0.97
高階層次	60	14.93	4.11	16.75	4.01	3.96	<.01**	0.58
動感組								
總分	72	23.03	5.20	27.06	5.40	6.36	<.01**	0.87
記憶層次	72	7.31	2.48	9.94	3.05	6.83	<.01**	0.95
高階層次	72	16.16	3.81	17.79	3.62	3.51	<.01**	0.51

p* < 0.05, *p* < 0.01

二、不同空間能力於教學前後的概念理解差異

為了解不同空間能力學生於教學前後的概念評量分數是否存有差異，在進行成對樣本 *t* 檢定前，首先就空間能力量表分數將所有學生分為高空間能力組與低空間能力組。將所有學生依空間能力量表分數之高低排列，取量表分數之中位數

23 分，考量兩組人數盡可能相近而將超過 23 分以上學生指派為高空間能力組($N = 108$)、23 分以下分者則指派為低空間能力組 ($N = 103$)。

表 4-1-2 列出針對高空間能力組、低空間能力組學生分別對概念理解評量總分、記憶認知層次分數、高階認知層次分數所作之成對樣本 t 檢定之結果，可以見得不論是低空間能力組或高空間能力組學生均在各個 t 檢定項目達到顯著差異 ($p < 0.05$)，亦即空間能力高或低的學生都在拋體運動概念理解上達到顯著的進步。

但進一步探討效果量時，於表中可以發現低空間能力組的學生在總分部分為中等效果 ($0.8 > ES > 0.5$) 未及高空間能力組的高效果量 ($ES > 0.8$)，且高階認知層次分數部分，低空間能力組學生之效果量為低度效果 ($0.5 > ES > 0.2$) 也較高空間能力組的中度效果量為低。可能代表整體或高階認知層次的概念理解進步幅度低空間能力組較高空間能力為低，是否代表空間能力的高低與拋體運動概念學習成效呈正相關則有賴本章第二節藉由相關分析與迴歸分析做進一步探討。

表 4-1-2 不同空間能力學生於教學前後概念理解之成對樣本 t 檢定

組別	N	前測		後測		t	p	ES
項目		平均值	標準差	平均值	標準差			
低空間能力								
總分	103	20.50	5.30	24.16	5.45	7.13	<.01**	0.68
記憶層次	103	6.87	2.10	9.82	2.84	9.76	.02*	1.16
高階層次	103	14.10	4.33	15.00	4.27	2.47	<.01**	0.21
高空間能力								
總分	108	22.7	5.93	27.7	5.68	9.70	<.01**	0.88
記憶層次	108	7.33	2.62	10.77	2.85	10.11	<.01**	0.89
高階層次	108	16.16	3.81	17.79	3.62	3.51	<.01**	0.51

* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$

三、不同視覺動作統整能力於教學前後的概念理解差異

為了解不同視覺動作統整能力學生於教學前後的概念評量分數是否存有差異，在進行成對樣本 t 檢定前，首先就視覺動作統整能力量表分數將所有學生分為高視覺動作統整能力組與視覺動作統整能力組。將所有學生依視覺動作統整能力測驗分數之高低排列，取測驗分數之中位數 21 分，考量兩組人數盡可能相近而將超過 21 分學生指派為高視覺動作統整能力組 ($N = 110$)、21 分以下者則指派為低視覺動作統整能力組 ($N = 101$)。

表 4-1-3 列出針對高視覺動作統整能力組、低視覺動作統整能力組學生分別對概念理解評量總分、記憶認知層次分數所作之成對樣本 t 檢定之結果，可以見得不論是低視覺動作統整能力組或高視覺動作統整能力組學生均在此兩項 t 檢定項目達到顯著差異 ($p < 0.05$)，但在高階認知層次概念的前後測分數低視覺動作統整能力組的學生並未如同高階認知層次分數達到顯著差異。

進一步探討效果量時，於表中可以發現低視覺動作統整能力組的學生在總分部分為中等效果 ($0.8 > ES > 0.5$) 未及高視覺動作統整能力組的高效果量 ($ES > 0.8$)，而高階認知層次分數部分，高視覺動作統整能力組學生前後測分數雖達顯著差異但效果量為中度效果 ($0.8 > ES > 0.5$)。此種結果可能顯示低視覺統整能力學生在高階認知層次的概念學習上有較明顯的困難，而整體拋體運動概念學習成效也可能相對較低，進一步的探討與空間能力相同，將於本章第二節作更深入的分析。

表 4-1-3 不同視覺動作統整能力學生於教學前後概念理解之成對樣本 t 檢定

組別	N	前測		後測		t	p	ES
項目		平均值	標準差	平均值	標準差			
低視覺動作統整能力								
總分	101	21.56	5.24	24.97	5.73	7.64	<.01**	0.72
記憶層次	101	7.06	2.17	10.15	3.11	9.40	<.01**	0.88
高階層次	101	14.91	4.29	15.52	4.30	1.94	.06	0.18
高視覺動作統整能力								
總分	110	21.82	6.20	27.24	5.62	9.54	<.01**	1.02
記憶層次	110	7.00	2.62	10.75	2.71	11.05	<.01**	1.13
高階層次	110	15.23	4.88	17.21	4.09	4.87	<.01**	0.50

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

第二節 科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對整體

概念學習成效之影響

本節主要探討的研究問題為：不同的科技使用組別、空間能力量表、視覺動作統整能力與拋體運動的整體概念學習成效之關係。整體概念學習成效即拋體運動概念評量之「後測總分」，由於學生之學習結果可能因先備知識高低而有所不同，因此本節之分析將以共變數分析（Analysis of Covariance, ANCOVA）作為主要分析工具，並控制先備知識（即拋體運動概念評量之前測成績）之影響。本節主要分為三部分，第一部分討論科技使用之主要效果、第二部分討論科技使用與視覺動作統整能力之效果、第三部分討論科技使用與空間能力之效果。第二與第三部份分別確認科技使用組別與空間能力、視覺動作統整能力是否有交互作用後，將進一步分別探討不同空間能力、不同視覺動作統整能力與不同科技使用組別的學生在整體拋體運動概念學習成效中的關係。

一、科技使用組別對整體概念學習成效之影響

（一）各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對各變項以及其交互作用變項進行同質性檢定，即確認先備知識是否能作為共變項而進行科技使用與前測成績之檢定。

以概念測驗後測之總分作為依變項，並將「前測成績」（即先備知識）與「科技使用組別」作組間迴歸係數同質性檢定。結果顯示自變項（科技使用組別）與共變項（先備知識）的交互作用變項（先備知識*科技使用組別） $F(2, 204) = 2.01$ 、 $p > 0.05$ 未達顯著水準，表示共變項（先備知識）與依變項（後測總分）間的關係不會因為自變項（科技使用）處理水準不同而有顯著差異，即以共變項對依變項進行迴歸分析所得到的斜率並沒有顯著差異，符合各組迴歸線平行的假設。

（二）單因子多變量共變數分析

以先備知識為共變項、後測成績為依變項、科技使用組別為自變項為分析模式作單因子多變量共變數分析（ANCOVA）之結果及說明如下。

1. 細格調整平均數

在共變數分析中，是以共變量調整後的平均數進行後續的效果檢定，因此其調整後的細格平均數如表 4-2-1 所示。

表 4-2-1 科技使用組別之調整前後平均數

群體	分數	總分	
		原始	調整後
電腦組		24.48	25.29
觸控組		26.83	26.89
動感組		26.92	25.98

2. 科技使用組別主要效果檢定

調整共變量後之主要效果檢定結果如表 4-2-2 所示，顯示科技使用組別在控制先備知識影響後之各組學習成效是否有差異之檢定結果。可知科技使用組別變項 $F(2, 207) = 1.97$ 、 $p > 0.05$ 未達顯著，即整體而言科技使用組別的不同並不會造成學生整體概念學習成效的顯著差異。但科技使用在記憶認知層次分數或高階認知層次分數的影響是否有顯著則將於下一節繼續更深入地探討。

表 4-2-2 科技使用組別於後測總分主要效果檢定

來源	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	F	p	η^2
修正後的模型	2450.67	3	816.89	36.99	<0.01**	0.35
截距	2587.43	1	2587.43	117.17	<0.01**	0.37
科技使用組別	86.96	2	43.48	1.97	0.14	0.01
誤差	4571.26	207	22.08			
校正後總和	7021.92	210				

* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$

(三) 科技使用組別對另有概念之影響

雖然整體概念學習成效的分析顯示科技使用組別並不會造成後測總分的差異，但是單由成績無法辨別是否在學習過程概念學習的向度都相同。因此本研究除了在本章第三節會依概念認知層次區分並各別分析外，也藉由分析概念評量內之開放性問題作答情形，將其中顯現之另有概念作次數與頻率的統計，藉此由不同面向瞭解不同科技使用對於概念學習影響的細節。表 4-2-3 列出學生開放性問題作答中之另有概念在三科技使用組別的頻率（次數除以該組學生人數）百分比統計，並由此結果依另有概念的類別作成圖 4-2-1 以便觀察其趨勢。

結果顯示三類別的另有概念不論在哪個科技使用組別出現頻率均有減少的趨勢，但進步的幅度（即圖 4-2-1 中斜線的斜率）則各組略有不同。一般而言，電腦組另有概念減少幅度均小於使用平板電腦的觸控組及動感組，且此趨勢以「對過程錯誤的想像」類別最為明顯。細看可以發現，「對過程錯誤的想像」另有概念類別頻率改變幅度以動感組最高（9.03%至 1.39%）、觸控組其次（7.5%至 2.5%）、最後差異幅度最小為電腦組（6.96%至 5.70%）。此結果可能代表雖然整體學習成效無差異，但是動感組與觸控組對於另有概念的減低效果－特別是對於拋體運動過程的另有概念可能較電腦組好，而造成此結果的原因則將於第五章作進一步討論。

表 4-2-3 拋體運動概念評量開放性問題之另有概念統計表

資料來源/百分比 (%) 類型/另有概念	電腦組		觸控組		動感組	
	前測	後測	前測	後測	前測	後測
專有名詞的混淆						
速度與加速度混淆	16.46	8.86	20.00	10.00	20.83	6.94
力與速度的混淆	7.59	6.33	13.33	5.00	5.56	2.78
平均	12.03	7.59	16.67	7.50	13.19	4.86
對過程錯誤的想像						
移動的物體必定有力作用	3.80	3.80	3.33	1.67	5.56	2.78
兩拋體軌跡相交即有發生碰撞	10.13	7.59	11.67	3.33	12.50	0.00
平均	6.96	5.70	7.50	2.50	9.03	1.39
錯誤的關係連結						
重力大小與物體運動狀態有關	11.39	8.86	13.33	5.00	13.89	1.39
重力加速度與本身質量相關	21.52	12.66	21.67	8.33	20.83	2.78
水平與垂直方向運動互相影響	8.86	3.80	10.00	0.00	9.72	2.78
平均	13.92	8.44	15.00	4.44	14.81	2.31

註：百分比為另有概念出現次數除以該科技使用組總人數

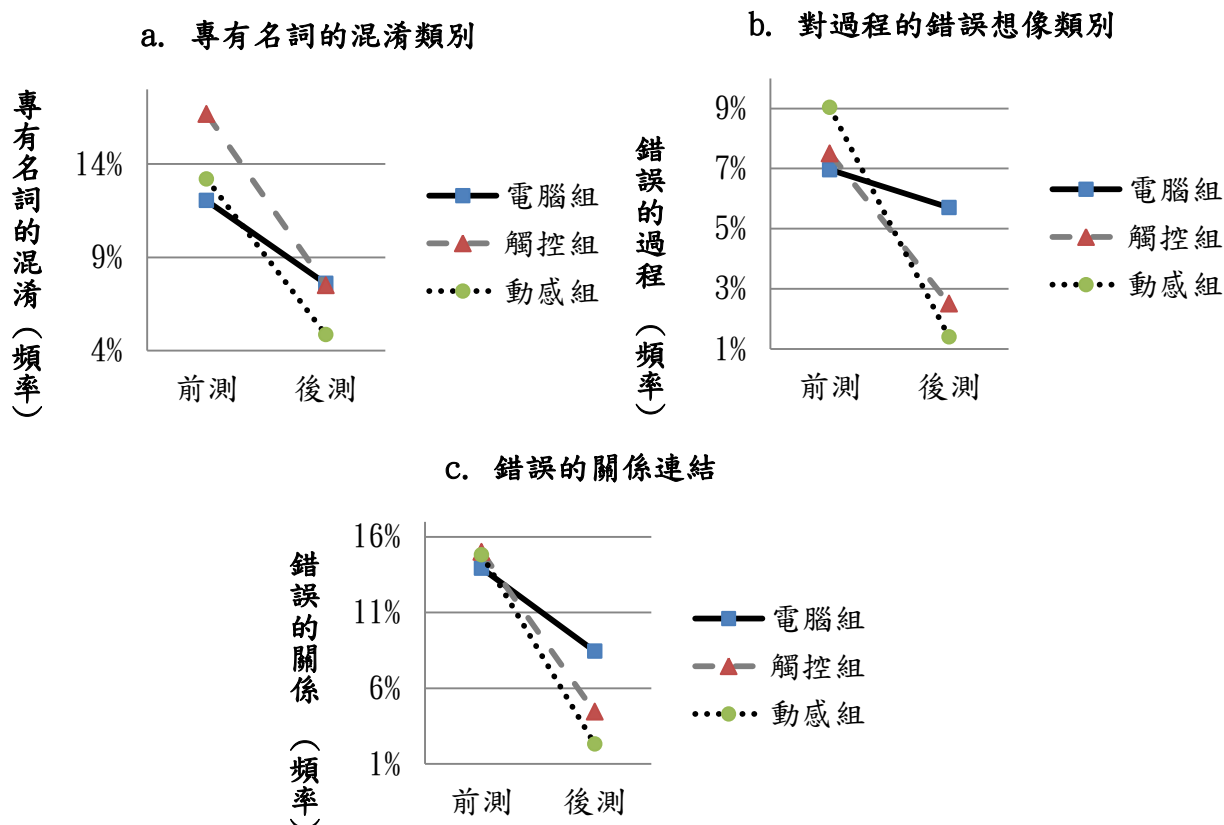


圖 4-2-1 概念評量開放式問題回答之另有概念類別趨勢：a.對專有名詞的混淆 b.對過程錯誤的想像 c.錯誤的關係連結

二、科技使用組別、視覺動作統整能力與兩者間交互作用對整體概念

學習成效之影響

(一) 各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對共變項以及其交互作用變項進行同質性檢定。於本節第一部份已可得知先備知識變項符合各組迴歸線平行之假設，適合做為概念測驗後測之共變項。所以本部分在此直接進行科技使用組別與視覺動作統整能力之同質性檢定，其中視覺動作統整能力分組依據同本章第一節，以中位數將學生區分為高視覺動作統整能力組與低視覺動作統整能力組。

