

第肆章 研究結果

本研究目的在探討兩班八年級的學生進行「透鏡成像」單元實驗時，不同的實驗環境對學習成效的影響。一組在電腦教室使用電腦模擬光學桌，另一組在理化專用實驗室使用光學透鏡組。比較其學習成效、概念內容的成效差異，進而探討兩種實驗環境對不同學習成就學生的影響。本章旨在呈現本研究之研究結果。全章共分三節：第一節為「透鏡成像概念成就之整體表現」；第二節為「兩組學生在特定概念內容的學習成效表現」；第三節「高中低成就學生在兩組的學習成效表現」。

第一節 透鏡成像概念成就之整體表現

本研究對象有兩個班級共計 70 人。電腦組共 35 人，男生 16 人，女生 19 人。操作組共 35 人，男生 16 人，女生 19 人。表 4-1-1 為兩組學生透鏡成像概念前測、後測的表現分布。透鏡成像概念測驗選擇題總分為 31 分，電腦組前測平均分數為 8.2 分，後測分數為 13.91 分；操作組前測平均分數為 8.91 分，後測分數為 13.25 分。兩組前測差異未達顯著水準（ $t(68) = -1.160, p = .25 > .05$ ）。顯示兩組進行實驗前先備知識沒有差異。

表 4-1-1 電腦組與操作組學生透鏡成像概念前測、後測的表現分布。電腦組後測與前測分數比較達顯著差異（ $t(34) = -5.661, p = .000 < .05$ ）；同樣地，操作組後測與前測也達顯著差異（ $t(34) = -4.619, p = .000 < .05$ ）。而兩組在概念後測選擇題表現未達顯著差異（ $t(68) = .460, p = .647 > .05$ ）。這樣的結果顯示使用電腦模擬實驗與動手操作光學桌實驗對學生透鏡成像的學習皆有顯著成效，且效果相當。

表4-1-1 電腦組與操作組前後測選擇題表現分布

組別	人數	前測		後測		顯著性
		平均數	標準差	平均數	標準差	
電腦組	35	8.20	1.94	13.91	6.00	.000**
操作組	35	8.91	2.78	13.26	5.95	.000**

(* $p < .05$, ** $p < .01$)

後測除了與前測相同的選擇題之外，還加入非選擇題。表 4-1-2 為電腦組與操作組後測總分、選擇題與非選擇題分數的表現分布。後測總分是兩組分數相近 ($t(68) = -.273, p = .786 > .05$)；後測選擇題是以電腦組平均分數較高，但未達顯著 ($t(68) = .460, p = .647 > .05$)；非選擇題則是以操作組分數較高，但未達顯著 ($t(68) = -1.449, p = .152 > .05$)。可見兩組在選擇題與非選擇題的表現相當。

針對非選擇題各題型來看，記錄於表 4-1-3，填充題以操作組的平均分數較高於電腦組但未達顯著 ($t(68) = -.505, p = .615 > .05$)；配合題也是操作組的平均分數較高但未達顯著 ($t(68) = -1.283, p = .204 > .05$)；問答題仍是以操作組的平均分數較高但未達顯著 ($t(68) = -1.182, p = .241 > .05$)。可見操作組在非選擇題的整體表現較高於電腦組但沒有顯著差異，故兩組學習在非選擇題的部分成效相近。

表4-1-2 電腦組與操作組後測總分、選擇題與非選擇題分數的表現分布

組別	人數	總分		選擇題		非選擇題	
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
電腦組	35	21.40	8.79	13.91	6.00	7.49	3.52
操作組	35	21.97	8.75	13.26	5.95	8.71	3.58

表4-1-3 電腦組與操作組後測總分、選擇題與非選擇題分數的表現分布

組別	人數	非選擇題					
		填充題		配合題		問答題	
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
電腦組	35	2.74	1.07	1.71	1.10	3.03	2.50
操作組	35	2.86	0.81	2.05	1.14	3.80	2.94

綜合以上結果，電腦組的前後測比較，後測達顯著進步，操作組也是。兩組後測之間未達顯著，顯示兩組對學生透鏡成像的學習皆有顯著成效，且效果相當。雖然兩組的表現在各類題型表現相當皆未達顯著，但下一節將針對各類型概念與各題目做深入比較。

第二節 兩組學生在特定概念內容的學習成效表現

一、各概念類型之學習成果

本小節是針對兩組在各概念類型的學習成果作分析。先將概念類型與對應題號整理於表 4-2-1，根據此表中對應的題目將各概念類型的題目平均答對率算出，繪製如圖 4-2-1。由圖中發現，兩組平均答對率相當的概念為 1、3、5、7；電腦組平均答對率高於操作組的概念為概念 2、8；操作組平均答對率高於電腦組的概念類型 4、6、9、10，以下針對每一類型的概念做分析。

表4-2-1概念類型與對應題號表

概念類型	對應題號
概念 1.像與物的靜態相對位置	a5 ,a6
概念 2.像與物的動態相對位置	a12, a13, a14, a15, a16, a17,a22
概念 3.像與物圖形的對稱關係	a1, a3
概念 4.透鏡成像結果的歸納	a2, a8, a9, a11, a19, a23
概念 5.實像與虛像的成像觀察	a4, a20, d1, d2
概念 6.照相機的特性	a24, a25, a26, a27, b1, b2, b3, b4 c1, c2, c3
概念 7.由像的性質推測物體的位置	a7, a10, a18 ,a21, a26
概念 8.成像為無限多條光線的交會點	a28, a29
概念 9.改變凸透鏡的焦距後成像性質的變化	b4, a30, a31
概念 10.光在凸透鏡中的反射現象	e1, e2

平均答對率

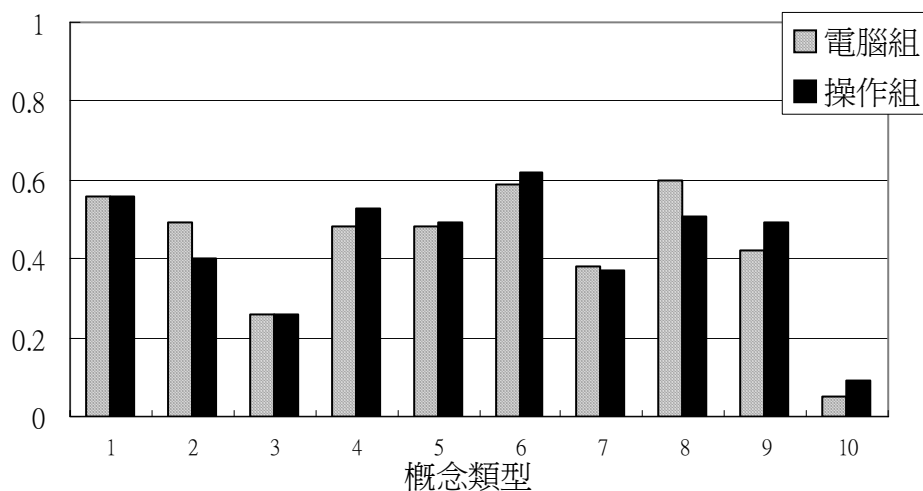


圖 4-2-1 兩組在各概念類型平均答對率的表現分布圖

首先分析兩組平均答對率相當的概念類型。兩組學生在概念 1、3、5、7 平均答對率近似。概念 1 為「像與物的靜態相對位置」，概念 3 為「像與物圖形的對稱關係」，概念 5 為「實像與虛像的成像觀察」，概念 7 為「由像的性質推測物體的位置」。兩組在概念 1 答對率皆為 0.56 近六成，電腦組前測答對率 0.27，操作組只有 0.16，可見兩組學生在此概念的學習皆有成長；兩組在概念 3 的答對率只有 0.26，可見兩組實驗對學生的對稱概念的幫助有限。將其中 a1 題作為半結構晤談的題目之一，以了解焦點學生的概念內容；操作組在概念 5 的平均答對率較電腦組高，但未達顯著差異（概念 5： $t(68) = -1.222$, $p = .226 > .05$ ）。對於此概念問答題，將在下一節針對學生的答題內容做分析；概念 7 的答對率約四成，顯示兩組皆有四成學生已經了解如何由像的性質推測物體的位置。

再則分析電腦組平均答對率高於操作組的概念類型。在概念 2、8 中，電腦組的平均答對率較操作組高。概念 2 為「像與物的動態相對位置」與概念 8 為「成像為無限多條光線的交會點」都是電腦組的平均答對率較操作組高，但未達顯著差異（概念 2： $t(68) = 1.112$, $p = .270 > .05$ ；概念 8： $t(68) = 1.006$, $p = .318 > .05$ ）。電腦組在「像與物的動態相對位置」概念的平均答對率較高，可能是因為使用電腦模擬光學桌時，只要拖曳滑鼠即可以調整物體位置，像也會隨之移動，立即呈現像的移動方向與物體移動方向相同。然而，操作組調整物體位置時，像的位置隨之改變，所以必須移動屏幕重新尋找成像。學生在移動屏幕時，無法馬上找到成像，故會左右多拉幾次，最後找到成像時，已經忘記前一個成像在哪一個位置，所以此實驗工具較難強化此概念。電腦組在概念 8 的平均答對率也較操作組高，可能是因為電腦組所使用的電腦介面上有「狹縫」按鈕，可利用狹縫來執行遮蔽凸透鏡的功能，教師在實驗中有提示此按鈕的功能，並能看見光線數量會減少，所以成像大小不變，但是光量變少成像變暗的性質容易觀察。而操作組需要使用不透明物阻擋，有些學生認為阻擋之後所觀察到的成像沒有改變，可能因為光量差異不大難察覺。

最後分析操作組平均答對率高於電腦組的概念類型。在概念 4、6、9、10

中，操作組的平均答對率較電腦組高。概念 4 為「透鏡成像結果的歸納」，概念 6 為「照相機的特性」，概念 9 為「改變凸透鏡的焦距後成像性質的變化」，這三種概念皆是操作組的平均答對率較電腦組高，但未達顯著差異（概念 4： $t(68) = -.630, p = .531 > .05$ ；概念 6： $t(68) = -.504, p = .616 > .05$ ；概念 9： $t(68) = -.988, p = .327 > .05$ ）。概念 4 為「成像結果的歸納」，此部分除了需要學生概念清楚之外，還需要對於成像結果熟悉，兩組的表現差異並不大答對率皆約為五成，操作組平均答對率略高於電腦組，可能與電腦組在實驗時來不及完成成像歸納學習單有關；概念 6 皆有約六成的答對率，顯示兩組學生皆對照相機的特性概念熟悉，操作組平均答對率較高可能是因為操作組實際接觸到照相機，故對於照相機的原理理解與功能較電腦組熟悉；概念 9 的三個題目為應用層次，在學習過程中沒有提到凸透鏡在焦距改變的成像性質，兩組學生的答對率近五成，顯示兩組學生的應用能力相當，但此能力不一定與實驗有關。

概念 10 為「光在凸透鏡中的反射現象」兩組分數皆偏低，也沒有顯著差異（概念 10： $t(68) = -1.018, p = .312 > .05$ ）。因為此概念為開放性問題，可測驗學生的創造與應用能力，但是對大多數的學生而言，未能聯想到在凸透鏡的成像可能與光反射有關，他們皆以為光透過凸透鏡只能有折射現象。電腦組 35 名學生當中只有 5 名學生（約 14%）推測為反射現象，操作組 35 名學生當中只有 6 名學生（約 17%）推測為反射現象。

綜合以上結果，電腦組的答對率較高的概念為概念 2、8，操作組的答對率較高的概念為 4、6、9、10，但整體而言兩組在這 10 種概念類型中表現相當未達顯著差異，可能是因為答對率會受題目難易度影響，以下再針對各題目作分析。

二、各類型題目分析

本小節是針對兩組在各題目的學習成果作分析，並依照各類型的順序分析，依序為選擇題、配合題、填充題、問答題。

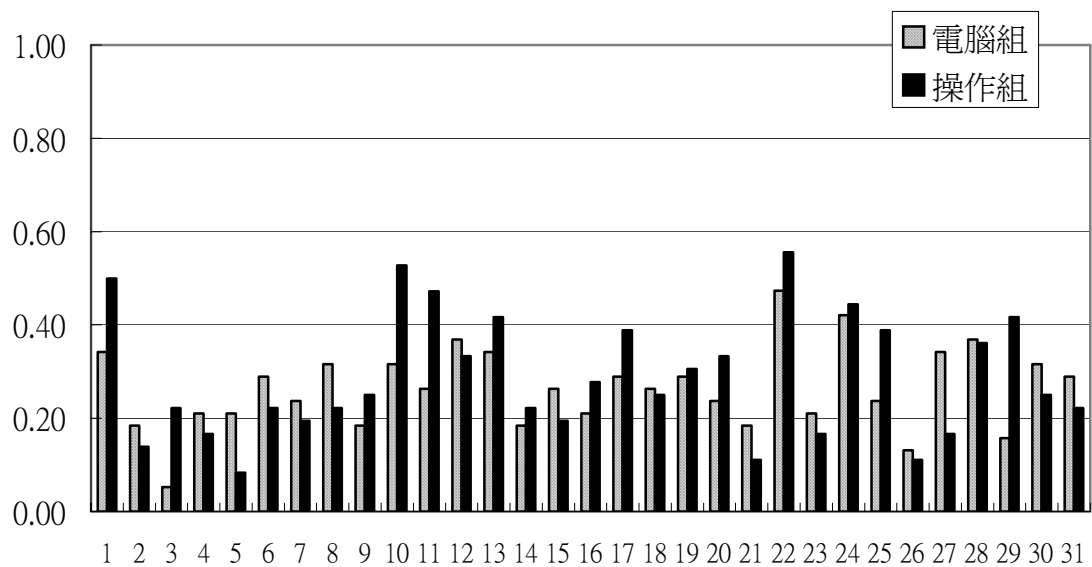


圖 4-2-2 兩組前測選擇題答對率比較

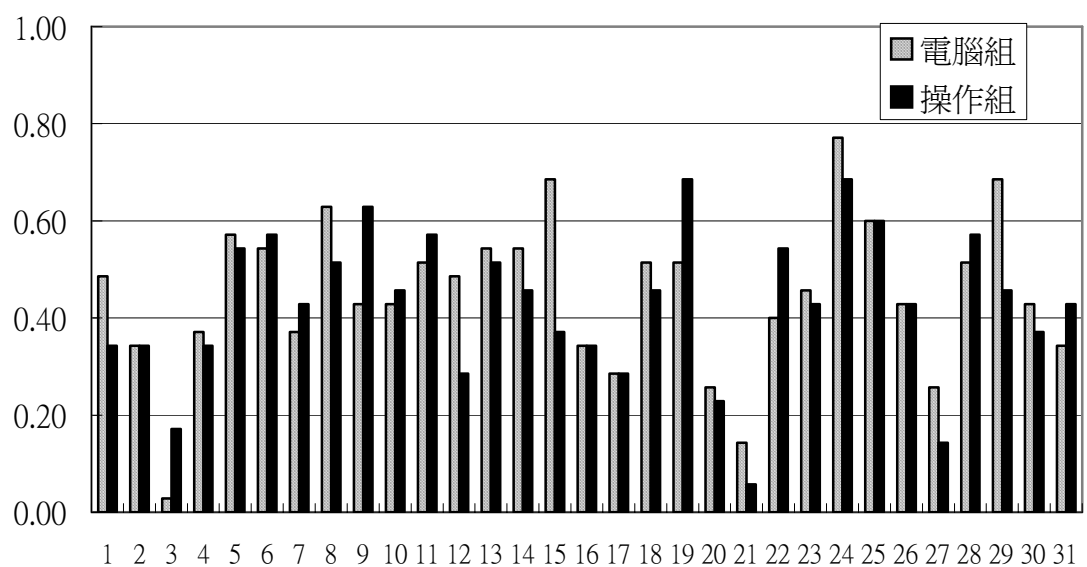


圖 4-2-3 兩組後測選擇題答對率比較

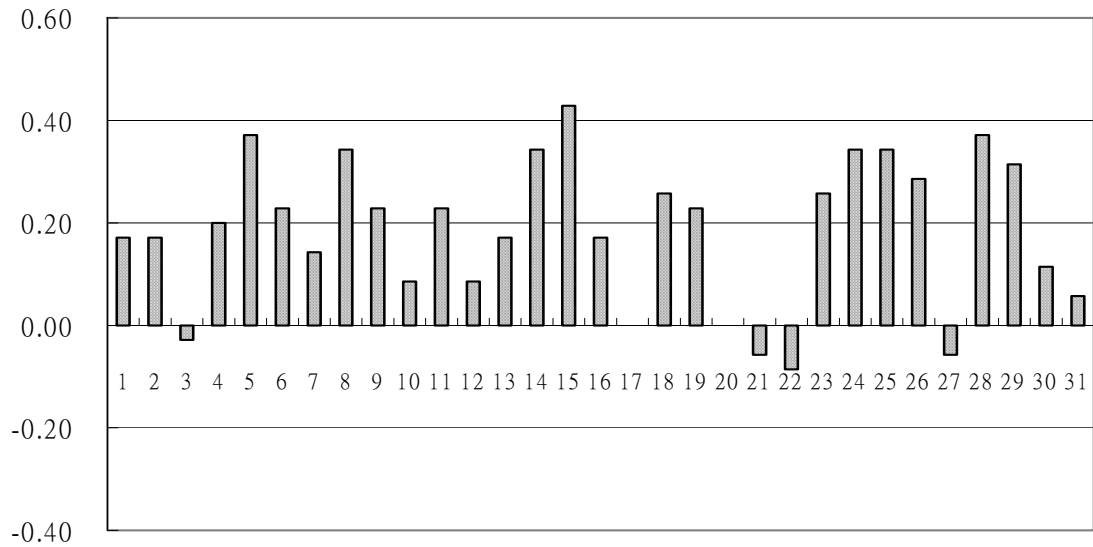


圖 4-2-4 電腦組選擇題答對率進步分數分布

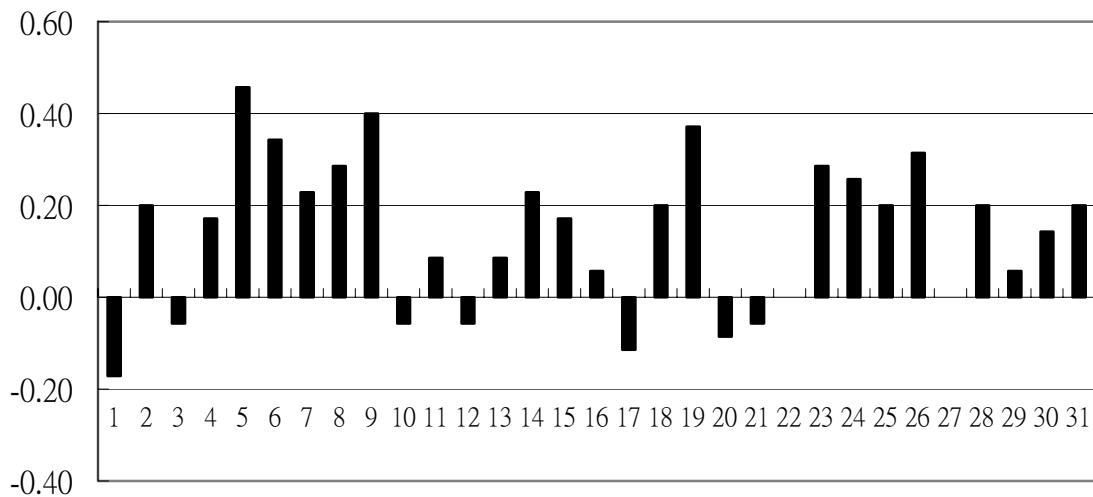


圖 4-2-5 操作組選擇題答對率進步分數分布

首先分析選擇題，圖 4-2-2 兩組前測選擇題答對率比較，圖 4-2-3 兩組後測選擇題答對率比較。

圖 4-2-4 為電腦組選擇題答對率進步情形。顯示電腦組在後測選擇題 31 題中有 25 題平均分數較前測平均分數高，即有八成四的題目經使用電腦模擬實驗後有進步。退步的題目有 4 題分別為 a3、a21、a22、27。

圖 4-2-5 為操作組選擇題答對率進步情形。顯示操作組在後測選擇題 31 題中有 22 題平均分數較前測平均分數高，即有七成的題目經使用操作實驗後有進步。退步的題目有 7 題分別為 a1、a3、a10、a12、a17、a20、a21。

將各題目以成對樣本 T 檢定比較兩組學生組內前後測每一題答對率的差異。再將題目分為 5 類：達顯著進步的題目、進步但未達顯著的題目、前後測答對率同分的題目、退步但未達顯著的題目、達顯著退步的題目。電腦組達顯著進步的題目有 11 題；操作組達顯著進步的題目有 11 題。電腦組進步但未達顯著水準的題目有 14 題；操作組進步但未達顯著水準的題目有 11 題。電腦組前後測答對率同分的題目有 2 題；操作組前後測答對率同分的題目有 2 題。電腦組退步但未達顯著水準的題目有 4 題；操作組退步但未達顯著水準的題目有 7 題。兩組皆沒有達顯著退步的題目。記錄如表 4-2-2。

表4-2-2兩組後測選擇題進步類型分類表

	電腦組					操作組				
達顯著進步的 題目	a5, a23, a29	a8, a24,	a14, a25,	a15, a26,	a18, a28,	a2, a9, a26	a5, a14,	a6, a19,	a7, a23,	a8, a24,
進步， 但未達顯著的 題目	a1, a9, a16,	a2, a10, a19,	a4, a11, a30,	a6, a12, a31	a7, a13,	a4, a18, a31	a11, a25,	a13, a28,	a15, a29,	a16, a30,
答對率相同的 題目	a17,	a20				a22,	a27			
退步，但未達顯 著的題目	a3,	a21,	a22,	a27		a1, a20,	a3, a21,	a10,	a12,	a17,
達顯著退步的 題目			無					無		

(一) 分析顯著進步的選擇題

按照概念類型分析才能與上一節相呼應，故將顯著題目分概念列表 4-2-3。以下將針對概念 1、2、4、6、7、8 的順序並參考圖 4-2-2 與 4-2-3 之數據對每一個顯著進步的題目作分析。

表4-2-3 達顯著進步的題目與概念類型的關係

電腦組		操作組	
概念類型	題號	概念類型	題號
1	a5	1	a5 、a6
2	a14 、a15	2	a14
4	a8 、a23	4	a2 、a8 、a9 、a19 、a23
6	a24 、a25 、a26	6	a24 、a26
7	a18	7	a7
8	a28 、a29		

概念 1 為「像與物的靜態相對位置」。概念 1 中的 a5 題在兩組皆達顯著進步（電腦組 $a5: t(34) = -3.186, p = .000 < .05$ ；操作組 $a5: t(34) = -4.824, p = .000 < .05$ ），a6 題在操作組也顯著進步，電腦組進步但未達顯著（電腦組 $a6: t(34) = -1.756, p = .09 > .05$ ；操作組 $a6: t(34) = -3.762, p = .001 < .05$ ）。可見兩組實驗皆對概念 1 是有明顯成效。

概念 2 為「像與物的動態相對位置」。概念 2 中的 a14 題在兩組皆為顯著進步（電腦組 $a14: t(34) = -3.174, p = .000 < .05$ ；操作組 $a14: t(34) = -2.26, p = .030 < .05$ ），顯示兩組實驗對於此概念「若物體在焦點外，當物體接近凸透鏡時成像會逐漸變大，且一直都是倒立」皆有成效。其中電腦組對於 a15 題也有顯著成效（ $t(34) = -4.547, p = .000 < .05$ ），答對率約七成，操作組進步未達顯著（ $t(34) = -1.528, p = .136 > .05$ ），答對率只有四成，而兩組後測答對率達顯著差異（ $t(68) = 2.74, p = .008 < .05$ ），顯示電腦組在此概念的學習成效較優於操作組。a15 題的概念為「物體接近凸透鏡時成像會逐漸遠離透鏡」，在電腦模擬實驗要觀察像與物的動態相對位置是容易操作與觀察。配合上課錄影分析結果發現，電腦組的學生即使不知道如何進行實驗，還是會對物體拉近拉遠，像與物體的動態關係較為熟悉，即使物體在焦點內，所成的虛像位置也可一目了然；而操作組，

若移動物體時，像的位置會改變，需要自行調整屏幕的位置，雖然屏幕調整的方向與物體移動方向相同，但是尋找成像時，會拉近拉遠慢慢尋找，不一定遵循同一個方向，故對於像與物體的動態相對位置的概念並未強化。且當成像為虛像時，像的位置較難判讀，當然對於此概念改變沒有電腦組的效果明顯。

概念 4 為「透鏡成像結果的歸納」。概念 4 中的 a8 和 a23 在兩組皆為顯著進步（電腦組 $a8:t(34) = -3.174, p = .000 < .05$ ；操作組 $a8:t(34) = -2.38, p = .023 < .05$ ；電腦組 $a23:t(34) = -2.172, p = .040 < .05$ ；操作組 $a23:t(34) = -2.953, p = .006 < .05$ ），顯示兩組實驗對於這兩個概念「凸透鏡所產生的像不可能為縮小的虛像」與「凸透鏡的物距愈大所成的實像愈小但維持倒立」皆有成效。而操作組在 a2、a9、a19 也有顯著進步（ $a2:t(34) = -2.227, p = .033 < .05$ ； $a9:t(34) = -3.636, p = .001 < .05$ ； $a19:t(34) = -0.723, p = .475 < .05$ ），顯示操作組在這三個概念「凸透鏡的成像類型」、「凹透鏡的成像類型」、「由成像類型判斷透鏡類型」皆有成效。a9 與 a19 為凹透鏡的成像類型，操作組的平均答對率較高的原因可能與實驗有關，在教室錄影中有不同發現在操作組的教室錄影中發現有些學生會拿凹透鏡鏡片觀察其他物體，所以因此操作組對於凹透鏡的成像類型較為熟悉。