(二) 交互作用效果檢定

接著再以整體後測成績作為依變項、先備知識為共變項，並將「視覺動作統整能力」與「科技使用組別」作組間迴歸係數同質性檢定，結果顯示自變項（科

科技使用組別、視覺動作統整能力)間的交互作用變項(科技使用組別*視覺動作統整能力) $F(2, 206) = 1.86$ 、 $p = 0.16 > 0.05$ 未達顯著水準，表示其共同迴歸線的斜率為 0，控制先備知識後視覺動作統整能力與依變項(後測成績)間的關係不會因為科技使用處理水準不同而有顯著差異，兩者間沒有交互作用。

(三) 雙因子多變量共變數分析

由上列之假設檢定結果可知，以先備知識為共變項、後測總分為依變項、視覺動作統整能力與科技使用組別為自變項為較佳之分析模式，並以此模型作雙因子共變數分析(ANCOVA)之結果及說明如下。

1. 細格調整平均數

在雙因子多變量共變數分析中，是以共變量調整後的平均數進行後續的效果檢定，因此其調整後的細格平均數如表 4-2-4 所示。

表 4-2-4 科技使用組別、視覺動作統整能力之調整前後平均數

群體	分數	總分	
		原始	調整後
電腦組		24.48	25.61
觸控組		26.83	26.86
動感組		26.92	25.91
低視覺動作統整能力組		24.93	25.18
高視覺動作統整能力組		27.24	27.07

2. 科技使用組別與視覺動作統整能力主要效果檢定

因視覺動作統整能力與科技使用之交互作用項未顯著，視覺動作統整能力與科技使用之主要效果檢定結果便有代表意義，其雙因子共變量主要效果檢定結果如表 4-2-5 所示，顯示科技使用組別、視覺動作統整能力組別在控制先備知識影

響後之各組學習結果是否有差異之檢定結果。

由科技使用組別變項之結果可知，去除先備知識的影響之後，科技使用組別的不同在後測總分之 $F(2, 206) = 1.30$ 、 $p > 0.05$ ，未達到顯著差異；由視覺動作統整能力變項之結果可知，去除先備知識的影響之後，視覺動作統整能力在總分 $F(1, 206) = 8.40$ 、 $p < 0.01$ 達到顯著且 $0.06 > \eta^2 > 0.02$ 屬小效果量。

由此雙因子共變量檢定結果可知，科技使用的不同可能在整體概念學習成效而言並未造成顯著的影響。視覺動作統整能力則是在整體概念而言有造成顯著差異，配合平均數來看，亦即高視覺動作統整能力組之學生在概念測驗總分之表現較優於低視覺動作統整能力組學生。

表 4-2-5 科技使用組別與視覺動作統整能力於後測總分主要效果檢定

來源	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
修正後的模型	2629.672	4	657.418	30.83	<.01**	0.37
截距	2620.389	1	2620.389	122.90	<.01**	0.37
科技使用組別	55.283	2	27.642	1.30	.28	0.01
視覺動作統整能力	179.005	1	179.005	8.40	<.01**	0.03
誤差	4392.253	206	21.322			
校正後總和	7021.924	210				

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

三、科技使用組別、空間能力與兩者間交互作用對整體概念學習成效之影響

(一) 各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對共變項以及其交互作用變項進行同質性檢定。於本節第一部分已可得知先備知識變項符合各組迴歸線平行之假設，適合做為概念測驗後測之共變項。所以本節在此直接進行科技使用組別與空間能力之同質性檢定，其中空間能力分組依據同本章第一節，以中位數將學生區分為高空間能力組與低空間能力組。

(二) 交互作用效果檢定

以整體後測成績作為依變項、先備知識為共變項、並將「空間能力」與「科技使用組別」為自變項作雙因子共變數分析及組間迴歸係數同質性檢定結果如表 4-2-6。科技使用組別變項與空間能力變項的交互作用變項（空間能力*科技使用組別） $F(2, 204) = 9.76$ 、 $p < 0.01$ 達顯著水準且 $0.06 > \eta^2 > 0.02$ 屬小效果量，表示兩者有交互作用且違反組間迴歸係數同質性的假設，自變項（空間能力）與依變項（後測成績）間的關係會因為另一自變項（科技使用組別）處理水準不同而有差異。

最後，因交互作用達到顯著，科技使用組別變項與空間能力變項之檢定結果便較無代表性統計意義，接續本研究將試圖以其他方法繼續詳細的探討兩變項之間的關係。

表 4-2-6 科技使用組別與空間能力於後測總分雙因子共變數分析

來源	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	F	p	η^2
修正後的模型	3073.73	6	512.29	26.47	<.01**	0.07
截距	2961.84	1	2961.84	153.04	<.01**	0.42
科技使用組別	27.19	2	13.59	0.70	.50	<0.01
空間能力	189.33	1	189.33	9.78	<.01**	0.03
科技使用組別*空間能力	377.63	2	188.82	9.76	<.01**	0.03
誤差	3948.19	204	19.35			
校正後總和	7021.92	210				

* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$

(三) 單純主要效果檢定

由於科技組別與空間能力交互作用項達顯著，表示學生在不同科技組別表現會因空間能力的不同而有所差異，因此並不能分開討論其效果，而需對不同的組別進行單純主要效果檢定，其結果如下。

1. 細格調整平均數

單純主要效果檢定為在總樣本中挑選特定條件的部分樣本群體來進行變異數分析，在本研究中即是分開在各個組別中進行另一變項之單因子共變數分析（ANCOVA），因為其比較之基準亦為控制共變數（先備知識）後之調整平均數，所以首先將原始平均數與調整後平均數列出如表 4-2-7。

表 4-2-7 科技使用組別、空間能力之原始與後測調整後平均數

後測總分 群體		人數	調整前	調整後	人數	調整前	調整後	人數	調整前	調整後
		低空間能力			高空間能力					
科技 使用	電腦組	39	21.86	22.21	40	29.25	28.62			
	觸控組	31	26.82	26.94	29	26.84	26.79			
	動感組	33	26.20	26.97	39	27.59	26.87			
		電腦組			觸控組			動感組		
空間	低空間能力	39	21.86	22.49	31	26.82	26.54	33	26.20	25.43
能力	高空間能力	40	29.25	29.59	29	26.84	27.39	39	27.59	26.69

2. 科技使用組別與空間能力單純主要效果檢定

控制先備知識後進行之單純主要效果檢定結果如表 4-2-8，表中分別列出兩變項（空間能力、科技使用組別）對於不同來源（特定群體）進行之變異數分析結果摘要。表中可以見到空間能力在電腦組中之主要效果 $F(1, 76) = 50.18$ 、 $p < 0.01$ 達顯著水準且 $\eta^2 > 0.14$ 屬於高效果量，在觸控組及動感組中空間能力不同的學生總分則沒有達到顯著差異；科技使用組別的不同在低空間能力組中 $F(2, 99) = 7.66$ 、 $p < 0.01$ 達顯著差異且 $\eta^2 > 0.06$ 屬中效果量，在高空間能力組中 $F(2, 104) = 3.45$ 、 $p < 0.05$ 、 $0.06 > \eta^2 > 0.02$ 屬小效果量。

圖 4-2-2 畫出各組後測總分之調整後平均數趨勢圖，以便更容易看出交互作用趨勢。配合上述結果可知，對於電腦組的學生而言，高空間能力比低空間能力的學生有較佳的表現，但空間能力的高低對於觸控組與動感組的學生卻沒有學習表現上的差異。但是不論學生的空間能力高或低，科技使用組別的不同對於學習成效均有影響，只是此影響是否只顯現在特定的科技使用組別之間在此檢定中並無法見得，故本研究將繼續由平均數差異的多重事後比較結果來進行探討。

表 4-2-8 科技使用組別與空間能力於後測總分之單純主要效果分析摘要

自變項/群體	第 III 類平方和	自由 度	平均值平 方	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
空間能力						
電腦組	693.20	1	693.20	50.18	<.01**	0.31
觸控組	0.28	1	.28	0.02	.90	<0.01
動感組	0.17	1	.17	0.01	.93	<0.01
科技使用組別						
低空間能力組	279.69	2	139.84	7.66	<.01**	.008
高空間能力組	140.52	2	70.26	3.45	.035*	.005

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

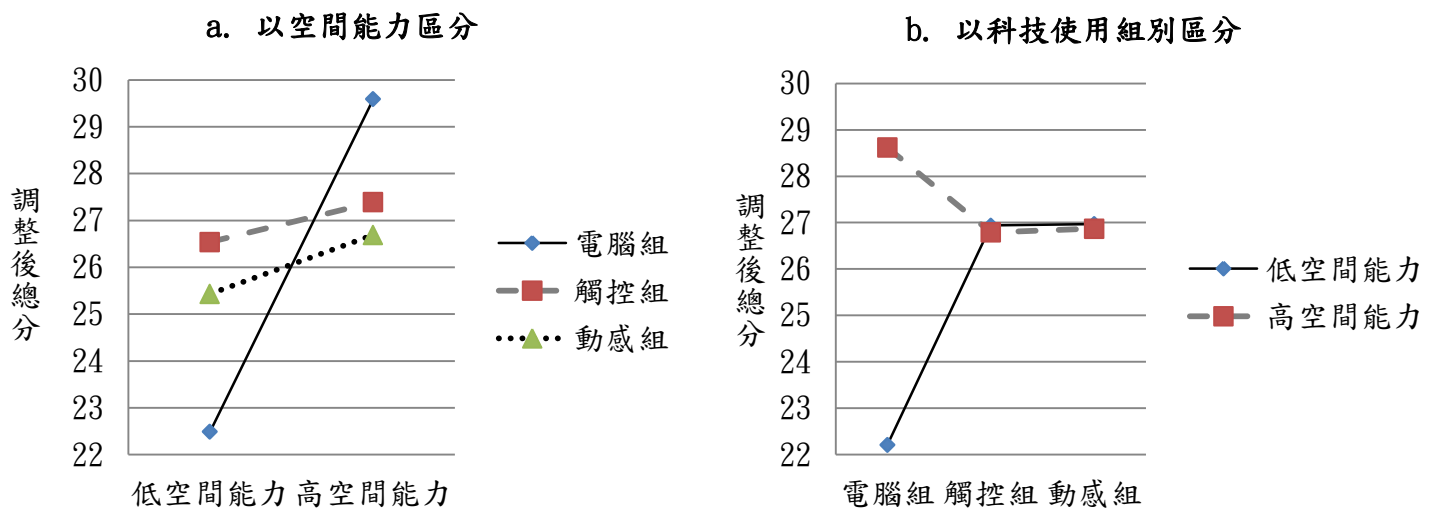


圖 4-2-2 各科技使用組後測總分之調整後平均數趨勢圖；a. 以空間能力為橫軸 b. 以科技使用組別為橫軸

3. 科技使用組別各組平均數差異之多重比較

由於從主要效果檢定並不能看出特定兩組之間的差異與否，因此必須進行各組平均數差異的多重比較，此事後比較方法採用最小顯著差異法（LSD）且結果如表 4-2-9 所示。顯示不論對於高空間能力或低空間能力的學生而言，觸控組或動感組間之學習成效均沒有差異；對低空間能力的學生而言，觸控組與動感組的學習成效均高於電腦組（ $p < 0.01$ ）；對高空間能力的學生而言結果恰好相反，觸控組與動感組的學習成效均低於電腦組（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ ）。

綜合以上結果，由事後比較得知對於低空間能力的學生而言採用觸控組或動感組的科技使用教學會有較高的學習效果，反之對於高空間能力的學生而言採用電腦組的科技使用教學才有較高的學習效果。

表 4-2-9 科技使用組別於高/低空間能力組平均數差異之 LSD 多重比較結果

群體	(I)	(J)	(I-J)	標準差	顯著性	95%信賴區間	
	組別	組別	平均差異			下界	上界
低空間 能力組	電腦組	觸控組	-4.06**	1.21	<.01**	-6.45	-1.66
		動感組	-2.94**	0.97	<.01**	-4.87	-1.02
	觸控組	電腦組	4.06**	1.21	<.01**	1.66	6.45
		動感組	1.11	1.27	0.38	-1.40	3.63
	動感組	電腦組	2.94**	0.97	<.01**	1.02	4.87
		觸控組	-1.11	1.27	0.38	-3.63	1.40
高空間 能力組	電腦組	觸控組	2.20*	1.10	0.05*	0.03	4.37
		動感組	2.90**	1.14	0.01**	0.64	5.17
	觸控組	電腦組	-2.20*	1.10	0.05*	-4.37	-0.03
		動感組	0.70	1.03	0.50	-1.34	2.74
	動感組	電腦組	-2.90**	1.14	0.01**	-5.17	-0.64
		觸控組	-0.70	1.03	0.50	-2.74	1.34