概念 6 為「照相機的特性」。概念 6 中的 a24 和 a26 在兩組皆為顯著進步（電腦組 $a24:t(34) = -2.967, p = .010 < .05$ ；操作組 $a24:t(34) = -2.172, p = .037 < .05$ ；電腦組 $a26:t(34) = -2.719, p = .010 < .05$ ；操作組 $a26:t(34) = -2.946, p = .006 < .05$ ），兩組甚至在 a24 題的答對率皆約為七成，顯示兩組實驗對於這兩個概念「照相機的鏡頭為一組凸透鏡」與「景物應在鏡頭的兩倍焦距外」皆有成效。而電腦組在 a25 中有顯著進步（ $t(34) = -3.431, p = .000 < .05$ ），顯示電腦組在概念「底片的成像性質」有成效。而兩組在 a25 題的平均答對率皆達六成，故兩組學習的成果相當。

概念 7 為「由像的性質推測物體的位置」。在概念 7 中的 a18 中電腦組達顯著進步（ $t(34) = -2.315, p = .030 < .05$ ），但操作組進步未達顯著（ $t(34) = -1.645, p = .109 > .05$ ），但兩組沒有顯著差異（ $t(68) = 0.472, p = .638 > .05$ ）。操作組在

概念 7 中的 a7 達顯著進步 ($t(34) = -2.472, p = .019 < .05$)，電腦組進步但未達顯著 ($t(34) = -1.221, p = .230 > .05$)，但兩組沒有顯著差異 ($t(68) = -.481, p = .631 > .05$)。故兩組在「從凸透鏡成像性質推測物體位置」與「放映機的像距」的概念成效相當。

概念 8 為「成像為無限多條光線的交會點」。電腦組在概念 8 中的 a28 和 a29 皆為顯著進步 (a28: $t(34) = -4.018, p = .000 < .05$; a29: $t(34) = -2.946, p = .010 < .05$)。顯示電腦組在「遮蔽凸透鏡仍可成完整的像」有顯著成效。操作組在這兩題皆進步但未達顯著 (a28: $t(34) = -2.026, p = .051 < .05$; a29: $t(34) = -.529, p = .600 < .05$)，但兩組沒有顯著差異 (a28: $t(68) = -.982, p = .340 > .05$; a29: $t(68) = -.472, p = .638 > .05$)。a28 和 a29 的概念相同，故兩題的答對率應相當，但是兩組在 a29 題的答對率皆較 a28 低，尤其是操作組。從表 4-2-4 得知，a29 題的答對率較 a28 低是因為兩組選 A 的人數皆增加。實驗學習記錄單上的問題與討論之一與 a28 題題目相近，學習單是遮住凸透鏡的上半部，a28 題則是遮住下半部，大多數的同學能由實驗推理而選出正確的答案。然而 a29 是將凸透鏡的周圍遮住，有些學生改選 A 選項——「成像變小」，以為成像大小與凸透鏡的面積有關。然而電腦組有這樣的迷思概念者較操作組少，可能是因為使用電腦來模擬遮蔽時會發現不論是擋住上半部或是遮周圍，都是使光量變少並不會使成像變小，故可以推論出遮蔽周圍也是使光量變少。然而，操作組可能只知道遮蔽下半部時成像亮度會減弱（實驗中可能未觀察出，是因為教師有檢討實驗結果才知道），但是不知道為什麼，所以無法推論遮蔽周圍時的情況。

表4-2-4 兩組於a28題與a29題的答題選項分布

選 項 \ 比例 (%)	a28 題		a29 題	
	將凸透鏡的下半部遮蔽		將凸透鏡周圍部分遮蔽	
	電腦組	操作組	電腦組	操作組
(A) 成像縮小	11	9	23	31
(B) 成像位置改變	11	14	14	6
(C) 成像亮度減弱	69	57	51	46
(D) 不成像	9	20	11	17

綜合以上結果，兩組於「像與物的靜態相對位置」表現相當；在「像與物的動態相對位置」概念中，兩組雖在「若物體在焦點外，當物體接近凸透鏡時成像會逐漸變大，且一直都是倒立」皆有成效。但「物體接近凸透鏡時成像會逐漸遠離透鏡」概念電腦組表現優於操作組且達顯著差異，可能是因為電腦模擬能夠呈現像與物的大小關係且上下顛倒，對於像與物的運動方向也可以立即顯現，而操作組雖也能看見像與物的大小關係和上下顛倒，但較難觀察像與物的相對運動方向；兩組在「透鏡成像歸納」的表現相當，而操作組在實驗中能以凹透鏡鏡片觀察其他物體，所以操作組對於「凹透鏡的成像類型」較為熟悉；兩組在「照相機的特性」的答對率皆高，即成效相當；兩組在「從凸透鏡成像性質推測物體位置」與「放映機的像距」的概念成效相當；電腦組於「遮蔽凸透鏡仍可成完整的像」有顯著成效，而操作組有些同學會產生迷思概念「成像大小與凸透鏡的面積有關」。

由以上結論可發現，電腦模擬能夠幫助抽象的概念，因為電腦模擬會將抽象的概念具體化，如電腦模擬將「光線」呈現出來，讓學生了解遮蔽凸透鏡時為何成像為何會變弱，而能消除迷思概念「成像大小與凸透鏡的面積有關」。且像與物體的動態相對位置可以及時呈現，且方便觀察；而光學透鏡組能增進學生具體可觀察的概念，如操作組可以實際使用凹透鏡，能使用它觀察其他物體，會發現凹透鏡和近視眼鏡相同，所以對於凹透鏡的成像類型的概念表現較佳。

（二）分析答對率不到三成的選擇題

後測答對率不到三成的題目有 a3、a12、a17、a20、a21、a27 等六題，分別來自概念 2、3、5、6、7。

概念 2 為「像與物的動態相對位置」。此概念共有 7 題，之前討論過有些題目達顯著進步，有些進步但未達顯著。而 a17 在電腦組沒有進步 ($t(34) = -0.235$, $p = 1.000 > .05$), 在操作組退步但未達顯著 ($t(34) = 1.16$, $p = .254 < .05$), 且兩組後測答對率皆只有 0.29。顯示「若物體在焦點內，當物體接近凸透鏡時成像會逐漸遠離凸透鏡。」對兩組學生而言皆困難。學生們易以為焦點內與焦點外有相同結果，成像皆是遠離透鏡，有些組別未做焦點內的實驗直接用既有概念做錯誤的推理。兩組學生皆對於「焦點外的像與物的動態相對位置」的概念較強，如 a14、a15。

a12 題的概念為「凹透鏡之像與物的動態相對位置」。操作組在 a12 退步但未達顯著 ($t(34) = .529$, $p = .600 < .05$), 後測答對率只有 0.29, a12 在電腦組進步但未達顯著 ($t(34) = .683$, $p = .500 > .05$), 後測答對率近五成，雖然兩組後測答對率未達顯著水準 ($t(67.32) = 1.731$, $p = .088 > .05$), 電腦組對此概念的幫助較操作組佳。可能是因為電腦組在觀察凹透鏡像與物的動態相對位置和凸透鏡一樣方便、明顯。而操作組在做凹透鏡的實驗時，學生難以判斷虛像的位置，看不出是鏡前、鏡面上還是鏡後，教師實驗前告訴學生不需要記錄虛像位置和像距，因為難以讀取，所以對學生而言要分辨像的移動方向更為困難。

概念 3 為「像與物圖形的對稱關係」。a3 題的概念為「物體在凸透鏡焦點外，像與原物相比為上下顛倒、左右相反，但在對稱軸上方向不變」。電腦組在 a3 題後測退步但未達顯著 ($t(34) = .572$, $p = .570 > .05$), 答對率只有 0.03, 操作組退步但未達顯著 ($t(34) = .572$, $p = .570 > .05$), 答對率僅有 0.17, 顯示此概念「像與物三度空間圖形的對稱關係」對兩組學生而言都相當困難，因為這題目除了需要了解像與物之間的關係—X、Y 方向相反，Z 方向同向之外，還需要有空間觀念才行。電腦組可能是因為電腦模擬所呈現的像，只能看出與物上下顛

倒，無法看出左右相反的結果，故本題答對率不到 1 成，這為此電腦模擬的一項缺點。操作組的答對率也不到二成，可能是操作組在 X、Y 方向上因觀察而「知道」像與物在 X、Y 方向的關係，卻沒有理解對稱關係的成因，所以也很難對 Z 方向有正確的推理。

概念 5 為「實像與虛像的成像觀察」。其中 a20 題的概念為「尋找實像必須另用紙屏找到最亮最小的成像」，兩組後測答對率皆不到 3 成，電腦組後測答對率與前測相同，而操作組退步但未達顯著 ($t(34) = .902, p = .373 > .05$)。顯示此概念在兩組的學習皆沒有成效。原先預計操作組會有較佳的表現，因為操作組在實驗時需要移動紙屏找成像，尋找成像即找面積最小卻最亮的像，除了成像位置前後也可以看見模糊且較大的像，而電腦組實驗無法做此觀察。可能是因為此題目敘述較長且實驗步驟較多，學生不易明白題意導致答對率低，而使操作組的表現不如預期。

概念 6 為「照相機的特性」。其中，電腦組在 a27 中後測退步但未達顯著 ($t(34) = .495, p = 0.62 > .05$)，操作組後測與前測答對率相同。其中電腦組後測答對率只有 0.26，操作組只有 0.14。顯示兩組實驗在此概念「對焦的作用為調整鏡頭與底片的距離以符合像距」皆無成效。分析選項答案發現，兩組 70 名學生選 A 者高達 43 名，即 61%選 A——「對焦為改變鏡頭焦距讓成像清晰」。A 選項的誘答率高可能是原因之一，為深入了解其迷思概念成因，選定 a27 為晤談題目之一。

概念 7 為「由像的性質推測物體的位置」。其中，兩組在 a21 中後測皆退步但未達顯著（電腦組 a21： $t(34) = .627, p = .54 > .05$ ；操作組 a21： $t(34) = .813, p = .422 > .05$ ），其中電腦組後測答對率只有 0.14，操作組只有 0.06。顯示兩組實驗在此概念「放大鏡所看見的字在書本之後」皆無成效。欲深入了解這此題為何對學生而言較困難，選定 a21 為晤談題目之一。電腦組在 a10 中前測答對率為 0.29，後測進步至 0.51，而操作組前測為 0.51，後測反而退步至 0.46，顯示操作組實驗對於此概念「從凸透鏡觀察到放大正立的像，表示物體放在凸透鏡焦點內」

幫助不大，操作組學生可能從生活經驗即獲得此推論，電腦組雖然進步但後測答對率和操作組差異不大 ($t(68) = -.968, p = .34 > .05$)。

綜合以上結果，對兩組學生而言「物體在焦點外像與物的動態相對位置」的概念表現較「物體在焦點內像與物的動態相對位置」佳，顯示兩組實驗皆對「物體在焦點內像與物的動態相對位置」的幫助有限；電腦組於「凹透鏡之像與物的動態位置」的概念表現較操作組佳，因為電腦模擬在觀察凹透鏡像與物的動態相對位置與使用凸透鏡一樣方便且明顯；「物體在凸透鏡焦點外，像與原物相比為上下顛倒、左右相反，但在對稱軸上方向不變」概念對兩組而言皆相當困難，可能是因為除了要知道像與物的空間關係還要有空間觀念，且電腦組的表現較操作組差並達顯著差異，是因為電腦組的模擬軟體未能模擬出物與像在 Y 軸與 Z 軸的關係，而操作組未能利用 X、Y 方向的對稱關係推理至 Z 方向；a20 題的概念為「尋找實像必須另用紙屏找到最亮最小的成像」，此題目敘述較長且步驟多可能讓學生不明白題意導致答對率低，操作組的表現不如預期；「對焦作用即為調整鏡頭與底片的距離以符合像距使成像清晰」概念之答對率低，與 A 選項的誘答率高達 6 成有關，將在晤談中深入討論；兩組實驗在「放大鏡所看見的字在書本之後」概念皆無成效，選擇此概念作為晤談題目之一。

由以上的結果發現，本研究所使用的電腦模擬除了在凸透鏡像與物的動態相對位置的模擬上，表徵呈現立即、正確並能清楚的表現出來，在凹透鏡也有相同效果，能幫助學生在抽象概念具體化，並將靜態的表徵動態化。而操作組所使用的光源，即手電筒上有「L」字樣，能看見像與物體在上下顛倒、左右相反的關係，而 Z 軸方向需要學生推理應用。而電腦模擬只能表現上下關係。但是操作組是因為做實驗時觀察到像的性質而「知道」像與物在 X、Y 方向的關係，卻沒有「理解」造成此現象的原因，也很難對 Z 方向有正確的推理。

(三) 填充題、配合題分析

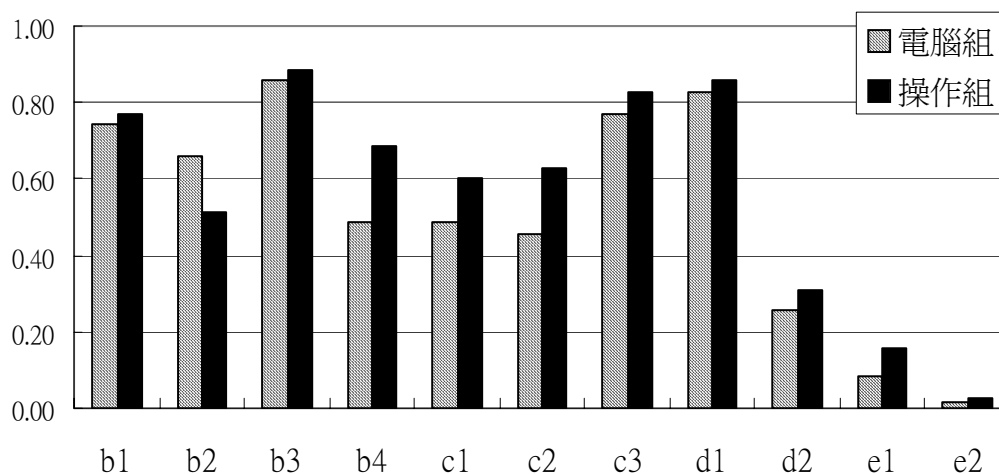


圖 4-2-6 兩組非選擇題答對率比較

圖 4-2-5 為兩組非選擇題答對率比較。整體而言，填充題和配合題的答對率約有八成以上。填充題與配合題皆來自於概念 6，即「照相機的特性」。顯示兩組學生對於「照相機的特性」概念較為熟悉。b1~b4 題為填充題，b1 為光圈的功能，b2 為快門的功能，b3 為調焦的功能，b4 為變焦的功能。兩組學生在 b1 的答對率皆有八成以上、b3 的答對率皆有九成以上，且兩組表現差異不大，顯示兩組學生在光圈及調焦的功能皆有成效。在 b2 題中，電腦組答對率為 0.66，操作組為 0.51，電腦組的答對率較高於操作組但未達顯著水準 ($t(68) = 1.209, p = .231 > .05$)。可能是因為電腦組操作的蘇鄭照相機強調的就是快門的功能(如第三章之圖 3-3-2 所示)，所以電腦組對於此功能更為熟悉。在 b4 題中，電腦組答對率為 0.49，操作組為 0.69，操作組的答對率較高於電腦組但未達顯著水準 ($t(68) = -1.710, p = .092 > .05$)。可能是電腦組的變焦模擬是光的成像圖非照相機本身，而操作組有操作照相機的變焦功能，即「Zoom in」與「Zoom out」，實際觀察成像結果，所以操作組對此概念較熟悉。

配合題即 c1~c3 題為「眼睛構造」題組，要學生將照相機的功能應用在眼睛構造上。兩組在 c3 題的答對率皆約八成，可見兩組學生皆有此概念「視網膜與底片功能相同」。整體而言，操作組配合題的答對率皆較高於電腦組但未達顯著

水準 ($c1: t(68) = -.952, p = .344 > .05$; $c2: t(68) = -1.440, p = .154 > .05$; $c3: t(68) = -.590, p = .557 > .05$)。可能是因為操作組實際操作過照相機，對於照相機的功能較為熟悉，故針對配合題所提示的眼睛構造的功能有較佳的連結。

(四) 問答題分析

d1、d2 為問答題之圖片題，概念為「判斷實像或虛像的方法」。問答題中的 d1 題，兩組答對率相同，皆有八成六的答對率，顯示兩組學生皆會判別實像與虛像。而 d2 題為半開放性題目，答案不只一項，依照學生的答案有不同的給分，給分方式如第三章表 3-4-3。e1、e2 為問答題之影片題，概念為「光在凸透鏡中的反射現象」。大多數同學未回答或答案無意義，電腦組中只有 14% 學生的答案有意義，操作組只有 17%，兩題的答對率皆不到 0.04。這 4 題在兩組表現皆未達顯著差異 ($d1 題: t(68) = .000, p = 1.000 > .05$; $d2 題: t(68) = -.737, p = .464 > .05$; $e1 題: t(68) = -1.039, p = .303 > .05$; $e2 題: t(68) = -.447, p = .656 > .05$)。顯示此應用之題型對兩組學生而言皆很困難。本研究依據答案編碼來計分 (如第三章表 3-4-3)，並整理概念類型者相同重新編碼，如回答 d-2-1 和 d-1-1 的學生具有相同的概念「實際光線所成像的像為實像」，而 d-2-1 表示敘述較完整得可 2 分，d-2-1 表示敘述不完整得 1 分，今將這兩個碼合併為碼 1。重新整理編 12 個碼，如表 4-2-6。

表4-2-6 兩組問答題答題內容分布情形

編碼	來源	定義	電腦組 (%)	操作組 (%)
1	合併 d-2-1 與 d-1-1	實際光線所成像的像為實像	46	23
2	合併 d-2-2 與 d-1-2	實像才能在紙屏上成像	17	11
3	原為 d-2-3	物體位置焦點外皆為實像	17	17
4	d-2-4	倒立縮小的像為實像	31	40
5	d-2-5	實像與物異側	9	29
6	d-1-3	有 d-2-4 觀念但折射與反射分不清楚	3	0
7	d-0-2-2	回答實像但理由錯誤： 虛像不可能在鏡後看到	0	3
8	d-0-2-3	回答實像但理由錯誤： 只有實像肉眼才看得到	9	14
9	d-0-2-4	回答實像但理由錯誤： 凸透鏡所成的必是實像	9	6
10	d-0-2-5	回答實像但理由錯誤： 成像原則	9	20
11	d-0-1-3	回答虛像，理由卻是實像的性質 (d-2-4)	6	9
12	合併 e-2-1、e-1-1 與 e-1-2	光在凸透鏡反射所成的像	14	17

電腦組有 46% 的學生皆有「由實際光線所成的像為實像」的概念，因為可在光學桌上看見「光線」，實像時可看見實線，虛像時可看見虛線，故可強化此概念。而操作組有 23% 的學生有此概念，比例較電腦組少。

操作組有 40% 的學生皆有「倒立縮小的像為實像」的概念，因為在做實驗時

清楚看見 L 的像上下顛倒左右相反，實像較虛像容易觀察，所以對於倒立縮小的像即為實像印象深刻。而電腦組只有 31% 的學生有此概念，因為電腦模擬不論是實像和虛像皆容易觀察，故對於實像與虛像的印象相當反而易搞混，故比例較操作組少。

操作組有 29% 的學生有「實像與物異側」的概念，因為在做實驗時會若在與物異側的紙屏上看見成像皆為實像，若是虛像在與物異側的紙屏上找不到成像，虛像需從鏡前朝鏡內觀察，故較能強化此概念。而電腦組只有 9% 的學生有此概念，比例較操作組少，因為電腦模擬不論是實像或虛像皆能立即顯現在面板上。

操作組中有 14% 的學生有迷思概念「眼睛只能看見實像不能看見虛像」，電腦組中只有 9% 的學生有此概念，是因為操作組做實驗時實像可以順利找出，虛像無法在紙屏上看見。有些組別在紙屏上找不到像時，不知道可以直接從凸透鏡前朝鏡內看即是虛像，仍努力使用紙屏找成像或是直接寫「不成像」，所以可能產生「只有實像肉眼才看得見」的迷思概念。而電腦組不論是實像或虛像皆容易在光學桌上觀察，較不易產生這類的迷思概念。

操作組中有 20% 的學生將凸透鏡成像原則誤以為是成實像的原則，如認為光若通過鏡心必有實像產生。此迷思概念形成的原因可能與上述的原因相同，因為操作組對於實像的觀察熟悉度大於虛像觀察，故可能認為凸透鏡成像原則等同於實像的成像原則。電腦組中只有 9% 的學生有此迷思概念。

綜合以上結果，電腦組因為可看見「光線」所以對於「由實際光線所成的像為實像」的概念較優於操作組；操作組因為實像的觀察較虛像觀察容易，故對於實像的性質如「倒立縮小的像為實像」與「實像與物異側」等概念較優於電腦組，但也可能產生迷思概念，如「眼睛只能看見實像不能看見虛像」與「凸透鏡成像原則等同於實像的成像原則」。

三、晤談結果

(一) 晤談第一題—a1 題

如圖，雷射光自左而右呈現英文字母 pd，放在凸透鏡前兩倍焦距外，則眼睛觀察到紙屏所成的像為

- (A) pd
- (B) bq (正確答案)
- (C) bp
- (D) qb

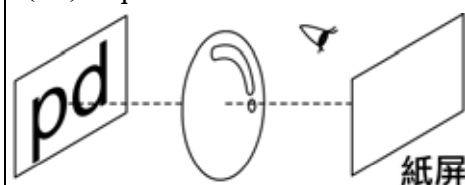


表 4-2-7 為兩組在 a1 題前測與後測的成績分布，不論是前測或後測，答對率皆小於.52，且兩組後測沒有顯著差異 ($t(68) = 1.209$, $p = .231 > .05$)。電腦組後測與前測比較略為進步，但未達顯著 ($t(34) = -1.528$, $p = .135 > .05$)；操作組後測反而退步，但未達顯著 ($t(34) = 1.785$, $p = .083 > .05$)。a1 題的概念為「物體在凸透鏡焦點外，像與原物相比為上下顛倒、左右相反」。在操作組的實驗過程中可以透過物體 L 的形狀觀察到的成像為上下顛倒左右相反，為何在後測時卻沒有實際成效？為了找出結果不如預期的原因，挑選 a1 題為晤談的問題之一，以了解兩組學生對「像與物圖形的對稱關係」的概念理解與作答的依據。

表4-2-7 兩組在a1題前測與後測的成績分布

	前測		後測	
	答對率	標準差	答對率	標準差
電腦組	.31	.47	.49	.57
操作組	.51	.51	.34	.48

晤談結果編碼記錄如表 4-2-8，電腦組 9 位焦點同學中有 7 位同學（約 77.8%）認為成像上下顛倒但左右沒有相反，雖然觀念錯誤但仍選 B，因為若只有上下顛倒的概念來解這題，結果恰與正解相同，這是題目上的瑕疵。電腦組晤談的表現證實前一節的推論，電腦組的學生大多數沒有左右相反的觀念應為電腦模擬軟體導致。

操作組 9 位焦點同學中有 6 位同學（約 66.7%）認為成像上下顛倒且左右相反，觀念正確，但是無法從圖形判別實際成像結果可能是因為沒有空間概念。題目上的圖形看起來是平面的，但本題卻是要測驗學生是否有上下左右的空間概念。即使操作組以有上下顛倒左右相反的概念，但應缺乏空間概念而答錯。如果要檢測學生是否有正確的對稱概念，應可將題目中的「pd」字樣改成「L」，才不會讓觀念錯誤的同學也能選出正確的答案，此外，應該將眼睛位置從紙屏前方改成後方，就不會考驗到學生的空間觀念。

表4-2-8 晤談a1編碼答案人數分布

a1 題編碼	定 義	電腦組（人數）	操作組（人數）
a1-1	上下顛倒，且左右相反	2	6
a1-2	上下顛倒，但左右沒有相反	7	2
a1-3	上下沒有顛倒，但左右相反	0	1

（二）晤談第二題—a21

外公使用**放大鏡**看書上的字，所看到的字正立且較書上的字大。你認為外公所看到的這個字（即成像位置）應於

- （A）放大鏡鏡面上
- （B）放大鏡與眼睛之間
- （C）書本之後（正確答案）
- （D）皆有可能

表4-2-9 兩組在a21題前測與後測的成績分布

	前測		後測	
	答對率	標準差	答對率	標準差
電腦組	.20	.41	.14	.36
操作組	.11	.32	.06	.24

a21 題目如上，表 4-2-9 為兩組在 a21 題前測與後測的成績分布。不論是前測或後測，答對率皆小於.21，且兩組後測沒有顯著差異兩組後測差異 ($t(59.067) = 1.190$, $p = .239 > .05$) 沒有顯著差異。電腦組與操作組後測皆退步，但未達顯著退步 (電腦組 $t(34) = .627$, $p = .535 > .05$; 操作組 $t(34) = .813$, $p = .422 > .05$)。此結果顯示，不論是電腦組或操作組，在學習過後對於此概念沒有幫助，為了解此概念困難的原因故做以下晤談分析。

晤談結果編碼記錄如表 4-2-10。電腦組 9 位焦點同學中有 2 位同學 (皆為高分組) 能正確畫出像與物體的正確相對位置，而選出正確的答案，即使使用放大鏡來觀察成像，仍對於選出的答案有信心。下圖為 C25 所畫的成像圖，以下節錄 C25 的晤談內容：

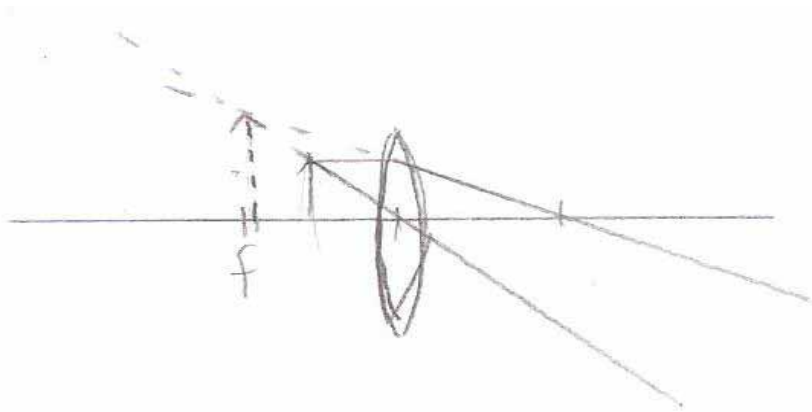


圖 4-2-7 C25 畫 a21 題的成像圖

C25：因為放大鏡就是凸透鏡，凸透鏡如果是在焦點外的話看到的都是倒立，現在看到的是正立，所以物體在焦距內。物體在焦距內的話，所成的像是正立放大，正立放大的話，所成的像在放大鏡和眼睛之間。

(回答成像位置時，手同時指著自己畫的成像圖 4-2-6，指在透鏡左方)

T：請你指出圖中眼睛的位置。

C25：這邊...指出眼睛位置。(如圖 4-2-6，此時手指著透鏡右方)

確定眼鏡位置後開始懷疑剛才的答案，最後將答案改成 C。

C25：因為眼睛從這邊看過去，像在書本後面(很肯定自己的答案)

使用教師提供的放大鏡後

C25：看起來像在鏡面上。

T：是否改答案?