第三節 科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對記憶

層次與高階層次概念學習成效之影響

本節主要探討的研究問題為：不同的科技使用組別、視覺動作統整能力、空間能力與拋體運動的記憶認知層次與高階認知層次概念學習成效之關係。本章第二節已探討各變項與整體學習成效之關係，但將概念評量視為整體並無法得知各變項的影響是針對概念的那些面相，因此本節依據第三章所述，將概念學習成效（概念評量後測）分別就記憶認知層次、高階認知層次分數來探討。如同本章第二節，本節主要分為三部分，第一部分討論科技使用之主要效果、第二部分討論科技使用與視覺動作統整能力之效果、第三部分討論科技使用與空間能力之效果。第二與第三部份分別確認科技使用組別與空間能力高低或視覺統整能力高低是否有交互作用後，再進一步討論不同科技使用組別與不同空間能力或不同視覺統整能力的學生在兩部分認知層次之拋體運動概念學習成效的關係。由於探討之依變項（記憶認知層次分數、高階認知層次分數）有兩項且彼此之間如表 4-3-1 均有一定程度之相關性（ $p < 0.01$ ），加上學生之學習結果可能因先備知識高低而有所不同，因此本節之分析將以多變量共變數分析（Multivariate analysis of covariance, MANCOVA）作為主要分析工具。

表 4-3-1 概念測驗後測成績相關表（Spearman 相關係數）

		記憶認知層次	高階認知層次
記憶認知層次	相關係數(r)	1.00	.29
	顯著性	--	<.001**
高階認知層次	相關係數(r)	.29	1.00
	顯著性	<.001**	--

**．在 0.01 層級上顯著

一、科技使用組別對記憶層次與高階層次概念學習成效之影響

(一) 各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對各變項以及其交互作用變項進行同質性檢定，即確認先備知識是否能作為共變項而進行科技使用與前測成績之檢定。

以概念測驗後測之記憶認知層次分數、高階認知層次分數作為依變項，並將「前測成績」（即先備知識）與「科技使用組別」作組間迴歸係數同質性檢定。結果顯示自變項（科技使用組別）與共變項（先備知識）的交互作用變項（先備知識*科技使用組別） $F(2, 206) = 2.01$ 、Wilks' $\lambda = 0.94$ 、 $p > 0.05$ 未達顯著水準，表示共變項（先備知識）與依變項（後測成績）間的關係不會因為自變項（科技使用組別）處理水準不同而有顯著差異，即以共變項對依變項進行迴歸分析所得到的斜率並沒有顯著差異，符合各組迴歸線平行的假設。

(二) 單因子多變量共變數分析

以概念測驗後測之記憶認知層次分數及高階認知層次分數作為依變項、先備知識為共變項，並將科技使用組別作單因子多變量共變數分析之結果及說明如下。

1. 細格調整平均數

在多變量共變數分析中，是以共變量調整後的平均數進行後續的效果檢定，因此其調整後的細格平均數如表 4-3-2 所示。

表 4-3-2 科技使用組別、視覺動作統整能力之原始與後測調整後平均數

群體 \ 分數	記憶層次分數		高階層次分數	
	原始	調整後	原始	調整後
電腦組	10.42	10.66	14.81	15.39
觸控組	10.90	10.92	16.68	16.73
動感組	9.96	9.68	17.58	16.91

2. 科技使用組別主要效果檢定

調整共變量後之主要效果檢定結果如表 4-3-3 所示，顯示科技使用組別在控制先備知識影響後之各組記憶層次、高階層次概念學習成效是否有差異之檢定結果。先由科技使用組別變項之多變量檢定結果 $F(2, 207) = 4.58$ 、Wilks' $\lambda = 0.92$ 、 $p < 0.01$ 達顯著得知整體而言科技使用組別的不同會造成學生記憶認知層次與高階認知層次概念學習成效的顯著差異。其中由表 4-3-3 可以得知記憶認知層次 $F(2, 207) = 3.67$ 、 $p < 0.05$ ，高階認知層次 $F(2, 207) = 4.25$ 、 $p < 0.05$ 且兩者 $0.06 > \eta^2 > 0.02$ 均屬小效果量。顯示雖然在總分中科技使用的不同未造成顯著差異，但分為兩種認知層次後，科技使用的不同均會在兩者中造成顯著差異。而後，若想探討哪兩組之間有差異、或者顯著與否是不是因為某特定兩組間之關係（差異極大或極小）進而影響整體檢定結果，則必須更深入討論各組平均數差異的多重比較結果。

表 4-3-3 科技使用組別主要效果檢定

來源	依變數	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	F	p	η^2
修正後的模型	記憶層次	219.28	3	73.10	9.50	<0.01**	0.12
	高階層次	1425.20	3	475.07	40.80	<0.01**	0.37
截距	記憶層次	624.65	1	624.65	81.16	<0.01**	0.34
	高階層次	769.92	1	769.92	66.13	<0.01**	0.20
科技使用組別	記憶層次	56.46	2	28.23	3.67	0.03*	0.03
	高階層次	98.88	2	49.44	4.25	0.02*	0.03
誤差	記憶層次	1593.28	207	7.70			
	高階層次	2410.17	207	11.64			
校正後總和	記憶層次	1812.56	210				
	高階層次	3835.37	210				

* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$

3. 科技使用組別各組平均數差異之多重比較

由於從主要效果檢定並不能看出特定兩組之間的差異與否，因此必須進行各組平均數差異的多重比較，此事後比較方法同本章第二節採用最小顯著差異法（*LSD*）且結果如表 4-3-4 所示。

在三個科技使用組之間的事後比較中，顯示在記憶認知層次部分，電腦組和觸控組表現都明顯優於動感組（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ ），而電腦組與觸控組間無顯著差異；高階認知層次部分，則是觸控組與動感組明顯優於電腦組（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ ），而觸控組與動感組間無顯著差異。為求更清楚瞭解其中之趨勢，將第二節總分之比較結果加入以上結果簡化為表 4-3-5。

此項結果顯示本研究主要之介入變項－科技使用在整體的拋體力學概念學習上以觸控組為最佳組別，細分認知層次後觸控組於記憶認知層次表現優於動感組、於高階認知層次表現優於電腦組，此結果有可能顯示觸控組之科技使用特性對於學生概念學習的保留、提取或是應用、分析可能都有相當程度的幫助。反觀另兩組在不同的概念認知層次分別有不同的表現：電腦組之學生在記憶認知層次之學習表現較優、高階認知層次之學習表現較低，可能顯示電腦組的科技使用特性相對能幫助學生進行概念知識的保留或提取，但不利於概念知識的遷移（即應用、分析）；動感組學生則是在高階認知層次之學習表現較優、記憶認知層次之學習表現較低，則可能顯示動感組的科技使用特性相對比較能幫助學生進行概念知識的應用與分析，但在概念知識的保留成效就或許不及另外兩組。以上各結果的原因或許能從科技本身特性、認知負荷等面向來討論，其細節將於第五章另行描述。

表 4-3-4 科技使用組別各組平均數差異之 *LSD* 多重比較結果

依變數	(I)	(J)	(I-J)	標準差	顯著性	95%信賴區間	
	組別	組別	平均差異			下界	上界
記憶層次分數	電腦組	觸控組	-0.26	0.48	0.59	-1.20	0.68
		動感組	0.98*	0.46	0.04*	0.06	1.89
	觸控組	電腦組	0.26	0.48	0.59	-0.68	1.20
		動感組	1.24*	0.49	0.01**	0.27	2.20
	動感組	電腦組	-0.98*	0.46	0.04*	-1.89	-0.06
		觸控組	-1.24*	0.49	0.01**	-2.20	-0.27
高階層次分數	電腦組	觸控組	-1.33*	0.59	0.02*	-2.49	-0.18
		動感組	-1.52*	0.57	0.01**	-2.65	-0.40
	觸控組	電腦組	1.33*	0.59	0.02*	0.18	2.49
		動感組	-0.19	0.60	0.76	-1.37	1.00
	動感組	電腦組	1.52*	0.57	0.01**	0.40	2.65
		觸控組	0.19	0.60	0.76	-1.00	1.37

*.平均值差異在 0.05 層級達到顯著、**.平均值差異在 0.01 層級達到顯著

表 4-3-5 科技使用組別事後多重比較摘要表

依變數	<i>LSD</i> 比較結果（顯著差異）	調整後平均數排序
總分	— —	觸控組 > 動感組 > 電腦組
記憶層次分數	電腦組 > 動感組、觸控組 > 動感組	觸控組 > 電腦組 > 動感組
高階層次分數	觸控組 > 電腦組、動感組 > 電腦組	動感組 > 觸控組 > 電腦組

二、科技使用組別、視覺動作統整能力與兩者間交互作用對記憶層次

與高階層次概念學習成效之影響

(一) 各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對共變項以及其交互作用變項進行同質性檢定。於本節第一部份已可得知先備知識變項符合各組迴歸線平行之假設，適合做為概念測驗後測之共變項。所以本部分在此直接進行科技使用組別與視覺動作統整能力之同質性檢定，其中視覺動作統整能力分組依據同本章第一節，以中位數將學生區分為高視覺動作統整能力組與低視覺動作統整能力組。

(二) 交互作用效果檢定

以概念測驗後測之記憶認知層次分數及高階認知層次分數作為依變項、先備知識為共變項，並將「視覺動作統整能力高低」與「科技使用組別」作組間迴歸係數同質性檢定，結果顯示自變項（科技使用組別、視覺動作統整能力高低）間的交互作用變項（科技使用組別*視覺動作統整能力高低） $F(2, 204) = 0.82$ 、Wilks' $\lambda = 0.98$ 、 $p > 0.05$ 未達顯著水準，表示其共同迴歸線的斜率為 0，表示控制先備知識後視覺動作統整能力與依變項（後測成績）間的關係不會因為科技使用處理水準不同而有顯著差異，兩者間沒有交互作用。

(三) 雙因子多變量共變數分析

由上列之假設檢定結果可知，以先備知識為共變項、後測成績（包含記憶認知層次分數、高階認知層次分數）為依變項、視覺動作統整能力高低與科技使用組別為自變項為較佳之分析模式，以此模型作雙因子多變量共變數分析（MANCOVA）之結果及說明如下。

1. 細格調整平均數

在雙因子多變量共變數分析中，是以共變量調整後的平均數進行後續的效果檢定，因此其調整後的細格平均數如表 4-3-6 所示。

表 4-3-6 科技使用組別、視覺動作統整能力之原始與後測調整後平均數

群體	分數	記憶層次分數		高階層次分數	
		原始	調整後	原始	調整後
電腦組		10.42	10.73	14.81	15.60
觸控組		10.90	10.91	16.68	16.70
動感組		9.96	9.675	17.58	16.86
低視覺動作統整能力組		10.00	10.10	15.77	15.65
高視覺動作統整能力組		10.79	10.72	17.01	17.00

2. 科技使用組別與視覺動作統整能力高低主要效果檢定

因視覺動作統整能力高低與科技使用之交互作用項未顯著，視覺動作統整能力高低與科技使用之主要效果檢定結果便有代表意義，其雙因子多變項共變量主要效果檢定結果如表 4-3-7 所示，顯示科技使用組別、視覺動作統整能力組別在去除先備知識影響後之各組學習結果是否有差異。

由於本節第一部分已探討科技使用對於記憶、高階認知層次學習成效的影響，於是在此若科技使用與視覺動作統整能力若沒有交互作用便直接單獨探討視覺動作統整能力之影響。即控制先備知識後，視覺動作統整能力高低在此模式中整體 $F(1, 206) = 4.14$ 、Wilks' $\lambda = 0.96$ 、 $p < 0.05$ 達到顯著。細看主要檢定效果表視覺動作統整變項之結果可知，控制先備知識的影響後，視覺動作統整能力的高低在高階認知層次分數 $F(2, 206) = 6.87$ 、 $p < 0.01$ 達到顯著且 $0.06 > \eta^2 > 0.02$ 均屬小效果量，在記憶認知層次分數則未達到顯著差異。

綜合以上所述，視覺動作統整能力的高低則是對於高階層次有顯著差異而在記憶層次部分沒有顯著差異，配合平均數來看，亦即高階認知層次中高視覺動作統整能力的學生在比起低視覺動作統整能力的學生有較好的學習成效。

表 4-3-7 科技使用組別與視覺動作統整能力主要效果檢定

來源	依變數	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
修正後的模型	記憶層次	242.63	4.00	60.66	7.96	<0.01**	0.13
	高階層次	1502.98	4.00	375.74	33.19	<0.01**	0.83
截距	記憶層次	630.39	1.00	630.39	82.72	<0.01**	0.35
	高階層次	781.88	1.00	781.88	69.06	<0.01**	0.43
科技使用組別	記憶層次	63.03	2.00	31.51	4.14	0.02*	0.03
	高階層次	65.14	2.00	32.57	2.88	0.06	0.04
視覺動作統整能力	記憶層次	23.34	1.00	23.34	3.06	0.08	0.01
	高階層次	77.78	1.00	77.78	6.87	0.01**	0.04
誤差	記憶層次	1569.93	206.00	7.62			
	高階層次	2332.39	206.00	11.32			
校正後總和	記憶層次	1812.56	210.00				
	高階層次	3835.37	210.00				

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

三、科技使用組別、空間能力與兩者間交互作用對記憶層次與高階層

次概念學習成效之影響

(一) 各組迴歸線平行假設檢定

為求進行後續的共變數分析，本研究首先對共變項以及其交互作用變項進行同質性檢定。於本節第一部份已可得知先備知識變項符合各組迴歸線平行之假設，適合做為概念測驗後測之共變項。所以本節在此直接進行科技使用組別與空間能力之同質性檢定，其中空間能力分組依據同本章第一節，以中位數將學生區分為高空間能力組與低空間能力組。