C25：不改答案，因為我選擇理論的結果。

其他 7 位同學 4 位沒有畫圖，3 位圖畫錯，最後的答案 2 位選 A、4 位選 B、1 位選 C，對於自己的答案皆沒有把握，所以說不出選擇答案的理由。其中有 4 位原來選「鏡面上」的同學被老師問到「在做光學桌實驗中，是否曾看見成像在鏡面上呢？」這 4 位同學皆回答：「沒有」，其中有 2 位同學因此將答案分別改為 B 和 C 但說不出原因。

操作組 9 位焦點同學中有 3 位同學(2 位高分組、1 位中分組)能正確畫出像與物體的正確相對位置，而選出正確的答案，但其中 1 位高分組的學生即 E01 使用放大鏡來觀察成像後，將答案改為 A。下圖為 E01 所畫的成像圖，以下節錄 E01 的晤談內容：

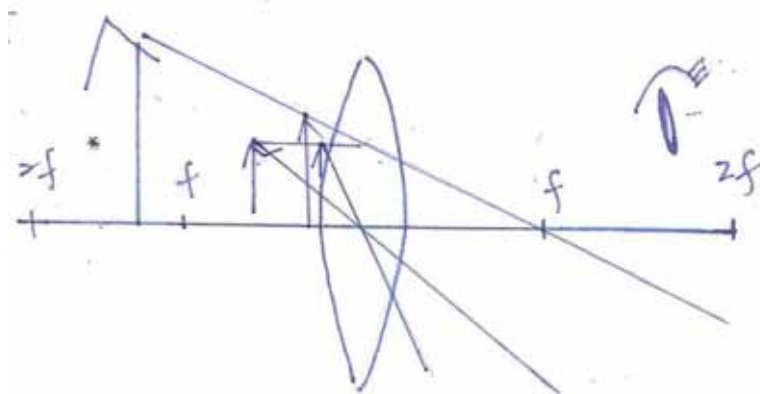


圖 4-2-8 E01 畫 a21 題的成像圖

E01：我選B，因為我會先把圖畫出來，就會判斷出你眼睛從哪裡。

T：那你眼睛從哪裡看？

E01：眼睛在哪裡？....等一下

E01：成像應該在書本後。剛才錯的原因，是因為我一直以為是實像的話像在放大鏡和眼睛之間才看得到。

使用教師提供的放大鏡後

E01：書本之後是指這張紙後面嗎？

T：是的。

E01：那有可能在鏡面上。

T：使用完放大鏡會影響你的答案嗎？

E01：我在考慮是否在鏡面上。因為如果在書本之後不太可能

我畫出來的是C（在書本之後），看到的卻是A（鏡面上）。可是如果是在書本後面紙就會擋住阿。那應該是A吧，因為做的時候就算是虛像的話，對我們而言都是在鏡面上。畫圖感覺好像貼在鏡面上，成像也在鏡面上

使用過放大鏡之後，操作組9位焦點同學中有5位同學將答案改為「鏡面上」，因為她們認為看到的像就在鏡面上，認為與當初做實驗時的結果符合。可見在實驗過程中學生尋找虛像時，教師沒有針對虛像位置多做解釋，學生不會分辨虛像的位置是在鏡前、鏡面上還是在鏡後。

綜合以上結果可得知要正確回答此題目需要符合四個條件：

1. 能歸納凸透鏡的成像性質。
2. 能畫出物體、透鏡與像三者的相對位置。
3. 能描繪出此題目中眼睛、放大鏡、書本上的字與看見的字四者的相對位置。
4. 概念與生活經驗相連結不產生矛盾。

而如「凹透鏡的虛像觀察」概念和問答題分析，皆顯示操作組不易作虛像觀察。此外，電腦組三個高分組的學生其中兩位在使用教師提供的放大鏡之後，認為看見的像在鏡面上與理論不符，但是最後選擇答案以理論為主，而操作組一位高分組的學生也有相同矛盾，最後選擇眼睛所看見的，而操作組另一位高分組學生則是認為眼睛所見的可能是實驗誤差，設法將看見的合理化。

表4-2-10 晤談a21編碼答案人數分布

a 21 編碼	定 義	電腦組 (人數)	操作組 (人數)
a21-C1	像與物有正確的相對位置觀念	1	2
a21-C2	眼見不為憑，以理論為主	2	0
a21-E2	眼見與理論不符，相信看見的	0	1
a21-C3	眼睛看到的和成像位置不一定相同，可能是實驗造成的誤差，題目問成像位置，應以畫圖的結果為主	0	1
p	能畫出正確的成像圖	2	3
W1-A	使用放大鏡後認為像在鏡面上	3	5

(三) 晤談第三題—a27

照相機「對焦」的作用為

- (A) 改變鏡頭的焦距讓成像清晰
 (B) 調整光圈大小使光量適量
 (C) 調整鏡頭與底片的距離以符合像距 (正確答案)
 (D) 調整平面鏡角度使光線恰好至眼睛

表 4-2-11 為兩組在 a27 題前測與後測的成績分布，不論是前測或後測，答對率皆小於.32，且兩組後測沒有顯著差異 ($t(64.895) = 1.190$, $p = .238 > .05$)。電腦組後測退步，但未達顯著；操作組前後測同分。此結果顯示，不論是電腦組或操作組，在學習過後對於此概念沒有幫助，為了解此概念困難的原因故做以下晤談分析。

表4-2-11 兩組在a27題前測與後測的成績分布

	前測		後測	
	答對率	標準差	答對率	標準差
電腦組	.31	.47	.26	.44
操作組	.14	.36	.14	.36

晤談結果編碼記錄如表 4-2-12。本題目的答案為 C，答案 A 的敘述中「改變鏡頭的焦距」是變焦的原理，「使成像清晰」是對焦的目的，故 A 選項的誘答率高，電腦組中有此有 54.3 % 選 A，操作組則有 68.6%。在晤談中，電腦組 9 位焦點同學中有 6 位（約 66.7%）有「對焦是為了使成像清晰」的概念，操作組 9 位焦點同學中有 5 位（約 55.6%）有此概念。且在使用照相機上，電腦組有 7 位同學，操作組有 6 位同學透過使用照相機正確找出對焦的那一圈，因為他們皆是利用使成像清晰的方法去尋找。但對於正確的對焦原理電腦組只有 2 位同學（皆為高分組）提到，操作組無人提到，甚至有 1 位同學（低分組）說錯原理——「E02：對焦就是改變焦距」。可見學生了解「對焦的目的」的程度更甚於「對焦的原理」，並混淆「對焦」與「變焦」兩概念。顯示兩組在對焦的原理上皆沒有顯著成效。

表4-2-12 晤談a27編碼答案人數分布

a 27 編碼	定 義	電腦組（人數）	操作組（人數）
a27-1	改變焦距可改變成像清晰度 （目的正確，原理錯誤）	3	3
a27-2	對焦可讓成像清晰 （目的正確）	3	2
a27-3	變焦為改變鏡頭焦距 （原理正確）	1	0
a27-4	對焦是改變底片位置 （原理正確）	1	2
a27-5	對焦就是改變焦距 （原理錯誤）	0	1
c1-1	第一圈可使成像清晰	7	6

（四）晤談第四題—透鏡成像困難處

透鏡成像這個單元整體而言，如表 4-2-13 所示，電腦組 9 位焦點同學中有 5 位同學覺得困難，其中低分組的 3 位同學皆認為困難。請同學說明困難處時，9 位當中有 2 位認為是畫圖部分、有 1 位認為是實驗部分、有 2 位是照相機部分、有 4 位是題目部分；操作組 9 位焦點同學中有 1 位同學（低分組）覺得困難。請

同學說明困難處時，有 2 位認為是實驗部分、有 3 位是照相機部分、有 2 位是題目部分，其中有 1 位同學（高分組）的同學的疑惑在於實驗結果與成像結果不符合。

E01：就是感覺說，做出來的實驗有時候跟畫出來的圖不一樣，不知道哪一個是真的。

他指的是如 a21 題，他知道畫出的像應該在書本之後，可是看起來的像應該在鏡面上。該組的成員為 2 個高分組，1 個中分組，在教室錄影中發現該組皆熟悉「凸透鏡的成像歸納」，如果實驗中量測出來的像長與理論不符合，會調整實驗數據來符合理論。舉例來說，若物長為 2 公分，像長測量結果約為 1.9 公分，則成像與原物比為縮小，但是理論上應該與物體大小相等，故修改像長為 2 公分，使成像性質符合理論。

困難的部分兩組差異不大，與問卷的結果相符，問卷中非常簡單為 5 分、簡單為 4 分、普通為 3 分、困難為 2 分、非常困難為 1 分，難度平均愈低表示難度愈高。

透鏡成像單元難度部分兩組皆有五成學生認為容易，電腦組有近三成學生認為困難，難度平均值為 2.91。操作組有一成七的學生認為困難，難度平均值為 3.31；實驗難度部分，顯示電腦組有近五成學生認為困難或非常困難，難度平均值為 2.51，操作組有三成四的學生認為困難或非常困難，難度平均值為 2.74，此結果可能為學生對於電腦模擬的操作較困難，因為需要先熟悉電腦介面才會操作實驗。概念測驗內容難度部分，顯示電腦組有近八成學生認為困難，難度平均值為 1.26，操作組有七成五的學生認為困難，難度平均值為 1.63。實驗與考試的困難會影響到學生對透鏡成像單元的難度，電腦組有較多的學生認為實驗和考卷是困難的，所以反應在對整體透鏡成像的難度。

表4-2-13 晤談第四題編碼答案人數分布

第四題編碼	定 義	電腦組（人數）	操作組（人數）
di01	透鏡成像單元很困難	5	1
di021	畫圖部分很困難	2	0
di022	畫圖部分不難	1	0
di031	實驗困難	1	2
di032	實驗不難	3	2
di041	照相機困難	2	3
di051	題目困難	4	2
di051-a1	題目困難如 a1	0	1
di051-a21	題目困難如 a21	1	0
di051-a27	題目困難如 a27	1	0
di06	實驗結果與成像結果不符合	0	1

表4-2-14 電腦組與操作組之難度平均分布

難度平均	電腦組	操作組
單元平均	2.91	3.31
實驗平均	2.51	2.74
考卷平均	1.26	1.63

第三節 高中低成就學生在兩組的學習成效表現

一、高中低成就學生在兩組之整體成績表現

依八年級上學期理化第一次段考理化分數將兩班學生各分成高、中、低成就三組，表 4-3-1 為高中低成就學生在兩組前後測表現與前後測差異顯著性。兩表可知，高分組在電腦組與操作組的進步分數分別達 12.40 分與 7.70 分，兩組前後測比較皆達顯著進步（電腦組 $t(9)=-10.147, p=.000<.01$ ；操作組 $t(9)=-3.334, p=.009<.01$ ）；中分組在電腦組與操作組的進步分數分別達 4.33 分與 4.13 分，

兩組前後測比較皆達顯著進步（電腦組 $t(14) = -4.320, p = .001 < .01$ ；操作組 $t(9) = -4.493, p = .001 < .01$ ）；低分組的同學進步程度有限，在電腦組與操作組的進步分數分別只有 1.10 分與 1.30 分，且前後測分數未達顯著差異（電腦組 $t(9) = -.785, p = .453 > .05$ ；操作組 $t(9) = -.899, p = .392 > .05$ ）；因此，對於中分組與高分組而言電腦組與操作組的學習皆有明顯成效。就低分組而言，無論是電腦組或操作組皆沒有顯著成效。

圖 4-3-1 為高中低成就學生在兩組之進步分數，從圖中可見中分組與低分組在電腦組與操作組的進步分數相近，即表示對中分組與低分組而言在電腦組與操作組的學習成效相當；高分組在電腦組的進步分數較操作組高，但未達顯著水準（ $t(18) = 1.799, p = .089 > .05$ ）。對於這樣的結果，研究者將針對兩組之高分組做比較，從實驗的教室錄影中分別了解兩組實驗對高分組的幫助。

表4-3-1 高中低成就學生在兩組前後測選擇題表現與顯著性

組別	人數	前測		後測		顯著性	
		電腦組	操作組	電腦組	操作組	電腦組	操作組
高	10	8.00	9.90	20.40	17.60	.000**	.009**
中	15	8.27	9.27	12.60	13.40	.001**	.001**
低	10	8.30	7.40	9.40	8.70	.453	.392

(* $p < .05$, ** $p < .01$)

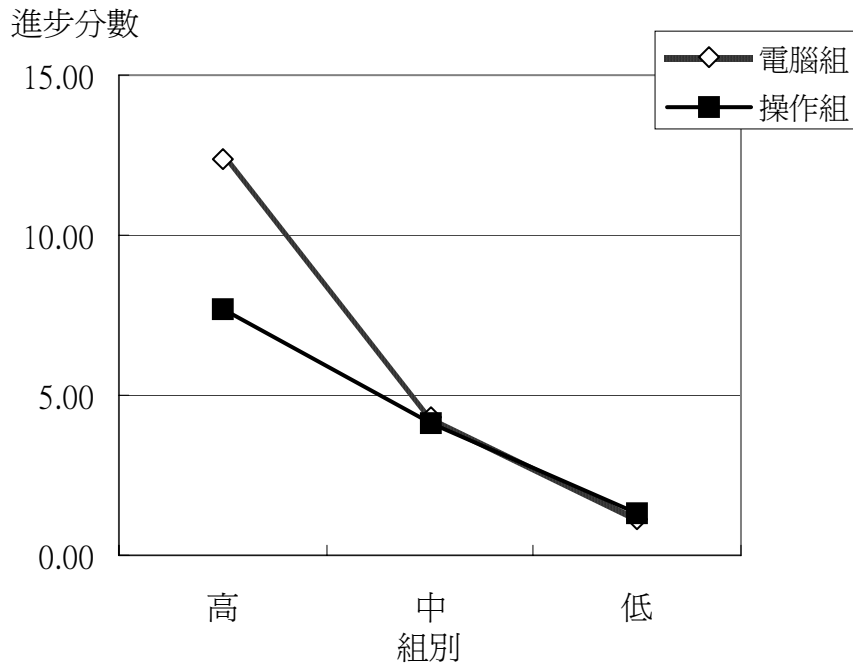


圖 4-3-1 高中低成就學生在兩組之進步分數圖

圖 4-3-2 高中低成就學生在兩組之非選擇題分數圖。從圖得知不論高中低成就皆是以操作組的分數較電腦組高，但未達顯著水準（高分組： $t(18) = -.237, p = .816 > .05$ ；中分組： $t(28) = -.739, p = .466 > .05$ ；低分組： $t(18) = -.894, p = .383 > .05$ ）。前一節提到整體而言操作組在非選擇題表現較電腦組佳，在此又發現高中低任何一組都有此現象，可見非選擇題以操作組的表現較佳，非選擇題主要的概念與「照相機功能」有關，可能是因操作組在實驗有實際操作照相機，不論是高中低的學生對於其功能皆較電腦組熟悉。圖 4-3-3 為高中低成就學生在兩組之總分分數圖，可見高中低三組在兩組的總分表現相近，沒有顯著差異（高分組： $t(18) = .443, p = .089 > .05$ ；中分組： $t(28) = -.958, p = .346 > .05$ ；低分組： $t(18) = -.081, p = .936 > .05$ ）。顯示高中低三組的整體學習成效相當。

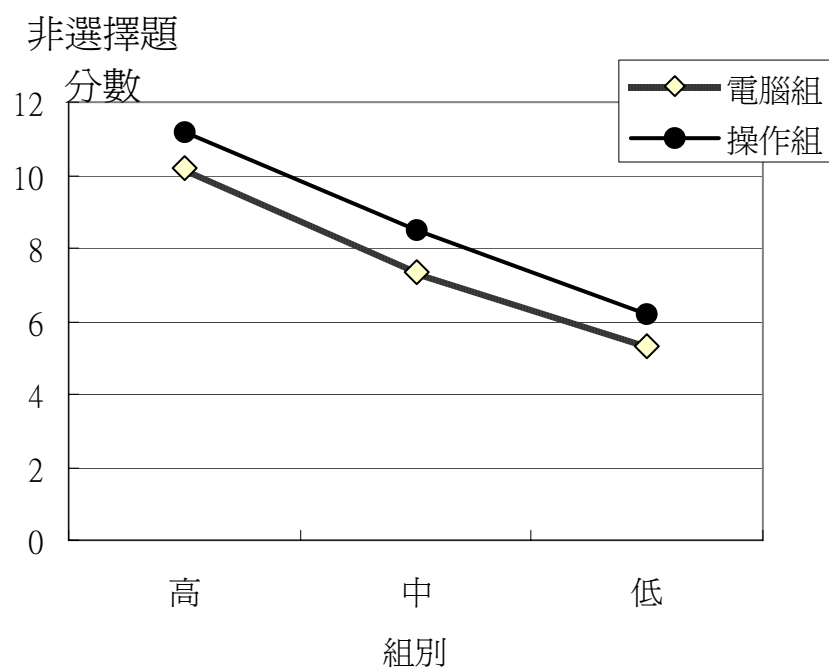


圖 4-3-2 高中低成就學生在兩組之非選擇題分數圖

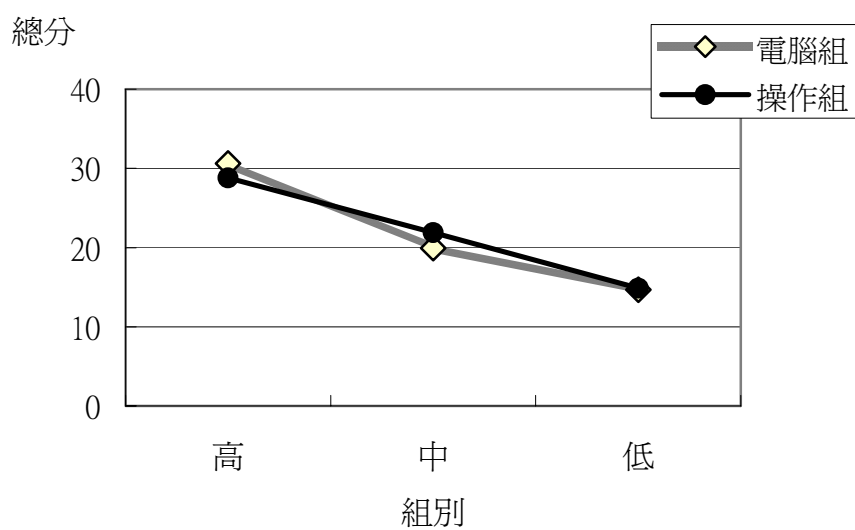


圖 4-3-3 高中低成就學生在兩組之總分分數圖

二、以教室錄影來觀察兩組之焦點組的實驗過程

本小節主要是藉由教室錄影來觀察電腦組六個焦點組與操作組三個焦點組的實驗過程，分別觀察其成員高中低成就的學生的操作方法正確性、小組互動討論的內容，簡單描述如下。欲了解學習成效是否與實驗操作與小組互動有關，先

比較每一小組的差異，最後再比較兩組高分組的差異。電腦組的分析順序為 1 組高高、2 組高中、2 組中低、2 組低低；電操作組的分析順序為 1 組高高中、1 組中中中、1 組高低低。

(一) 電腦組焦點組

1. 電腦組第十一組

成員：C25 高成就男（焦點學生）、C36 高成就男（非焦點學生）

C36 負責操作面板，C25 告訴他物體位置，兩人會互相討論且效率高，開始操作後 2 分鐘就完成第一個實驗。當物體在焦點上找不到成像，一開始覺得很驚訝，但是知道與理論相符馬上記錄「不成像」。18 分鐘後就完成凸透鏡的所有實驗，是全班最快完成實驗的小組，接著兩人一起討論問題與討論。凹透鏡也順利完成。使用凸透鏡的世界發現可以改成焦點，但觀察望遠鏡、顯微鏡與眼鏡的動畫時都沒有討論。以下節錄兩人實驗過程中的一段互動討論。

C25：把下半部遮掉有差嘛？只要有兩條光就可以成像啦？

C36：擋住就是下半部不要看，是擋住紙屏。

C25：是擋住前面。

C36：那就沒差囉。

C25：5 如果我們只有遮住上面這一條，還是可以成像。

C36：可是遮下半部會遮到鏡心的那一條，就會不成像。

C25：就寫沒差好了。

C36：快點，用狹縫。

C25：上面沒有被遮到。

C36：它沒有辦法只遮上半部。

C25：所以沒差阿，那你覺得顏色會如何？

C36：會有一條光線不見。

T：如果是遮上半部會有多少光線不見？

C25：會有兩條不見。

T：所以成像完全不變？

C25：像沒怎樣。

C36：會不見。

C25：你確定？

C36：我不要為我的答案負責。

C25：遮下半部會遮掉一條不會影響上半部。

T：像是完整的，有一部分光被擋住會怎樣？

C36：會變暗。

本組最後學習單的完成率和正確率皆是 100%。C25 與 C36 的後測進步分數分別為 20 分與 14 分，C25 的總分更高達 43 分（兩組最高分為 44 分），故這兩位學生的學習成效皆顯著。從實驗過程中發現兩位高分組的學生主動積極作實驗且熟悉電腦面板，操作實驗時得心應手。遇到問題會討論，他們的對話內容是有意義的，會涉及概念的交換，最後以兩人皆同意且最合理的解釋為答案。且電腦模擬可變化性高，他們可以自行調整參數為尋找問題與討論的答案，甚至能夠發現遮蔽的方法。所以若操作電腦模擬時能夠上手，電腦模擬能調整的變因較操作組多。此外本組組員還能將實驗結果與理論相比較，這可能也是學習成效顯著的因素之一。

2. 電腦組第五組

成員：C04 高成就女、C03 中成就女

C04 實驗一開始就表示對電腦感到害怕，但是很認真操作，起初要調整物體到設定的大小與位置有些困難，經過一段時間之後才上手。老師提醒全班如何判讀座標軸時，C03 和 C04 都認真回應老師且回答正確。原本物距和物體位置搞錯，所以物體位置愈來愈遠，成像愈來愈小。C04 發現成像性質與理論不符而覺得不對勁，思考後才發現錯誤且當機立斷馬上重做。之後所有實驗結果完全正確。為了產生障礙物就再加一個物體試圖擋住第一個物體，但是所謂增加一個物體實際上是增加一個光源，所以沒有辦法產生遮蔽效果，所以對於結果也是亂猜的，一開始認為不改變，後來認為是變小，經老師提醒後使用狹縫，因為看到虛線，所以最後學習單上面寫「變成虛像」。問題與討論通常是由 C04 一人思考，但他在思考的時候會告訴 C03，較沒有自信的 C03 每次都會肯定 C04 的答案，兩人通常未使用電腦模擬來驗證。只有一題使用電腦模擬來觀察像與物的動態相

對位置。看照相機時沒有互動，只知道變焦可改變像的大小但不了解對焦與變焦的差別，且因此進入該網站需要先註冊兩人皆不知道該怎麼做，所以本組沒有上網站故困難未解決。先看凸透鏡成像世界，再看眼鏡，先討論近視應使用哪一種透鏡再操作。看望遠鏡和顯微鏡，C03 會發出驚嘆聲問「為什麼」，可是沒有討論。

本組小組高成就女生（C04）雖然對電腦不熟悉可是很認真操作實驗，看到成像結果會和之前學到的概念做連結，會發現問題並設法解決。另外一位中成就的女生（C03）較沒自信故認為 C04 的想法一定是正確的，雖然學習較為被動，但因 C04 給予的教導常是正確的，所以兩人在後測的成長皆顯著。C04 後測選擇題進步 10 分且分數為 18 分，C03 進步 12 分後測分數為 20 分。但 C04 整體表現還是較 C03 佳，因為 C04 後測總分為 30 分，C03 為 24 分。本組高成就女（C04）在實驗過程中能將結果與理論相比較，進而發現操作上的錯誤，並有解決問題的能力，所以可能為本組學習成效進步多的原因。也能從本組發現實驗互動中提及的概念內容愈多正確率性高能幫助概念成長。

3. 電腦組第十五組

成員：C34 高成就男、C42 中成就男

兩人皆認真的操作面板，C34 遇到問題最常使用的方法就是向老師求救。老師教一步只完成一步，每進行一步就要問老師，完成時也要請老師確認操作是否正確。進行到問題與討論時會使用電腦模擬來觀察，如焦點外像與物的相對動態位置。但誤以為焦點內的結果應與焦點外相同而沒有再另外操作，故答案錯誤。此外，誤以為學習單上的物體向南移是表示向下，於是把物體倒立，可看見成像從倒立變正立，故答案寫成向北移動。不知道應該如何擋住凸透鏡的上半部而直接寫不成像。實驗最後 C34 認為自己的貢獻較多，要求 C42 根據學習單的實驗結果來完成成像結論，當 C42 不知性質如何描述時也要他去問老師。最後凹透鏡也是等老師來教才開始所以最後未完成所有實驗。照相機和顯微鏡的動畫很快就看完，只有發出讚嘆聲沒有討論原理，使用眼鏡只有觀察近視眼，一下就不想