(二) 交互作用效果檢定

接著再以概念測驗後測之記憶認知層次分數及高階認知層次分數作為依變項、先備知識為共變項、並將「空間能力高低」與「科技使用組別」為自變項作雙因子多變量共變數分析及組間迴歸係數同質性檢定結果如表 4-3-8。科技使用組別變項與空間能力變項的交互作用變項（空間能力*科技使用組別）整體 $F(2, 204) = 4.73$ 、Wilks' $\lambda = 0.91$ 、 $p < 0.01$ 達顯著水準，於記憶認知層次之 $F(2, 204) = 4.89$ 、 $p < 0.01$ 與高階認知層次 $F(2, 204) = 6.45$ 、 $p < 0.01$ 亦達顯著。表示兩者不論在記憶或是高階層次均有交互作用且違反組間迴歸係數同質性的假設，自變項（空間能力）與依變項（記憶層次與高階層次後測成績）間的關係會因為另一自變項（科技使用組別）處理水準不同而有差異。

最後，因交互作用達到顯著，科技使用組別變項與空間能力變項之檢定結果便較無代表性統計意義，接續本研究將試圖以其他方法繼續詳細的探討兩變項之間的關係。

表 4-3-8 科技使用組別與空間能力主要效果檢定

來源	依變數	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
修正後的模型	記憶層次	322.97	6.00	53.83	7.37	<0.01**	0.50
	高階層次	1673.25	6.00	278.88	26.31	<0.01**	0.04
截距	記憶層次	689.52	1.00	689.52	94.43	<0.01**	0.02
	高階層次	910.19	1.00	910.19	85.88	<0.01**	0.01
科技使用組別	記憶層次	68.53	2.00	34.26	4.69	0.01**	0.05
	高階層次	43.60	2.00	21.80	2.06	0.13*	0.04
空間能力	記憶層次	24.59	1.00	24.59	3.37	0.07	0.08
	高階層次	86.25	1.00	86.25	8.14	0.01**	0.50
科技使用組別	記憶層次	71.46	2.00	35.73	4.89	0.01**	0.04
*空間能力	高階層次	136.63	2.00	68.31	6.45	<0.01**	0.02
誤差	記憶層次	1489.59	204.00	7.30			
	高階層次	2162.11	204.00	10.60			
校正後總和	記憶層次	1812.56	210.00				
	高階層次	3835.37	210.00				

* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$

(三) 單純主要效果檢定

由於科技組別與空間能力交互作用項達顯著，表示學生在不同科技組別的表现會因空間能力的不同而有所差異，因此並不能分開討論其效果，而需對不同的組別進行單純主要效果檢定，其結果如下。

1. 細格調整平均數

單純主要效果檢定比較之基準為控制共變數（先備知識）後之調整平均數，所以首先將原始平均數與調整後平均數，包含後測之記憶認知層次與、高階認知層次列出如表 4-3-9（各組人數同表 4-2-7）。

表 4-3-9 科技使用組別、空間能力之原始與後測記憶、高階認知層次調整後平均數

記憶認知層次		調整前	調整後	調整前	調整後	調整前	調整後
		低空間能力		高空間能力			
群體							
科技使用	電腦組	9.41	9.60	12.25	12.35		
	觸控組	10.94	10.86	10.88	11.04		
	動感組	9.86	9.63	10.05	9.80		
		電腦組		觸控組		動感組	
空間能力	低空間能力組	9.41	9.56	10.94	10.95	9.86	10.11
	高空間能力組	12.25	11.99	10.88	10.88	10.05	9.82
高階認知層次		調整前	調整後	調整前	調整後	調整前	調整後
		低空間能力		高空間能力			
群體							
科技使用	電腦組	13.12	13.56	17.89	18.15		
	觸控組	16.65	16.50	16.70	17.11		
	動感組	16.94	16.40	18.19	17.52		
		電腦組		觸控組		動感組	
空間能力	低空間能力組	13.12	13.32	16.65	16.76	16.94	17.48
	高空間能力組	17.89	17.52	16.70	16.66	18.19	17.68

2. 科技使用組別與空間能力單純主要效果檢定

控制先備知識後進行之單純主要效果檢定結果如表 4-3-10，表中分別列出兩變項（空間能力、科技使用組別）對於不同來源（特定群體）進行之變異數分析結果摘要。

由表中可以得知，對記憶認知層次的後測分數而言，空間能力變項在電腦組之主要效果 $F(1, 76) = 17.09$ 、 $p < 0.01$ 達顯著水準且 $\eta^2 > 0.14$ 屬於高效果量，在觸控組及動感組中空間能力不同的學生記憶層次分數則沒有達到顯著差異，此結

果與總分部分相同。而科技使用組別的不同在高空間能力組中 $F(2, 104) = 6.82$ 、 $p < 0.01$ 達顯著差異且 $\eta^2 > 0.06$ 屬中效果量，在高空間能力組中則未達顯著差異；對高階認知層次的後測分數而言，空間能力變項在電腦組之主要效果 $F(1, 76) = 42.47$ 、 $p < 0.01$ 達顯著水準且 $\eta^2 > 0.14$ 屬於高效果量，在觸控組及動感組中空間能力不同的學生高階層次分數則沒有達到顯著差異，此結果與記憶、總分部分相同。而科技使用組別的不同與記憶層次之結果恰巧相反，在低空間能力組中 $F(2, 99) = 6.82$ 、 $p < 0.01$ 達顯著差異且 $0.14 > \eta^2 > 0.06$ 屬中效果量，在高空間能力組中則未達顯著差異。

圖 4-3-1 畫出各組後測記憶認知層次之調整後平均數趨勢圖，以便更容易看出交互作用趨勢。配合上述結果可知對記憶認知層次的分數而言，電腦組的學生中，高空間能力者表現會較低空間能力者好，但空間能力的高低對於觸控組與動感組的學生卻沒有記憶層次學習表現上的差異。而對於低空間能力組的學生而言，三組科技使用不會造成記憶層次學習表現上的差異、但對高空間能力組的學生而言則會造成差異；圖 4-3-2 畫出各組後測高階認知層次之調整後平均數趨勢圖。配合上述結果可知對高階認知層次的分數而言，電腦組的學生中，高空間能力者在高階層次表亦會較低空間能力者好，但對於觸控組與動感組的學生沒有差異。而對於低空間能力組的學生而言，三組科技使用會造成高階層次學習表現上的差異、但對低空間能力組的學生而言則不會造成差異。

總括而言，以記憶與高階認知層次之後測成績使用多變量共變數分析之結果趨勢雖大致與總分之趨勢相符，如空間能力高低只在電腦組學生產生顯著影響，但也提供了進一步的細節，如科技使用組別於記憶認知階層學習成效只對高空間能力的學生有顯著影響、於高階認知階層則只對低空間能力的學生有顯著影響，顯示了科技使用與空間能力的交互作用也會因概念學習的認知層次而有所不同。最後，如同本章第二節，若欲知道組別兩兩間的差異則須繼續進行平均數差異的多重事後比較結果來探討。

表 4-3-10 科技使用組別與空間能力於後測記憶、高階層次分數之單純主要效果分析摘要

記憶認知層次	第 III 類平方和	自由度	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
空間能力						
電腦組	99.87	1.00	99.87	17.09	<0.01**	0.16
觸控組	0.07	1.00	0.07	0.01	0.93	0.00
動感組	1.47	1.00	1.47	0.19	0.67	0.00
科技使用組別						
低空間能力組	22.06	2.00	11.03	1.54	0.22	0.03
高空間能力組	101.96	2.00	50.98	6.82	<0.01**	0.11
高階認知層次						
空間能力						
電腦組	297.23	1.00	297.23	42.47	<0.01**	0.29
觸控組	0.12	1.00	0.12	0.01	0.92	0.00
動感組	0.75	1.00	0.75	0.06	0.80	0.00
科技使用組別						
低空間能力組	197.47	2.00	98.73	9.45	<0.01**	0.12
高空間能力組	18.27	2.00	9.14	0.86	0.43	0.01

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

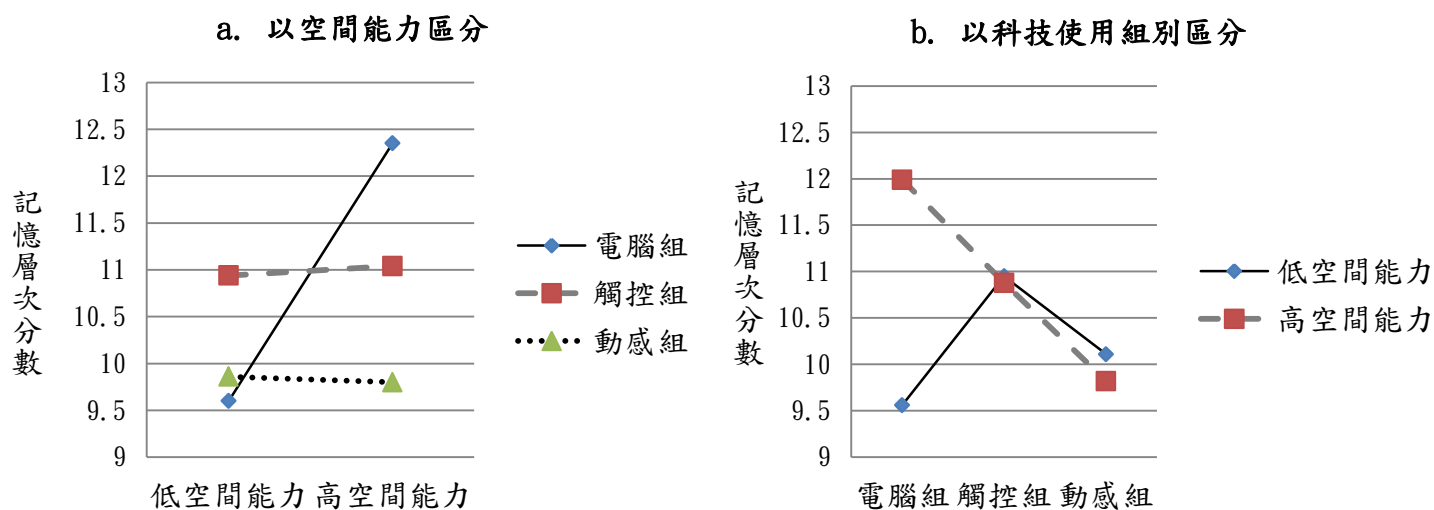


圖 4-3-1 各科技使用組後測記憶認知層次總分之調整後平均數趨勢圖；a. 以空間能力為橫軸 b. 以科技使用組別為橫軸

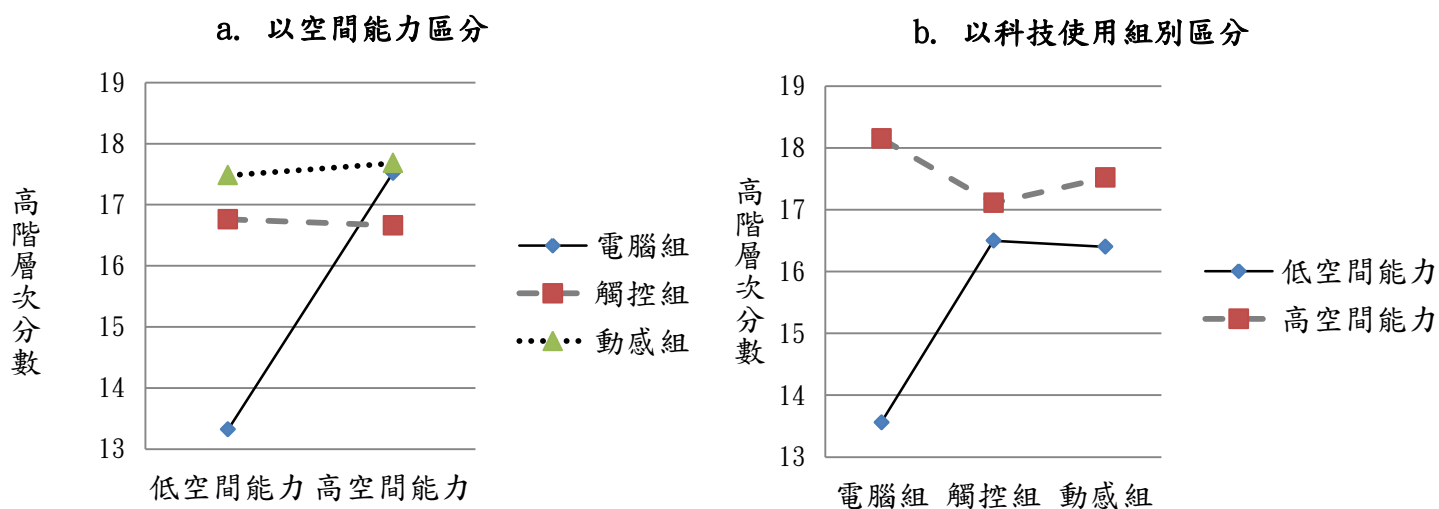


圖 4-3-2 各科技使用組後測高階認知層次總分之調整後平均數趨勢圖；a. 以空間能力為橫軸 b. 以科技使用組別為橫軸

3. 科技使用組別各組平均數差異之多重比較

從主要效果檢定中可以發現，科技使用組別變項之記憶認知層次分數只在高空間能力組中達到顯著、高階認知層次分數則只在低空間能力組中達到顯著。但由此不能看出特定兩組之間的差異與否，因此必須進行各組平均數差異的多重比較，此事後比較方法採用最小顯著差異法（*LSD*）且結果如表 4-3-11。

表 4-3-11 顯示對於低空間能力的學生而言，觸控組與動感組的記憶認知階層學習成效均高於電腦組（ $p < 0.01$ ）；對高空間能力的學生而言結果恰好相反，觸控組與動感組的學習成效均低於電腦組（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ ）。