看了。觀察凸透鏡性質時更改焦距動畫突然故障，觀察凸透鏡成像世界也沒有互動討論。

高成就男生（C34）擁有主導權，但是沒有信心不確定自己的做法，操作上常遇到困難，每做一步就要問老師對不對所以耽誤很多時間，另一位中成就男生（C42）很少表達意見。最後未完成所有實驗，實驗過程中也會出現錯誤的觀念。C34 後測選擇題進步 9 分達 18 分，而 C42 只有進步 6 分達 17 分，後測總分分別為 27、28 分，兩人的學習成效相近。可見實驗過程的完成率與正確率可能會影響學習成效。

4. 電腦組第四組

成員：C05 低成就女（非焦點學生）、C30 中成就男（焦點學生）

C30 是一位害羞的男生，未發言也未操作。C05 沒有自信遇到問題 C30 不會給予協助，而 C05 也不會對外求援常自問自答，但得不到正確的解釋。

C05：老師說物距要寫無窮遠處歐。無窮遠處在哪裡？

那物距也是無窮遠處，全都是無窮遠處那有什麼好寫的？

當然是實像，像大小我覺得是相等，兩倍焦距在哪裡？

老師親自教授設定所有的物距之後就知道如何寫物體位置，於是決定重做。但是有時遇到困難會開始亂玩，如產生兩物體或加光束，直到最後 C30 仍未操作實驗。使用蘇鄭照相機觀察快門，不太會使用網頁，上凸透鏡成像世界只看第一頁而已，因為不知道可以按下一頁。看眼鏡的動畫不知道可以按凸透鏡和凹透鏡，未做任何調整，也沒有討論，望遠鏡也只看第一頁。

中成就男生（C30）很害羞不敢與組員互動，實驗都由低成就女（C05）完成，遇到問題常無法獲得協助而放棄後面的實驗。C05 後測選擇題進步 6 分達 14 分，而 C30 只有進步 3 分達 10 分，兩人的學習成效不佳可能是因為中成就男生的實驗參與度低，低成就女（C05）不會操作實驗也沒有解決問題的能力，尋求協助也未能獲得正確的解答。

5. 電腦組第十八組

成員：C15 中成就女（非焦點學生）、C17 低成就女（焦點學生）

從頭到尾只有 C17 在做實驗，C15 偶而會找 C17 聊天，但是也會為 C17 打氣，C17 很認真操作，會自問自答。對於要調整 $x=1$ $y=0.5$ ，覺得很困難，手會抖。完成之後進行下一個實驗還是調整 $x=1$ $y=0.5$ 。去別組尋求協助才知道要調整 $x=1.5$ $y=0.5$ 。有些答案自己判斷，有些參考別組的答案。以為物體位置 1.5，物距 1 就是要調整 $x=1.5$ $y=1$ 。實驗沒有完成，學習單也不完整。C15 沒有任何貢獻。觀察照相機時沒有互動，看眼鏡動畫只觀察近視眼而已，望遠鏡和顯微鏡有看完，凸透鏡成像世界沒有全部看完就關掉，再開一次眼鏡但仍沒有完整操作。

中成就女（C15）沒有學習意願完全沒有參與實驗，低成就女（C17）很認真操作實驗但是沒有解決問題的能力，常重覆相同的動作卻不知問題出在哪裡。C15 後測選擇題退步至 8 分，C17 也退步至 7 分，可見除了電腦操作能力之外還要有解決問題的能力，若是從別組得知如何操作而如法炮製，卻不知道為什麼，則接下來的實驗仍不知如何進行，所以做實驗前必須先了解實驗的目的。從本組實驗發現若實驗操作遭遇困難但未妥善解決可能會影響學習成效。

6. 電腦組第十六組

成員：C14 低成就女、C39 低成就男

兩人完全沒有對話一開始沒有人操作電腦，後來 C39 開始操作但未按照老師的指示進行，光束和物體一起亂拉，一個人默默的玩了兩節課。完全沒有進行實驗最後學習單跟別組抄了一些數據。C14 從頭到尾沒有發言，不操作且不配合。C39 在使用蘇鄭照相機時，認為加快播放動畫速度很有趣，重複播放時不管內容，即使被他組同學取笑仍繼續玩。找不到其他動畫，繼續按照相機。實驗課結束時老師問他們說剛才檢討的學習單你們完全沒寫嗎？C39 很坦然的回答：「對阿」。

C14 後測總分只有 13 分，C39 後測選擇題退步至 6 分，總分也只有 9 分。這兩個低成就學生皆沒有學習意願，完全沒有操作實驗，導致本組學習成效不佳。

綜合以上結果作以下分析。因為本實驗難度對學生而言困難度較高，因為平

常的實驗通常只需要定性不需要定量，如要測量實驗結果也只需要記錄一兩個數據，如酸鹼中和實驗中，只需要測量滴定溶液的體積以及反應前後的溶液溫度。電腦組最常遇到的困難就是分辨物距與物體位置，不了解面板上的座標意義。因為本實驗難度高且電腦組一組只有 2 人，所以成員的組成很重要，從教室錄影中發現成員中若有一個（或一個以上）高成就學生實驗進行較順利。其中一組中兩位皆為高成就學生，主動積極且領悟力高，兩人互動討論常是有意義的，於是能從電腦模擬實驗中有較多的收穫，學習成效也反應在概念後測。所以電腦組整體而言，小組的組成為高高組進步最顯著；若為高中組，這兩組焦點組皆是高成就學生有主導權，若高成就學生能夠正確引導中成就學生，對兩人的學習成效有幫助，如第五組，若高成就學生觀念不正確可能會誤導中成就學生，如第十五組；中低組成效有限甚至退步，可能是因為對中低成就的學生而言本實驗難度高，不得其門而入；若組成為低低組，因為學習意願低落故學習成效差。此外，後測中表現較佳的高成就學生：C25、C36、C04 有二個共同點，對話中談及概念的比例較高，且會將實驗結果與理論做比較。

（二）操作組焦點組

1. 操作組第七組

成員：E01 高成就女、E16 高成就女、E17 中成就女

E01 積極主動會搶著做實驗，E16 坐在兩人之間負責記錄實驗結果。本組實驗進行時懂得先設定物距，且 E01 與 E16 討論物體位置和物距的差別，E17 則負責量測像長，三人有確實分工且各盡其職。第一個實驗花 12 分鐘完成，第二個實驗只花 2 分鐘。找不到成像時用紙屏耐心尋找，詢問老師之後才知道本次實驗理論上就應是「不成像」。本組會按照實驗記錄學習單上面的實驗流程進行實驗，並發現學習單的錯誤——凹透鏡實驗表格中物長重複問兩次。凸透鏡的問題與討論是由 E16 自己思考後完成。凹透鏡的虛像的實驗也很快完成。進行成像結論時三人會按照剛才實驗的結果討論，有時會再使用實驗儀器觀察結果，如拿紙擋住凸透鏡上半部後觀察成像，觀察後一致認為成像沒有任何改變，因為亮度差異不

大看不出來。有時會回想上課學習過的成像結論，是全班最快完成實驗的小組，還嘗試做針孔成像的實驗。使用照相機時 E01 搶先使用照相機，沒有和他人討論自己操作並觀察成像。E16 和 E17 也有使用照相機但三人都沒有互動討論。可能是因為這部分沒有學習單，學生討論較不積極。

兩位高成就的學生和中成就學生分工確實，實驗記錄細心確實，除了能讓實驗有效率完成之外，問題與討論也能獲得正確的解答。因為三人會一起尋求解答，尤其是兩位高成就的學生的對話中常有概念間的交換。故學習成效表現在概念測驗中，E01、E16 與 E17 的後測進步分數分別為 17 分、10 分、5 分，E01 的總分更高達 39 分，E16 與 E17 的總分分別為 29 分與 24 分。

2. 操作組第九組

成員：E33 中成就男、E36 中成就男、E06 低成就女

實驗過程中遇到問題時三人的反應不同，E33 會自己想辦法；E06 會看別組怎麼做，如 E06 從別組發現移動可利用紙屏來找成像；E36 則認為本組不可能知道怎麼做，所以常向老師求救。老師親自到本組教授物距與像距的差別。經過教師提醒才知道尋找成像時凸透鏡的位置不可以移動。三人操作實驗的機會差不多，通常是 E06 做實驗記錄。實驗操作正確後，但是成像性質錯誤，原來是因為物距設定錯誤。在描述成像時本應描述成像短邊的方向，E36 卻以為要描述物體短邊的方向，於是所有的方向皆寫東邊，其他組員也沒發現錯誤。有時尋找成像時會移動物體。

一開始 E33、E36 參與度高，實驗過程中不斷向老師求救，最後開始玩，E33 玩鏡片，E36 玩手電筒，甚至離開實驗桌到別組去。E06 認為學習單塗塗改改的很亂，向老師再要一張學習單填整齊，但是許多實驗未完成，空白很多。使用照相機時 E33 和 E36 會互相討論如何操作，E06 自己觀察，沒有互動。

本組兩位中成就男生平時做實驗參與度就很高，但是從未當過領導者，在本實驗常遇到困難卻沒有引導者，對自己沒有信心也不願意思考，最可惜的是沒有耐心完成所有的實驗，低成就女生認真參與卻無法得要領只想把學習單寫整齊。

所以三人的學習成效有限並反應在概念後測中，E33、E36 與 E06 的後測進步分數分別為 2 分、-1 分、2 分，E33、E36 與 E06 的後測總分分別為 22、24、15。可見本組的學習成效有限。

3. 操作組第十一組

成員：E31 高成就男、E02 低成就女、E15 低成就女

第一次尋找成像發生很多狀況共花了 12 分鐘，如手電筒位置太高、移動凸透鏡、手電筒有時會接觸不良。教師親自示範才找到第一個實像。像的方向、位置會描述，但不會判別實像與虛像。E31 說：「這是實像阿，因為他是倒過來，所以是實像。」於是 E02 立即寫下實像。實驗都是 E02 與 E15 操作，遇到問題時會跟不專心的 E31 求救，E31 則隨邊敷衍一兩句就繼續玩別的。E02 進行下一個實驗的時候沒有重新移動手電筒位置，開始移動紙屏重新找成像，所以每一個成像性質皆相同。E15 甚至會移動凸透鏡來找成像。老師親自教授後才開始進行下一個實驗。在焦點內的像找很久，教師提醒可能是虛像，但仍繼續利用屏幕找成像。E31 曾拿起凹透鏡鏡片觀察四周物體，發現此鏡片和近視眼鏡相同，還到處跟同學分享。後來 E02 和 E15 也開始玩，老師出現才開始寫問題與討論。小組偶爾會討論，對話如下：

E31：這裡哪裡有向左移動，只有前後

E15：向南就是向左右阿，他會偏北就是偏右阿

於是 E02 很肯定的寫下向南。關於遮住凸透鏡的上半部，E31 認為看到的結果是大小改變，雖然 E02 懷疑這樣的推論但是卻沒有反駁就填下此答案。

E02 與 E15 操作照相機的時間較久，兩人會一起討論如何操作，E31 操作的時間較少。

雖然本組有一位高成就學生（E31），但他不積極參與實驗。而另外兩位低成就學生操作中常遇到困難，如尋找成像不能移動物體及凸透鏡的原則都不清楚，而高成就同學常未參與實驗甚至偶爾會提出錯誤的觀念，而 E02 和 E15 沒有質疑全盤接受，所以本組的學習成效不佳且可能造成反效果。學習成效並反應

在概念後測中，E31、E02 與 E15 的後測分數皆退步，分別退步 6 分、1 分與 5 分，然而高成就 E31 的後測選擇題只有 5 分，與 E02 的 9 分和 E15 的 4 分差不多。三人總分也分別只有 14、18、9 分。

整體而言，操作組學生遇到的困難主要是對設定物距的意義不了解，且每組的透鏡焦距不同，故物距的設定應不相同，有些組別因為參考別組設定的物距反而找不到成像。且對於區分物距與物體位置、讀取物體位置與像的位置也有困難。有些學生甚至不知道實驗中的「操縱變因」和「控制變因」，在尋找成像會移動透鏡或物體。此外，平時做理化實驗如化學實驗，經常只需要幾個步驟就可以觀察化學變化，不需要精準記錄實驗結果。本實驗除了要了解操縱變因和控制變因的區別之外，每次實驗需要測量和記錄的結果較多，物距、物體位置、像的位置、像距、像長（分長邊和短邊）、像的指向（分長邊和短邊）、實像或虛像、與原物大小比較等。所以本實驗的難度較平常的實驗高。