以上結果與第二節總分之事後比較結果相同，但由此能進一步指出：低空間能力學生中，觸控組與動感組學習成效均高於電腦組之主要影響是來自於高階認知層次學習成效差異。反之高空間能力學生中，觸控組與動感組學習成效均低於電腦組之主要影響是來自於記憶認知層次學習成效差異。

表 4-3-11 科技使用組別於高/低空間能力組記憶、高階層次分數之 *LSD* 比較結果

群體	(I)	(J)	(I-J)	標準差	顯著性	95%信賴區間	
	組別	組別	平均差異			下界	上界
低空間 能力組 之 高階層 次分數	電腦組	觸控組	-2.89**	0.91	<0.01**	-4.71	-1.08
		動感組	-2.85**	0.73	<0.01**	-4.30	-1.39
	觸控組	電腦組	2.89**	0.91	<0.01**	1.08	4.71
		動感組	0.05	0.96	0.96	-1.85	1.95
	動感組	電腦組	2.85**	0.73	<0.01**	1.39	4.30
		觸控組	-0.05	0.96	0.96	-1.95	1.85
高空間 能力組 之 記憶層 次分數	電腦組	觸控組	1.31*	0.66	0.05	-0.01	2.62
		動感組	2.55**	0.69	<0.01**	1.18	3.92
	觸控組	電腦組	-1.31*	0.66	0.05	-2.62	0.01
		動感組	1.25*	0.62	0.05*	0.01	2.48
	動感組	電腦組	-2.55**	0.69	<0.01**	-3.92	-1.18
		觸控組	-1.25*	0.62	0.05 *	-2.48	-0.01

*.平均值差異在 0.05 層級達到顯著、**.平均值差異在 0.01 層級達到顯著

第五章 結論與建議

本章主要分為三節，第一節將彙整研究結果、第二節為依據研究問題及其結果作更進一步的討論、最後第三節則對與本研究相關之教學與未來的研究方向提出建議。

第一節 結論

本研究主要探討不同科技使用、視覺動作統整能力、空間能力對學生運動力學中之拋體運動整體、記憶認知層次、高階認知層次（理解、應用、分析）之概念學習成效的影響。研究參與者為 211 名私立高一學生，並依班級分為電腦組（使用電腦）、觸控組（使用平板電腦）、動感組（使用平板電腦及其重力加速度感測器）。研究資料來源為拋體運動概念評量，內容包含單選題、複選題與開放式問答題。研究結果顯示，整體而言此單元之教學以使用平板電腦搭配觸控功能但不使用重力加速度感測器特性，學生學習效果可能較佳。且不同科技使用的學習成效會依據不同教學目標類型或不同空間能力學生而有所不同，但不受視覺動作統整能力之影響。以下總述本研究結果，並將其與研究問題對應後列出：

研究問題（一）：不同科技使用、空間能力、視覺動作統整能力的學生，於教學活動前後對拋體運動概念理解是否有組內的進步？

比較各組別概念評量之前後測成績顯示，教學活動前後，學生無論科技使用組別、視覺動作統整能力、空間能力是否不同，在拋體運動的概念理解均有顯著進步。此結果也表示本研究之教學活動設計與內容，對於整體學生的概念理解都有所助益。

研究問題（二）：科技使用的不同是否會造成拋體運動概念學習成效的組間差異？

就總分來進行各科技使用組別間的比較則沒有顯著差異，顯示整體而言在本研究中之科技使用不同並不會造成不同的概念學習成效。但如果將學習成效就概念認知層次區分，則科技使用不同會造成各概念類型層次的學習成效不同。對記

憶認知層次而言，電腦組與觸控組學生學習成效顯著高於動感組；對高階認知層次而言，則是動感組與觸控組學生學習成效顯著高於電腦組，故觸控組之科技使用可能較佳，於不同概念概念類型均有較大助益。

但對另有概念在教學前後的減少幅度來說，電腦組另有概念減少幅度均小於使用平板電腦的觸控組及動感組，且此趨勢以「對過程錯誤的想像」類別最為明顯。在「對過程錯誤的想像」類別中，另有概念減少幅度以動感組最大、觸控組次之、電腦組最小。

研究問題（三）：視覺動作統整能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？

因視覺動作統整能力與科技使用組別的交互作用不顯著，顯示視覺動作統整能力對概念學習成效的影響並不會因科技使用組別而有所不同。若單獨檢視視覺動作統整能力對拋體運動概念學習成效的影響，則高視覺動作統整能力學生有較高的概念學習成效，反之低視覺動作統整能力學生的概念學習成效則較低。若進一步討論對不同概念類型的影響，可發現視覺動作統整能力對記憶認知層次的學習成效並無顯著影響，而是對高階認知層次的學習成效有影響，且較高視覺動作統整能力學生在高階認知層次學習成效亦會表現較好。

研究問題（四）：空間能力在不同科技使用的教學下，是否會影響拋體運動概念學習成效？

無論對於整體、記憶認知層次、概念性知識概念學習成效而言，空間能力與科技使用之影響均有交互作用，即空間能力對概念學習成效的影響會隨科技使用組別而有所差異。深入比較後可知，只有電腦組中，空間能力越高的學生對於整體、記憶認知層次、高階認知層次概念學習成效均會越高，觸控組、動感組的概念學習成效則均與空間能力高低無關。另外，對高空間能力的學生而言，電腦組的整體與記憶層次學習成效顯著高於觸控組與動感組，而在高階層次則無此趨勢；對低空間能力的學生而言，觸控組與動感組的整體與高階認知層次概念學習成效顯著高於電腦組，而在記憶層次則無此趨勢。簡言之，電腦之科技使用相較於平

板電腦可能會使高空間能力學生於記憶層次的概念學習成效較出色，但也可能使低空間能力學生於高階層次的概念學習成效有限，以平板電腦為載具之科技使用則可能會減低空間能力對學習成效的影響。

第二節 討論

本節將依據本章第一節的結論做進一步的詮釋與討論，依討論內容分為三項：不同科技使用對學生學習拋體運動概念的影響、視覺動作統整能力對學生學習拋體運動概念的影響、及空間能力對學生學習拋體運動概念的影響。

一、科技使用對於學生學習拋體運動概念的影響

由研究問題一之結果可以得知三種不同科技使用的組別概念評量前後測分數均有顯著差異，即三組的教學活動對學生拋體運動概念學習理解均有正面的幫助。此結果回應了本研究第二章之預測，因所有科技使用組別所使用之教學輔助工具基本架構均為電腦模擬動畫，而模擬動畫因具有豐富性（Richness）、低透明度（Low Transparency）、主動互動性（Active Interaction）等特性（Swaak & de Jong, 2001），因此各科技使用組別均能夠幫助學生提升思考層次（Lee, 1999）、具體化抽象概念（Ramasundaram et al., 2005）等進而幫助學生對於拋體運動概念的理解。

進一步探討不同科技使用組別間差異的研究結果顯示，三組科技使用組別在整體運動力學概念（總分）學習成效並無顯著差異，本研究試著尋求可能的解釋。在第二章以及第三章（表 3-1-1），本研究整理出物理教育性 App 可幫助學生概念學習之特性為移動性（Mobility）、直覺性介面（Intuitive Interface）、內建感測器（Embedded Sensors）、統整性系統（Integrated System）、多點觸控螢幕（Multi-touch Screen）。用以檢視本研究使用之 App 後可以得知觸控組具備「移動性」、「直覺性介面」、「統整性系統」，動感組則比觸控組更多了「內建感測器」的特性。但若進行深入探討，則可發現「移動性」在本研究中雖然利用於平板電腦的傾斜操弄與學生討論便利，但受限於教學場域必須在教室內而可能無法發揮其行動學習的最大效果；「統整性系統」在本研究中之使用為利用 Wifi 無線網路直接分享實驗截圖，但如同行動性之描述，若教學場域只是在教室內則此特性相對電腦的網路連接則無特殊優勢；「多點觸控螢幕」則因為本研究教學單元並不需要同時操作兩種以上變因而沒有充分使用其多點之特性，因而餘下「觸控螢幕」

之特性如同第二章文獻探討的說明，已包含在「直覺性介面」的特性中。又因為本研究以平板電腦為載具之科技使用與電腦主要的不同來自於「直覺性介面」與「內建感測器」特性，其他特性可能均並未充分發揮其相對於電腦組的差異。由此角度來看的話，未造成整體概念學習成效差異之原因，有可能為三組同質性過高，即只有「直覺性介面」與「內建感測器」兩特性並不會造成顯著差異的緣故。另外，雖然過去眾多研究者均提出平板電腦融入教學的優勢與好處，但為此進行實徵性研究之研究者如 Amelink et al. (2012)、Derting 和 Cox (2008)、Enriquez (2010)等其大部分關注的特性主要為平板電腦的手寫輸入功能與網路連線功能，利用平板電腦所進行的教學活動多為課堂筆記、作業繳交、資料查詢等，與本研究以平板電腦 App 進行模擬實驗有所不同，也可能是造成結果與預期落差的原因之一。

對於學生的另有概念頻率在教學前後的改變情形來說，電腦組的另有概念頻率減少幅度在各類別均小於觸控組與動感組，且在「錯誤的過程想像」類別此區是最明顯。此結果若由另有概念形成之緣由來看，另有概念因為是由日常生活經驗形成(Gilbert & Watts, 1983; Smith et al., 1994)，因此若提供之教學情境與日常生活越容易產生連結與對照，則學生也會越容易比較自身概念與實驗結果，進而修正自身想法(Muller et al., 2008)。觸控組與動感組學生因為在模擬動畫可以較直觀地操作拋體，甚至動感組可以直接使用身體感受動畫中拋體之重力加速度，因此可能更容易凸顯另有概念與自身想像衝突之處，進而使另有概念出現次數降低。而此推論也可能可以解釋在「錯誤的過程想像」類別中趨勢最明顯的研究結果，因為三組模擬動畫的內容均相同，在專有名詞、以及名詞間關係的學習經驗可能也會極為雷同，差異主要會在拋體的運動過程上。

以上討論僅針對整體概念學習成效與整體概念中之另有概念而言，若將教學目標依概念層次區分為記憶認知層次與高階認知層次，則在記憶認知層次中電腦組之概念學習成效優於使用平板電腦的另兩組、在高階認知層次中使用平板電腦的兩組則優於電腦組。由於記憶認知層次之內容為對長期記憶的編碼與提取

(Kratwohl, 2002)，而使用平板電腦輔助教學時可能由於科技的新奇（Novelty）抑或是對於介面的陌生而造成分心效應（Distraction Effect），相較電腦組由於學生對於介面與操作方式都已經相當熟悉，因此可能會有比較高的專注程度，進而影響與記憶相關的記憶層次概念學習成效。反觀在高階認知層次概念學習時就不只是記憶左右學習成效，其中包含的理解（Understand）、應用（Apply）、分析（Analyze）均牽涉記憶的遷移，因此受分心效應的影響應較小。

另外，根據 Glenberg 和 Gallese (2012) 提出的索引性假說（Indexical Hypothesis），理解的發生需要將學習目標對應至動作經驗上，因為平板電腦觸控的特性提供學生可以直覺地用手指拖曳物體與其向量（速度或加速度大小與方向），提供了更多的動作資訊（Action Information）幫助學生將動作連結學習目標，進而提升理解效率。有趣的是，動感組因為加上了重力加速度感測器的特性，學生可以操弄平板電腦並直接知覺模擬動畫中物體所受的重力，但無論在記憶認知層次或高階認知層次都並未與觸控組學習成效達到顯著差異。此結果可能是由於動感（Kinetic）造成的效果無法大到可以由統計觀察，也有可能是因為動感組在操弄平板電腦時整個螢幕亦會跟著擺動，因此使得觀察不易、甚至需要另行解讀，至於詳細原因為何者，單就本研究之設計並無法判斷而須仰賴後續的相關研究更進一步討論。

二、視覺動作統整能力對於學生學習拋體運動概念的影響

研究者原先預期平板電腦之移動性以及較為直覺的觸控操作可以彌補低視覺動作統整能力學生對於電腦操作的困難(Kane et al., 2009)，但研究結果顯示，視覺動作統整能力對於拋體運動概念學習有正向的影響，其影響卻不會因科技使用的不同而有所差異。造成視覺動作統整能力與科技使用之交互作用未顯著的原因可能有三：首先是過去研究顯示視覺動作統整能力對於學習之影響會隨著年齡的增長而慢慢減小(S. A. Vogel, 1990)，有可能的原因為年紀增長後教學的內容從視覺空間轉為較多語言形式且學生可以應用其他技巧補救其弱點(劉鴻香 & 陸

莉, 1999), 本研究之參與者多為 16 歲左右之高一學生, 在使用不同科技時其視覺動作統整能力的影響可能因發展的成熟而削弱。第二則可能是電腦滑鼠、觸控螢幕、重力加速度感測器之科技使用, 在此概念的學習成效均會受到視覺動作統整能力的高低相同程度的影響, Kane et al. (2009)在描述行動科技的使用對於低視覺動作統整能力的幫助時亦提到使用觸控螢幕或是操作其功能時可能反而造成部分使用者的困難。最後, 過去研究使用之行動裝置輔助低視覺動作統整能力學生學習主要強調之特性為「移動性」與「統整性系統」, 如同本節第一部分所提到的, 本研究以平板電腦進行模擬實驗且場域受限於教室之中, 所以可能並未完全發揮科技使用彌補低視覺動作統整能力學生概念學習的潛力。

三、空間能力對於學生學習拋體運動概念的影響

過去眾多文獻均指出, 空間能力與物理概念學習成效有正相關, 亦即高空間能力的學生學習成效應比低空間能力學生要來的好(Kozhevnikov & Thornton, 2006; Lord, 1985; Pribyl & Bodner, 1987)。本研究中空間能力對於拋體運動概念學習成效會因科技使用的不同而有所差異, 以下進行空間能力影響與科技使用的交互作用進行深入討論。

對於整體概念學習成效而言, 空間能力的影響只有在電腦組才顯示出來, 而在觸控組與動感組均不會造成學習成效的差異。在電腦組中的趨勢與文獻相符, 即高空間能力之學生概念學習成效比低空間能力學生較佳, 但使用平板電腦輔助教學的另外兩組卻可能使得空間能力的影響趨小至無統計上之顯著差異。在空間能力如何影響多媒體輔助教學的研究中, 有兩種設計效應的假說被提出討論, 第一種是「能力作為補償(Ability-as-compensator)」, 即預期在多媒體輔助學習後, 低空間能力的學生可以在這些表徵中得到額外的助益, 彌補與學習成效與高空間能力者的學習成效差距;第二種則為「能力作為增強(Ability-as-enhancer)」, 即高空間能力者因為較有辦法在這些表徵中得到更多的資訊, 而低空間能力者則因為需要保持這些表徵的心像(Mental Images)而超過認知超載(Cognitively

Overload) (R. E. Mayer & Sims, 1994)。在最近的研究中顯示 2D/3D 電腦動畫對於高空間能力的學生有較多的助益，因此近期對於空間能力的研究結果較偏向「能力作為增強」的觀點(Huk, 2006; T. Mayer, Lebedev, Hunger, & Jaegermann, 2005)。本研究之電腦組結果雖然支持此項假說，但使用平板之另外兩組卻無此趨勢，有可能的原因由「能力作為增強」的機制來作解釋的話，以科技輔助學習之所有學生在概念學習過程中需要同時處理表徵的轉換（如：即時將箭頭長短方向視為速度的大小與方向）與模擬動畫的操作。

低空間能力的學生在電腦組概念學習中其心智因為要同時處理此兩項工作，因此容易認知超載而造成學習效率較低落。兩平板電腦組別雖然在表徵的轉換部分與電腦組雖沒有差異，但由於「直覺性介面」、「觸控螢幕」的特性，在模擬動畫操作部分可以直接以手指點選、拖曳或傾斜平板電腦進行操作，而不需要另外形成心像，進而降低操作的認知負荷並提升學習成效。反之高空間能力學生因為本來在心像的形成就沒有困難，使用平板電腦 App 並不會得到額外的連結或資訊，所以概念學習成效並不會特別提升，造成了平板電腦的科技使用趨向於「能力作為補償」的假說結果。此推測雖然可以解釋低空間能力學生在兩平板電腦組學習成效較佳，但無法充分解釋高空間能力學生學習成效為電腦組較佳，可能之原因則如同本節第一部分，高空間能力者因為認知不易超過負荷，或許反而容易被平板電腦的新奇而分心，以上的推測由概念分類後的分析可獲得進一步的線索。

若將教學目標分為記憶認知層次與高階認知層次來作討論，研究結果顯示低空間能力學生中，觸控組與動感組學習成效均高於電腦組之主要影響是來自於高階認知層次概念學習成效差異。反之高空間能力學生中，觸控組與動感組學習成效均低於電腦組之主要影響是來自於記憶認知層次概念學習成效差異，此研究結果或許能夠支持本研究的推測。進一步來說，高空間能力學生或許因為分心，造成專注力不足，主要會反映在與記憶最相關的記憶認知層次學習成效上。而低空間能力學生在學習時，可能因為記憶層次學習並未牽涉到複雜的理解，所以認

知不容易超過負荷，三科技使用組別在記憶認知層次的概念學習成效便無顯著差異，但在高階認知層次就有了上述認知超載的影響。

綜合以上討論可以提出以下建議：若以資訊科技融入科學教學時，必須考慮學生之學習特性，高空間能力學生其實使用電腦輔助教學便可能有一定程度的成效且因為熟悉學習環境而更容易專心；但對於低空間能力的學生而言，使用平板電腦的特性減低其認知負荷，則有可能顯著提升對於概念的理解。

第三節 建議與未來研究方向

一、研究方法之建議

(一) 研究工具

本研究使用的拋體運動概念評量，雖在研究前期已作過效化與修改，但是在正式施測時可以觀察到還是有學生不清楚題意，事後評量時也發現有些題目未盡完善。故須不斷改進，確認每個題目的情境與條件清晰無誤導、題目間所測向度沒有重複。另外本研究之概念涉及動態與複雜關係的概念理解，因為時間限制大部分概念未能以開放式的問題形式回答，可能因此錯失了許多資訊，故建議測量相關概念時應多以開放題型作答，並盡可能透過電腦、呈現相仿的圖片、或使用動畫模擬等方式以求更接近真實的學習狀況。

(二) 模擬動畫與 App

在教學過程中研究者發現學生在使用模擬動畫或 App 進行模擬實驗時，會有看不清軌跡上打點的情形，因此建議在類似的模擬動畫加入放大縮小功能，以便更清楚數出拋體的位移。另外在觸控組中，若需在動畫中改變重力加速度則學生必須一隻手掌握平板電腦另一隻手操控向量，不免會有操作困難或是拿不穩的情況發生，建議若有類似操作，其操作區域可以設計成拿著平板電腦時可以直接由空出的拇指操控以求學習更加便利。

二、教學之建議

(一) POE 教學法使用

POE 的教學法在此單元配合模擬實驗雖然合適，但是因為電腦組的教學場域必須在電腦教室，因此在討論及分享上都會有移動的困難。故建議可以事先在分組時視情況改變座位或調整每組人數以利討論。另外在解釋（Explain）階段教師必須視時提示學生，且在達成教學效果後作適當總結並進入下一循環，此步驟仰賴教師的教學經驗與技巧，建議事先想好預設的總結語與假想學生可能的回

答。

(二) 平板電腦使用

平板電腦在實際教學最大的困難莫過於發放與維護管理，發放與回收均會耗費一定的時間因此必須先制定固定流程並請學生協助，平板電腦的維護管理則因為沒有如同電腦一樣的還原卡，建議可以先將 App 放置於數個記憶卡，直接使用記憶卡安裝 App 比起雲端下載較為迅速有效率。最後在教學時常發生平板電腦沒電的情形，因此在教學前建議先設置好延長線及充電器維持教學步驟的流暢不會因沒電而中斷。

三、 未來研究之建議

(一) 研究之實施時間

受限於參與者學校之時程，本研究的教學活動相對短促。然而要讓學生建立完整的概念架構，應提供充裕的時間與適當的教材，故建議將教學時間作適當的延長。

(二) 研究之概念內容

本研究之拋體運動概念屬於簡化真實情境、需要將抽象現象視覺化的學習內容，若要將研究設計推廣至其他概念則也應具備這些特性，且將概念的特性對應至平板電腦或電腦的特性上。

(三) 延宕測驗

整體而言學習者對於概念的理解有顯著進步，但是此學習成效是否為短暫記憶、單純硬記、抑或是納入本身認知結構則需要進一步施予延宕測驗以追蹤確認。

(四) 科技使用

本研究研究之平板電腦特性主要涉及觸控螢幕及內建感測器，若要進一步研究平板電腦所帶來的便利與潛力，則建議在研究中需納入多點觸控及統整性系統等其他特性，搭配不同的教學情境以深入探求平板電腦對於概念學習成效的影響。

響。

(五) 視覺動作統整能力

視覺動作統整能力在本研究雖然並未與科技使用交互作用，但若未來研究加入更多功能，需要更多視覺與動作的刺激，則可能有不同結果。故建議未來研究配合不同的科技使用特性，選擇是否繼續探討視覺動作統整能力的影響。

(六) 空間能力

空間能力在本研究中顯示之效果視對象而分別支持能力作為補償、能力作為增強兩種假說，顯示不同的學習情境下，空間能力可能也會有不同的作用機制。建議未來研究能夠更進一步確認於何種條件下會產生特定的影響效果，進而提供教學者考慮學習者特性後選擇最佳的教學方法。

參考文獻

中文部分

- 林嘉琦 (2006)。應用 POE 教學策略探討學習「溶解」單元概念改變之情形。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 邱維宣 (2002) 高中學生參與拋體運動專題實驗之研究。彰化師範大學物理學系碩士論文 (未出版)。
- 康鳳梅 (2002)。高工學生空間能力指標建構之研究 (1/2)。行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告 (NSC91-2516-S-003-007)。台北市：國立台灣師範大學工業教育學系。
- 康鳳梅、簡慶郎、鍾怡慧、詹秉鈞與盧永昌 (2006)。高工學生空間能力常模及空間能力資源網建構之研究。師大學報，52 (3)，1-14。
- 張春興 (1992) 教育心理學。台北：東華。
- 張英鵬 (1997) 感覺運動訓練方案對國小語文學習障礙兒童感覺動作能力、語文學習與人際關係之影響。國立臺灣師範大學特術教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 教育部 (2013)。教育部人才培育白皮書。台北市：教育部。
- 許天威 (1986) 學習障礙者之教育。台北市：五南。
- 游恆山 (譯) (1991)。Robert, M. L.、Rita, W.-N.與 Robert, V. K.著。發展心理學。台北市：五南圖書。
- 劉鴻香 (1991) 拜瑞視覺動作統整發展測驗修訂報告。臺北師院學報，4 (1)，487-526。
- 劉鴻香、陸莉 (1999) 拜瑞—布坦尼卡視覺—動作統整發展測驗。台北市：心理。
- 鄭海蓮、陳世玉 (2007) 標準化空間能力測驗之建模與驗證。教育研究與發展期刊，3 (4)，181-216。

英文部分

- Amelink, C., Scales, G., & Tront, J. G. (2012). Student use of the Tablet PC: Impact on student learning behaviors. *Advances in Engineering Education*, 3(1).
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York, NY: Longman.
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles*, 20(5-6), 327-344. doi: 10.1007/BF00287729
- Barnhardt, C., Borsting, E., Deland, P., Pham, N., & Vu, T. (2005). Relationship between visual-motor integration and spatial organization of written language and math. *Optometry & Vision Science*, 82(2), 138-143.
- Başer, M., & Geban, Ö. (2007). Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 243-267. doi: 10.1080/02635140701250857
- Beery, K. E. (1997). *The Beery-Buktenica VMI: Developmental test of visual-motor integration with supplemental developmental tests of visual perception and motor coordination: administration, scoring, and teaching manual*: New Jersey: Modern Curriculum Press.
- Bo, J., Contreras-Vidal, J. L., Kagerer, F. A., & Clark, J. E. (2006). Effects of increased complexity of visuo-motor transformations on children's arm movements. *Human Movement Science*, 25(4-5), 553-567. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2006.07.003>
- Bullock, D., Grossberg, S., & Guenther, F. H. (1993). A self-organizing neural model of motor equivalent reaching and tool use by a Multimjoint arm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(4), 408-435. doi: 10.1162/jocn.1993.5.4.408
- Carlsen, D. D., & Andre, T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome student preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-based Instruction*, 19(4), 105-109.
- Chang, H.-Y., Wu, H.-K., & Hsu, Y.-S. (2013). Integrating a mobile augmented reality activity to contextualize student learning of a socioscientific issue. *British Journal of Educational Technology*, 44(3), E95-E99. doi: 10.1111/j.1467-8535.2012.01379.x
- Contreras-Vidal, J., Bo, J., Boudreau, J. P., & Clark, J. (2005). Development of visuomotor representations for hand movement in young children.

- Experimental Brain Research*, 162(2), 155-164. doi: 10.1007/s00221-004-2123-7
- Cromack, J. (2008, Oct.). *Technology and learning-centered education: Research-based support for how the tablet PC embodies the Seven Principles of Good Practice in Undergraduate Education*. Paper presented at the Frontiers in Education Conference, 2008. FIE 2008. 38th Annual.
- Daly, C. J., Kelley, G. T., & Krauss, A. (2003). Relationship between visual-motor integration and handwriting skills of children in kindergarten: A modified replication study. *American Journal of Occupational Therapy*, 57(4), 459-462.
- de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J.-M., Esquembre, F., Swaak, J., & van Joolingen, W. R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 597-615. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199905)36:5<597::AID-TEA6>3.0.CO;2-6
- de Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. doi: 10.3102/00346543068002179
- de Koning, B. B., & Tabbers, H. K. (2011). Facilitating understanding of movements in dynamic visualizations: an embodied perspective. *Educational Psychology Review*, 23(4), 501-521. doi: 10.1007/s10648-011-9173-8
- Derting, T. L., & Cox, J. R. (2008). Using a Tablet PC To Enhance Student Engagement and Learning in an Introductory Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, 85(12), 1638. doi: 10.1021/ed085p1638
- Dilber, R., Karaman, I., & Duzgun, B. (2009). High school students' understanding of projectile motion concepts. *Educational Research and Evaluation*, 15(3), 203-222. doi: 10.1080/13803610902899101
- Enriquez, A. G. (2010). Enhancing Student Performance Using Tablet Computers. *College Teaching*, 58(3), 77-84. doi: 10.1080/87567550903263859
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., . . . LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103.
- Fister, K. R., & McCarthy, M. L. (2008). Mathematics instruction and the tablet PC. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 39(3), 285-292. doi: 10.1080/00207390701690303
- Frolik, J., & Zurn, J. B. (2005). Evaluation of Tablet PCs for engineering content development and instruction. *Computers in Education Journal*, 15(3),

101-105.

- Gardner, H., & Hatch, T. (1989). Educational Implications of the Theory of Multiple Intelligences. *Educational Researcher*, 18(8), 4-10. doi: 10.3102/0013189x018008004
- Garg, A., Norman, G., Spero, L., & Taylor, I. (1999). Learning anatomy: do new computer models improve spatial understanding? *Medical Teacher*, 21(5), 519-522. doi:10.1080/01421599979239
- Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98.
- Glenberg, A. M., & Gallese, V. (2012). Action-based language: A theory of language acquisition, comprehension, and production. *Cortex*, 48(7), 905-922. doi: 10.1016/j.cortex.2011.04.010
- Goldstein, D. J., & Britt, T. W. (1994). Visual-motor coordination and intelligence as predictors of reading, mathematics, and written language ability. *Perceptual and Motor Skills*, 78(3), 819-823. doi: 10.2466/pms.1994.78.3.819
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory. *The Physics Teacher*, 33(8), 502-506.
- Hsu, Y.-S., & Thomas, R. A. (2002). The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. *International Journal of Science Education*, 24(9), 955-979. doi: 10.1080/09500690110095258
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? the case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 392-404. doi: 10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x
- Inoue, T., Yamamoto, Y., Nakazawa, K., Shigeno, H., & Okada, K. (2005). *Proposal of a map-making system for mobile learning that uses subjective geographic recognition*. Paper presented at the Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Kaohsiung, Taiwan.
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36(2), 183-204.
- Johansson, R. S., & Cole, K. J. (1992). Sensory-motor coordination during grasping and manipulative actions. *Current Opinion in Neurobiology*, 2(6), 815-823. doi: 10.1016/0959-4388(92)90139-C
- Kane, S. K., Jayant, C., Wobbrock, J. O., & Ladner, R. E. (2009, Oct.). *Freedom to roam: a study of mobile device adoption and accessibility for people with visual and motor disabilities*. Paper presented at the Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility,

Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

- Kim, J., Meltzer, C., Salehi, S., & Blikstein, P. (2011, Aug.). *Process Pad: a multimedia multi-touch learning platform*. Paper presented at the Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces.
- Koile, K., & Singer, D. (2006). *Development of a tablet-pc-based system to increase instructor-student classroom interactions and student learning*. Paper presented at the Proc. of Workshop on the Impact of Pen-Based Technology on Education (WIPTE'06).
- Kozhevnikov, M., & Thornton, R. (2006). Real-Time Data Display, Spatial Visualization Ability, and Learning Force and Motion Concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 111-132. doi: 10.1007/s10956-006-0361-0
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212-218. doi: 10.2307/1477405
- Kulp, M. T. (1999). Relationship between Visual Motor Integration Skill and Academic Performance in Kindergarten through Third Grade. *Optometry & Vision Science*, 76(3), 159-163.
- Lane, A. E., & Ziviani, J. M. (2010). Factors influencing skilled use of the computer mouse by school-aged children. *Computers & Education*, 55(3), 1112-1122. doi: 10.1016/j.compedu.2010.05.008
- Lazonder, A. W., & Ehrenhard, S. (2014). Relative effectiveness of physical and virtual manipulatives for conceptual change in science: how falling objects fall. *Journal of Computer Assisted Learning*, 30(2), 110-120. doi: 10.1111/jcal.12024
- Lee, J. (1999). Effectiveness of computer-based instructional simulation: A meta analysis. *International Journal of Instructional Media*, 26(1), 71-85. doi: citeulike-article-id:563542
- Li, C., Pow, W. C., Wong, M. L., & Fung, C. W. (2010). Empowering student learning through Tablet PCs: A case study. *Education and Information Technologies*, 15(3), 171-180.
- Lim, K. Y. (2011). What does the Tablet PC mean to you? A phenomenological research. *Innovations in Education and Teaching International*, 48(3), 323-333. doi: 10.1080/14703297.2011.593708
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta--Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479. doi: 10.1111/1467-8624.ep7252392
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and g. In I. D. P. Tapsfield (Ed.), (pp. 97-116). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lord, T. R. (1985). Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of*

- Research in Science Teaching*, 22(5), 395-405. doi: 10.1002/tea.3660220503
- Møller, K. L., Georgsen, M., & Jelsbak, V. A. (2013, Mar.). *Use of Tablets for Instruction and Learning in Microbiology Labs*. Paper presented at the Learning & Teaching with Media & Technology ATEE-SIREM Winter Conference Proceedings 2013, Genoa, Italy.
- Madeira, R. N., Correia, N., Guerra, M., Postolache, O., Dias, A., & Postolache, G. (2011). *Designing personalized therapeutic serious games for a pervasive assistive environment*. Paper presented at the IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH).
- Marshall, P., Cheng, P. C.-H., & Luckin, R. (2010). *Tangibles in the balance: a discovery learning task with physical or graphical materials*. Paper presented at the Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, Cambridge, Massachusetts, USA.
- 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.
- Mayer, T., Lebedev, M., Hunger, R., & Jaegermann, W. (2005). Elementary processes at semiconductor/electrolyte interfaces: Perspectives and limits of electron spectroscopy. *Applied Surface Science*, 252(1), 31-42. doi: 10.1016/j.apsusc.2005.01.110
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918. doi: 10.1037/0033-2909.86.5.889
- Miura, S., Ravasio, P., & Sugimoto, M. (2010). *Situated Learning with SketchMap. Interaction Technology Laboratory, Department of Frontier Informatics. The University of Tokyo, Tokyo.*
- Moore, E., Utschig, T. T., Haas, K. A., Klein, B., Yoder, P. D., Zhang, Y., & Hayes, M. H. (2008). Tablet PC technology for the enhancement of synchronous distributed education. *Ieee Transactions on Learning Technologies*, 1(2), 105-116.
- Muller, D. A., Bewes, J., Sharma, M. D., & Reimann, P. (2008). Saying the wrong thing: improving learning with multimedia by including misconceptions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(2), 144-155. doi: 10.1111/j.1365-2729.2007.00248.x
- Murray, O., & Olcese, N. (2011). Teaching and learning with iPads, ready or not? *TechTrends*, 55(6), 42-48. doi: 10.1007/s11528-011-0540-6
- O'Malley, P. J. (2010). Combining a Tablet personal computer and screencasting for chemistry teaching. *New Directions*(6), 64-67.
- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering

- drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1-10.
- Olympiou, G., Zacharias, Z., & deJong, T. (2013). Making the invisible visible: enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575-596. doi: 10.1007/s11251-012-9245-2
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67(4), 489-508.
- Oswald, D. (2011). *Ideation and design of novel iPad Apps: A design education case study*. Paper presented at the Proceedings of the 13th International Conference on Engineering and Product Design Education E&PDE11.
- Pallrand, G. J., & Seeber, F. (1984). Spatial ability and achievement in introductory physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(5), 507-516. doi: 10.1002/tea.3660210508
- Pellegrino, J. W., Alderton, D. L., & Shute, V. J. (1984). Understanding spatial ability. *Educational Psychologist*, 19(4), 239-253. doi: 10.1080/00461528409529300
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Prescott, A., & Mitchelmore, M. (2005, July). *Teaching projectile motion to eliminate misconceptions*. Proceedings of the 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education. Melbourne, Australia: University of Melbourne Press.
- Pribyl, J. R., & Bodner, G. M. (1987). Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 229-240. doi: 10.1002/tea.3660240304
- Ramasundaram, V., Grunwald, S., Mangeot, A., Comerford, N. B., & Bliss, C. M. (2005). Development of an environmental virtual field laboratory. *Computer Education*, 45(1), 21-34. doi: 10.1016/j.compedu.2004.03.002
- Rogers, J. W., & Cox, J. R. (2008). Integrating a Single Tablet PC in Chemistry, Engineering, and Physics Courses. *Journal of College Science Teaching*, 37(3), 34-39.
- Roschelle, J., Tatar, D., Chaudhury, S. R., Dimitriadis, Y., Patton, C., & DiGiano, C. (2007). Ink, improvisation, and interactive engagement: Learning with tablets. *IEEE Computer Society*, 40(9), 42-48.
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604-614. doi:

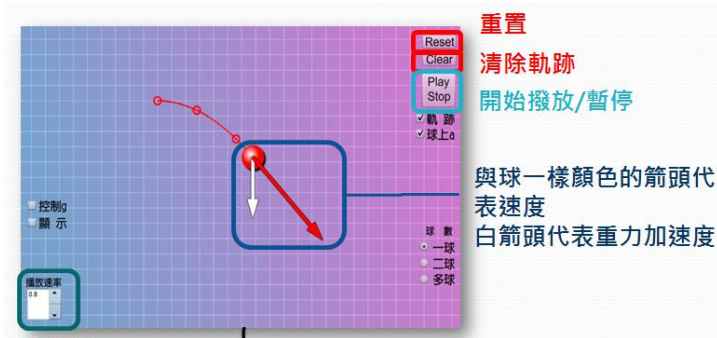
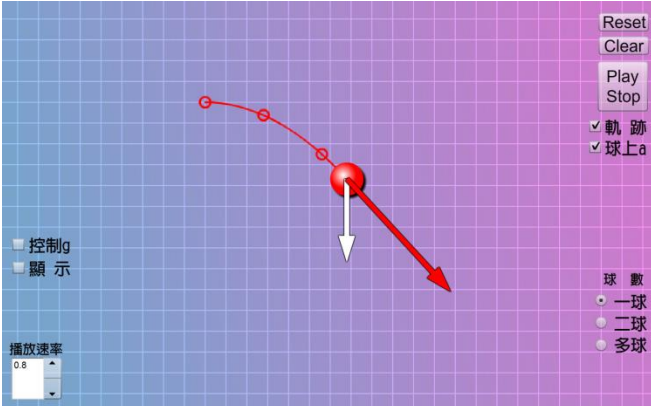
10.1037/0022-0663.93.3.604

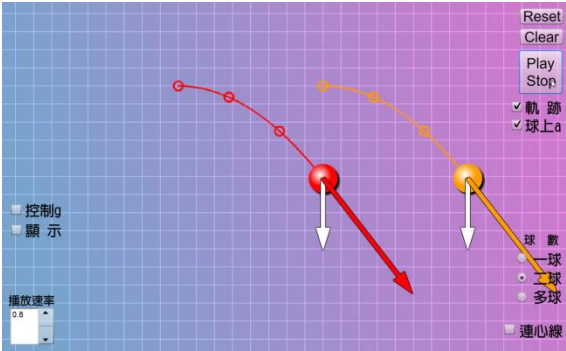
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2011). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. doi: 10.1080/09500693.2011.605182
- Smith, I. J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1994). Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163. doi: 10.1207/s15327809jls0302_1
- Sortor, J. M., & Kulp, M. T. (2003). Are the Results of the Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration and Its Subtests Related to Achievement Test Scores? *Optometry & Vision Science*, 80(11), 758-763.
- Stumpf, H., & Eliot, J. (1999). A structural analysis of visual spatial ability in academically talented students. *Learning and Individual Differences*, 11(2), 137-151. doi: 10.1016/S1041-6080(00)80002-3
- Swaak, J., & de Jong, T. (2001). Discovery simulations and the assessment of intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17(3), 284-294. doi: 10.1046/j.0266-4909.2001.00183.x
- Trey, L., & Khan, S. (2008). How science students can learn about unobservable phenomena using computer-based analogies. *Computers & Education*, 51(2), 519-529.
- Trundle, K., & Bell, R. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088. doi: 10.1016/j.compedu.2009.10.012
- Uzoglu, M., & Bozdogan, A. E. (2012). An examination of Preservice Science Teachers' views related to use of tablet PCs in science and technology course in terms of different variables. *Mevlana International Journal of Education*, 2(1).
- Veermans, K., Joolingen, W. v., & de Jong, T. (2006). Use of Heuristics to Facilitate Scientific Discovery Learning in a Simulation Learning Environment in a Physics Domain. *International Journal of Science Education*, 28(4), 341-361. doi: 10.1080/09500690500277615
- Vogel, J. J., Vogel, D. S., Janbowers, C.-B., Muse, C. A., & Michelle, K. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229-243.
- Vogel, S. A. (1990). Gender Differences in Intelligence, Language, Visual-Motor Abilities, and Academic Achievement in Students with Learning Disabilities: A Review of the Literature. *Journal of Learning Disabilities*, 23(1), 44-52. doi: 10.1177/002221949002300111
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London, England: Falmer.

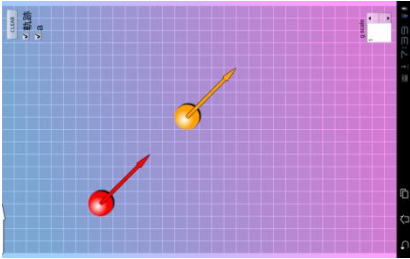
- Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., & Lee, Y.-L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 25-42. doi: 10.1002/tea.20097
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842. doi: 10.1002/tea.1033
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. doi: 10.1016/j.compedu.2012.10.024
- Yang, E.-m., Andre, T., Greenbowe, T. J., & Tibell, L. (2003). Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 25(3), 329-349. doi: 10.1080/09500690210126784
- Yilmaz, H. B. (2009). On the development and measurement of spatial ability. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(2), 83-96.
- Zacharia, Z., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71(6), 618-629. doi: 10.1119/1.1566427

附錄

附錄（一）、

時間	教學內容	教學方法/教具
7 分	● 引起動機/帶出教學主題 ● 教師播放《超危險特工》，子彈攔截火箭彈的片段 ● 教師提問，如果今天砲彈是朝你射過來，要如何攔截它呢？砲彈和子彈的路徑是直線嗎？ ● 教師請同學上台試玩《Angry Bird》，射出後教師詢問同學為什麼不是直直射向目標？(鳥被射出後會受到甚麼的作用？) ● 本單元學完後，即使考慮有重力的狀況，只要知道目標的初速、位置，就可以設定我方的初速大小和方向來攔截目標！	● 以互動的方式激起學生的學習興趣 ● 因為 Angry Bird 的目標並不會移動，因此在這要有一個符合重力作用的模擬程式
3 分	● 教師介紹平板電腦 APP 《InclinePlaneMotion2013》基本操作  ● 可以翻轉整個平板電腦控制重力的大小、方向	
2 分	前導問題： 水平飛行的飛機空投砲彈時要如何準確的擊中地面上的目標？ 	● 說明情境：不同水平速度的飛機其砲彈有不同的初速 ● 回顧打點計時器中各個點的意義

2 分 3 分 5 分	● 學生預測並討論可能性。 ● 教師引入 app 《平面運動》(一球)，介紹如何操作與符號代表涵義。 ● 學生使用《平面運動》(一球)驗證其預測並填寫學習單。	● 注意各個軌跡在水平、垂直方向上有沒有共同、相異之處
2 分 2 分 3 分 5 分 10 分	子問題 1.： 兩砲彈均在同一水平線沿 X 軸拋射，在甚麼條件下能在落地前擊中？  ● 學生預測並討論可能性。 ● 教師引入 app 《平面運動》(二球)，介紹如何操作與符號代表涵義。 ● 學生使用《平面運動》(二球)驗證其預測並記錄結果。 ● 學生針對其觀察結果提出看法與解釋。	● 提示學生狀況可以分為 1. 兩砲彈相向發射 2. 兩砲彈均向同一邊發射 ● 球代表砲彈、紅黃箭頭長度和方向代表初速大小和方向、白箭頭代表重力、調整 g scale 可以控制落下加速度大小 ● 提示： 1. 敵方砲彈速度慢時較易在落地前攔截到。 2. 觀察兩砲彈軌跡中 x 軸位移、y 軸位移的大小關係 (打點之間距離大小)。 ● 教師使用《平面運動》的截圖總結：因為同時發射，所以 y 軸的位移兩

		者均相同。若單看 x 軸初速(無重力作用)我方砲彈可以追上對方砲彈則必會攔截到。
2 分	子問題 2.：兩砲彈均沿同一直線「斜向拋射」，在甚麼條件下能在落地前擊中？ 	● 沿同一直線即初速的方向在連心線上 ● 提示學生狀況可以分為 1. 兩砲彈相向發射 2. 兩砲彈均向同一邊發射
2 分	● 學生預測並討論可能性。 ● 教師引入 app 《平面運動》(二球)，介紹如何操作與符號代表涵義。	
10 分	● 學生使用《平面運動》(二球)驗證其預測並填寫學習單。	
8 分	● 學生針對其觀察結果提出看法與解釋。	● 與《平面碰撞》差別為可以顯示連心線、提高準確度，並在攔截到後自動停止。 ● 提示：與前一子問題一樣，試計算 x 軸與 y 軸的位移關係。並試著假設變數來證明在某時間時兩砲彈會在同座標。 ● 教師證明並使用《平面碰撞》總結： 若無外力狀態下攔截的到，則在同樣 g 的影響下也

		攔截的到。
2 分	子問題 3.：承問題 2.，若砲彈射出後受到的力會改變，在甚麼條件下能在落地前擊中？力的改變會影響攔截到的時間嗎？ ● 學生預測並討論可能性。 ● 學生使用《平面運動》(二球)驗證其預測。 ● 學生針對其觀察結果提出看法與解釋。	● 兩砲彈在同一時間受到的力均相等的，如兩砲彈受到同一磁場的干擾。在《平面運動》(二球)中以翻轉平板電腦來模擬
2 分		● 提示：如何翻轉會改變碰撞到的時間嗎？
10 分		● 教師證明只要無外力影響時攔截的到，則無論外力如何同時作用在兩砲彈上最後都會攔截到，且碰撞的時間點只與初速有關與外力無關。
7 分		
20 分	● 後測	課堂結束後直接測驗

附錄二、拋體運動概念評量

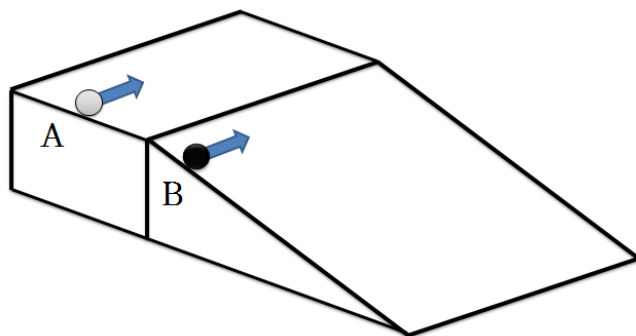
運動獨立性測驗

班級 _____ 姓名 _____ 座號 _____

<注意事項>

1. 題目若未註明（可複選）均為單選題
2. 題目均忽略空氣阻力的影響
3. 拋射的定義：給予物體一初始速度（初速），使其開始運動之後只受重力影響。

- ___ 1. 一球平行地面做水平拋射，3 秒後剛好擊中一鉛直牆面。假設此球在無重力狀態以相同初速作水平拋射，則擊中相同距離外鉛直牆面的時間將
(A) 小於 3 秒 (B) 等於 3 秒 (C) 大於 3 秒 (D) 資訊不足無法判定
- ___ 2. 步槍射擊時，子彈會平行地面向前射出，假設彈殼亦同時從相同高度向地面作自由落體，請問何者先落地？
(A) 子彈先落地 (B) 彈殼先落地 (C) 兩者同時落地 (D) 資訊不足無法判定
- ___ 3. 如圖，兩球以相同大小、方向之初速由左側出發，A 球在平台且 B 球在斜面上，請問兩球到達右側順序為？
(假設 B 球在到達斜面底部前會先碰觸到右側)
(A) A 球先到 (B) 兩球同時到達
(C) B 球先到 (D) 資訊不足無法判定



題組一、

- ___ 4. 若機上人員從一台平行地面等速飛行的噴射機上使包裹自由落下並觀察，包裹於飛機正下方釋放。請問經過一段時間後再由機上觀察，包裹會
(A) 逐漸朝噴射機前方遠離
(B) 逐漸朝噴射機後方遠離
(C) 維持在噴射機正下方
(D) 資訊不足無法判定

- ___ 5. 承上，若機上人員於噴射機即將降落時使包裹自由落下(此時飛機與地面呈 30° 俯角向斜下方等速飛行)，包裹於飛機正下方釋放。請問經過一段時間後再由機上觀察，包裹會
- (A) 逐漸朝噴射機前方遠離
 - (B) 逐漸朝噴射機後方遠離
 - (C) 維持在噴射機正下方
 - (D) 資訊不足無法判定

題組二、

- ___ 6. 今有高度不同的兩座砲台，較高的砲台離地 200 公尺、較低的炮台離地 100 公尺，兩者相距 250 公尺，兩砲台同時向對方發射初速為每秒 500 公尺的飛彈，則此兩飛彈做斜向拋射後
- (A) 必定相撞
 - (B) 有可能相撞
 - (C) 不會相撞
 - (D) 資訊不足無法判定



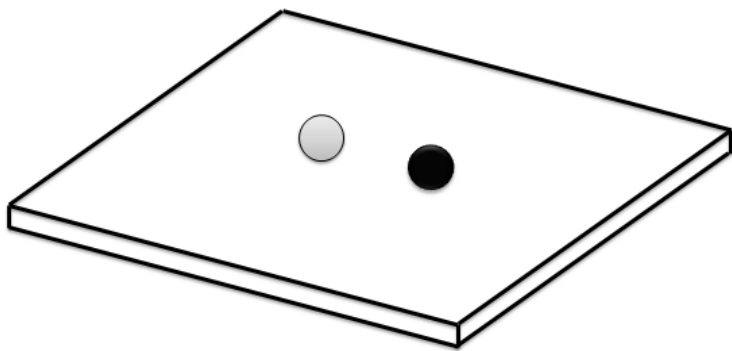
- ___ 7. 承上題，若將兩砲台移到月球上(即重力減小為地球重力約 $1/6$)，同時向對方發射相同初速的飛彈，則此兩飛彈做斜向拋射後
- (A) 必定相撞
 - (B) 若相同初始條件在地球上會相撞則在月球上也會相撞
 - (C) 有可能相撞，但與相同初始條件在地球上會不會相撞無關
 - (D) 不可能相撞
 - (E) 資訊不足無法判定

題組三、

- ___ 8. 今有高度均為 10 公尺、相距 1 公尺、半徑 1 公分的玻璃彈珠、鋼珠各一顆，玻璃彈珠以每秒 1 公尺的初速平行地面朝鋼珠射出，同時鋼珠由靜止朝地面作自由落體，若兩者高度遠大於兩者的間距，請問兩珠是否會相撞？
- (A) 必定相撞
 - (B) 可能相撞
 - (C) 不會相撞
- ___ 9. 呈上題，若在鋼珠的正下方加上強力磁鐵，使鋼珠受的吸引力與重力平行且大小相等，請問在此情況下兩珠是否相撞？
- (A) 必定相撞
 - (B) 可能相撞
 - (C) 不會相撞

題組四、

(一) 如右圖，今有甲、乙兩球靜止放置在一平坦木板上，若手可抓住此板邊緣並可做任意方向的傾斜，在兩球均不超過邊界的情況下，請回答下列各題：



10. 你認為任意傾斜木板後，兩球是否終究會相碰。

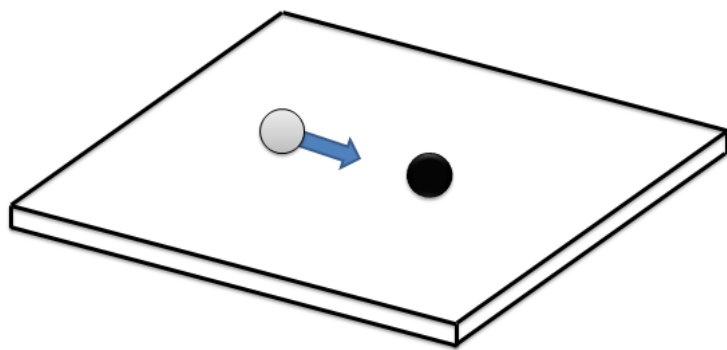
☐是

☐否

☐不一定

11. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。

(二) 承上題，今甲球靜止而乙球有一方向朝甲球的初速(圖中箭頭方向為初速大小、箭頭長度為速度。)請回答下列各題：



12. 你認為任意傾斜木板後，兩球是否終究會相碰。

☐是

☐否

☐不一定

13. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。

題組五、

如右圖所示，甲球、乙球距離地面的高度相同，且平行地面作水平拋射。（圖中箭頭方向為初速大小、箭頭長度為速度。）

請回答下列各題：



14. 若兩球間距離遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，甲球是否能擊中乙球。

☐是

☐否

☐不一定

15. 若兩球間距離不一定遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，甲球是否能擊中乙球。

☐是

☐否

☐不一定

16. 你認為，可能影響能否擊中的變因是？（可複選）

☐甲球與乙球的重量

☐甲球與乙球在水平方向的初速

☐甲球與乙球在鉛直方向的初速

☐甲球與乙球在水平方向的加速度

☐甲球與乙球在鉛直方向的加速度

☐甲球與乙球在水平方向的起始距離

☐甲球與乙球在鉛直方向的起始高度

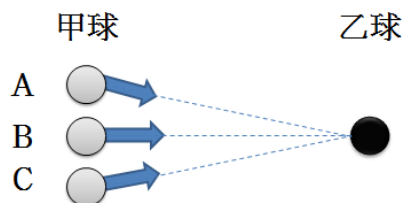
17. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。

題組六、

如右圖所示，今做三次實驗，甲球分別以相同初速由 A、B、C 三位置朝乙球拋射，且甲球射出的同時乙球由靜止釋放。

(圖中箭頭方向為初速大小、箭頭長度為速度。)

請回答下列各題：



18. 若兩球間距離遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，哪個位置的甲球能擊中乙球。(可複選)

- ☐ A 位置
- ☐ B 位置
- ☐ C 位置
- ☐ 不一定

19. 若兩球間距離不一定遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，哪個位置的甲球能擊中乙球。(可複選)

- ☐ A 位置
- ☐ B 位置
- ☐ C 位置
- ☐ 不一定

20. 你認為，可能影響擊中與否的變因是？(可複選)

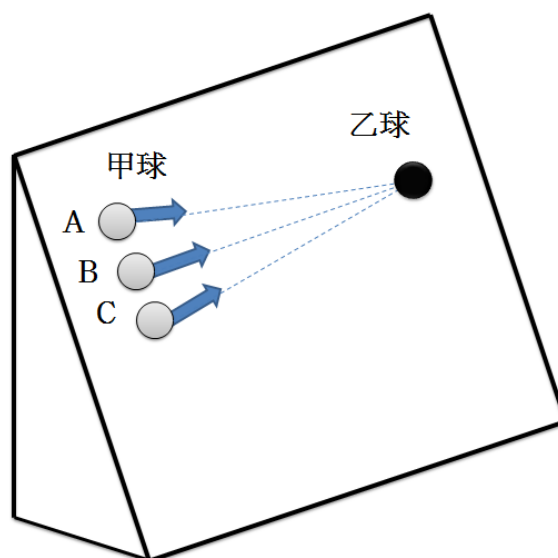
- ☐ 甲球與乙球的重量
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的初速
- ☐ 甲球與乙球在鉛直方向的初速
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的加速度
- ☐ 甲球與乙球在鉛直方向的加速度
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的起始距離
- ☐ 甲球與乙球在鉛直方向的起始高度

21. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。

題組七、

如右圖所示，今將兩球擺放於斜面上且甲球由 A、B、C 三位置朝乙球射出。甲球射出的同時乙球自由落下。

請回答下列各題：



22. 若兩球間距離遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，哪個位置的甲球能否擊中乙球。(可複選)

- ☐ A 位置
- ☐ B 位置
- ☐ C 位置
- ☐ 不一定

23. 若兩球間距離遠小於所在的高度，你認為在乙球落到地面前，哪個位置的甲球能否擊中乙球。(可複選)

- ☐ A 位置
- ☐ B 位置
- ☐ C 位置
- ☐ 不一定

24. 你認為，可能影響擊中與否的變因是？(可複選)

- ☐ 斜面與地面的角度
- ☐ 甲球與乙球的重量
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的初速
- ☐ 甲球與乙球在鉛直方向的初速
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的初速
- ☐ 甲球與乙球在水平方向的起始距離
- ☐ 甲球與乙球在鉛直方向的起始高度

25. 為什麼你會這樣認為（請詳細說明原因）。