操作組每組 3 人，人數不多所以成員的組成也很重要。如第七組組成為高高中，三人皆主動積極並能互相討論，會共同解決操作上與概念上的問題，故三人學習成效佳；反觀第十一組的成員為高低低，其中的高成就學生，未積極參與實驗，有時其他兩位低成就組員會問他問題，他有時不給回應甚至有些回應是錯誤的。且該組對實驗目的不了解，有時尋找成像時會移動凸透鏡。所以本組不論是高成就學生或低成就學生學習成效皆有限；而第九組的組成為中中低，一開始三人的實驗參與度高，但遇到困難時只想知道該如何操作仍未了解實驗的目的，導致無法類推自行完成下一個實驗，最後實驗興趣低落，所以學習成效有限。

可見影響操作組學習成效的因素有以下幾項：

1. 了解實驗目的，知道本實驗的「操縱變因」與「控制變因」。
2. 組員的實驗參與度高並願意解決困難。
3. 能夠描述成像的性質並能將所有的數據清楚記錄下來。
4. 小組能共同討論並有解決問題的能力。

三、統計各組實驗記錄學習單完成程度與答對情形

圖 4-3-4 為兩組實驗記錄學習單答題率分布圖。由圖可見操作組的完成率較高於電腦組，尤其在結論表格與結論討論中，操作組的完成率較電腦組高並達顯著水準（結論表格： $t(28) = -2.807, p = .009 < .05$ ；結論討論： $t(28) = -2.241, p = .033$ ）。表示整體而言，操作組的完成率較電腦組高，可能是電腦模擬實驗較為困難需要的時間較長，甚至電腦組的低分組因沒有成就感導致而學習意願低落。兩組在「實驗二討論」的完成率較低，可能是因為兩組在實驗一花較多的時間。且電腦組的完成率逐漸降低，可能是因為時間有限導致後面的完成度愈來愈低。

圖 4-3-5 兩組實驗記錄學習單答對率分布圖。兩組於「實驗一討論」和「實驗二討論」的答對率皆低於「實驗一表格」與「實驗二表格」，顯示問題與討論對學生而言較為困難。然而「實驗一討論」的完成率是操作組較電腦組高，但答對率卻是電腦組較高，原則上電腦組的完成率低，相對的答對率應該較低，因為答對率是答對題數除以總題數，表示電腦組在「實驗一討論」中表現較操作組佳。顯示當電腦組完成實驗一表格後，即完成凸透鏡實驗後已懂得實驗要領，在回答「實驗一討論」時可操作實驗來尋找解答。而操作組即使完成「實驗一表格」在回答「實驗一討論」時仍需要從表格數據中做推論，如看成像的移動方向需從兩次實驗中像的位置做比較才能看出，而電腦組可以馬上拖曳物體看像的移動方向和物體的關係。所以電腦組在「實驗一討論」的答對率較高。實驗二之後因為電腦組的完成率逐漸降低，兩組難以做比較。

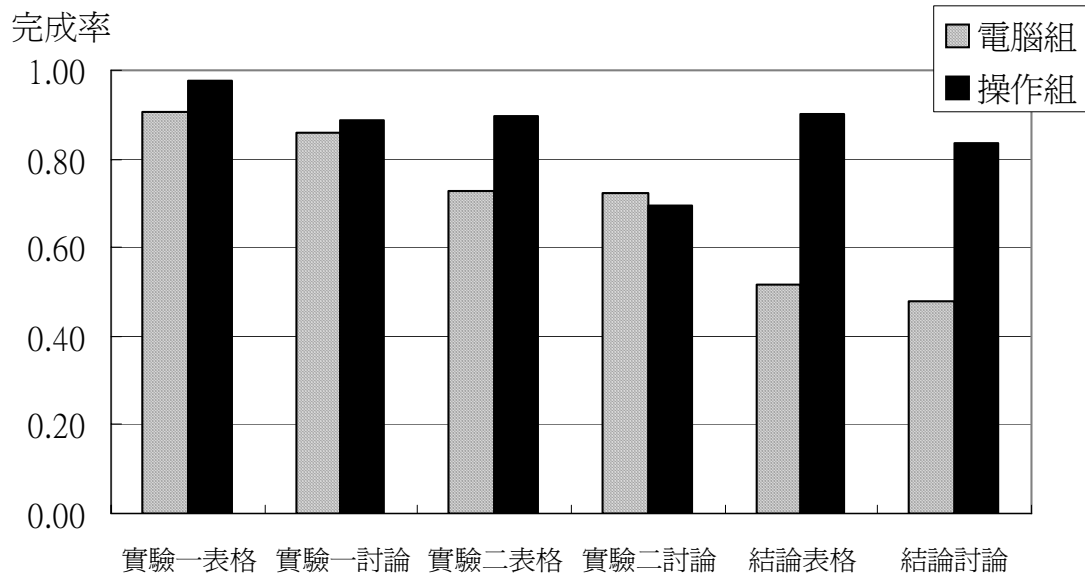


圖 4-3-4 兩組實驗記錄學習單完成率分布圖

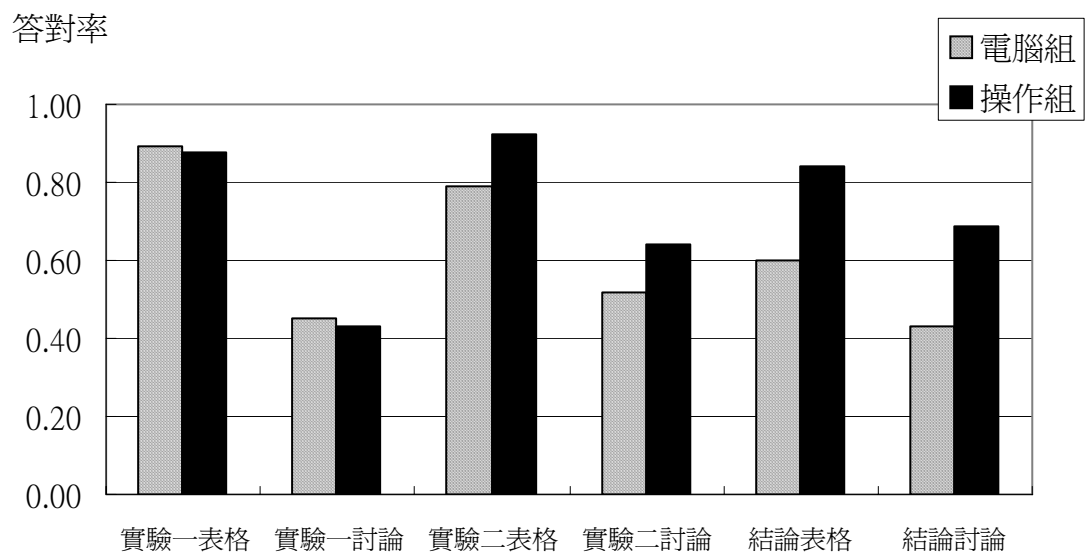


圖 4-3-5 兩組實驗記錄學習單答對率分布圖

為了比較分組方式是否影響學習成效做以下分析，電腦組的組別分成五個類型：高高、高中、中中、中低、低低，操作組的組別分成六個類型：高高中、高低低、高中中、中中中、中中低、中低低。計算各類型組別的平均完成率與平均答對率。圖 4-3-6 為電腦組於各類型組別的完成率與答對率分布圖。圖 4-3-7 為操作組於各類型組別的完成率與答對率分布圖。

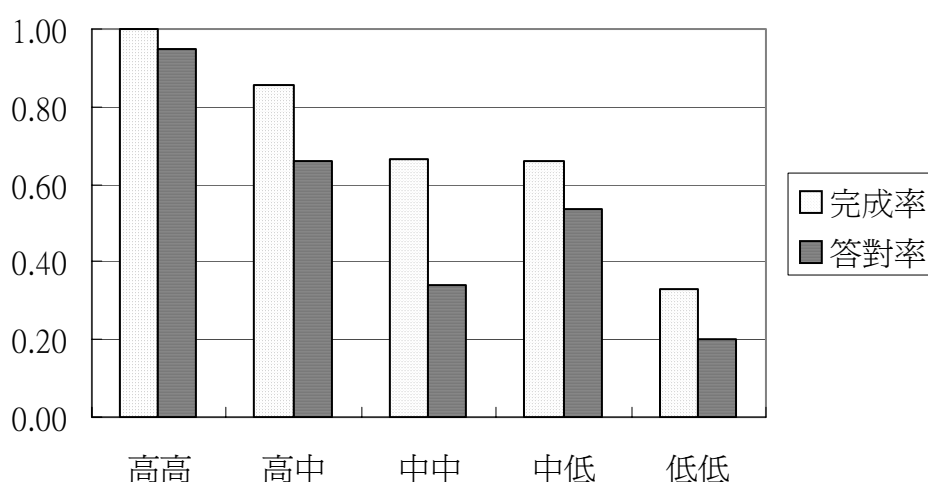


圖 4-3-6 電腦組於各類型組別在實驗記錄學習單的答對率與正確率分布圖

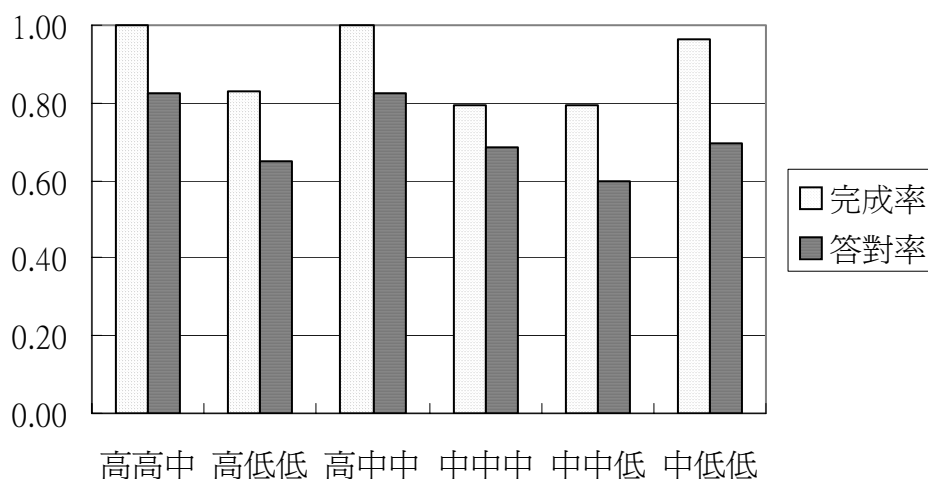


圖 4-3-7 操作組於各類型組別在實驗記錄學習單的答對率與正確率分布圖

比較兩圖形可發現，電腦組於各類型的表現差異較大，完成率表現由大到小為高高>高中>中中=中低>低低，而答對率的大小為高高>高中>中中>中低>低低，顯示各組若平均成就表現較高則完成率與答對率皆較高，可見電腦組的實驗難度較高，成就高的學生得心應手故完成率與答對率皆高，成就低的學生實驗遇到的困難多，完成速度較慢且未能完整得到正確的概念，也可能是因為學習興趣低落導致。而操作組於各類型的表現差異較電腦組小，完成率皆達八成，整體而言操作組的完成率與分組類型無明顯關係。在答對率部分高高中與高中中約八成，高低低的表現不如前兩者，雖然高中中與高低低都有一個高成就學生，但

是後者的高成就學生實驗參與度低和組員互動少，可能影響小組學習成效。從圖 4-3-7 中還可發現雖然中中低的答對率最低（約六成），但卻大於電腦組的中中、中低與低低組。因此顯示操作組的實驗對大部分的學生而言難易適中，也可能因為操作組每組人數較電腦組多一人所以組成成員的影響較小。電腦組每組只有兩人，若兩人都不懂得實驗操作可能造成實驗意願低落，而操作組有 3 人可以分工互相給予協助。

四、比較高分組在電腦組與操作組的表現

全部 42 個題目當中電腦組高分組平均答對率較操作組高分組高的有 22 題，而操作組高分組較電腦組高分組高的題目有 10 題。其中，電腦組答對率較操作組高的題目中，差距最大的五題為 a12、a13、a14、a15 和 a21 題，其中 a12、a13、a14、a15 屬於概念 2「像與物的動態相對位置」，顯示電腦組能從電腦模擬實驗中得到較強的概念。而 a21 有較佳的表現如晤談討論，因為當眼睛所見和理論產生矛盾時電腦組高分組會以理論為主，而操作組以眼睛所見為主，然而學生不會分辨成像的位置是在鏡前、鏡面上和鏡後而產生迷思概念。

而操作組答對率較電腦組組高的題目中，差距最大的三題為 a7、b4 和 e1 題，a7 的概念為「放映機的像距」，因為放映機的原理與照相機相似，操作組對照相機的功能較熟悉所以有較好的表現。b4 的概念為變焦的功能，可能是操作組有實際操作照相機的變焦功能而電腦組的變焦模擬是光的成像圖非照相機本身。e1 題為凸透鏡的應用，操作組的情況較為良好。

由教室觀察中發現兩組之高分組皆主動積極且懂得操作實驗，綜合以上結果歸納電腦組高分組的表現較操作組佳的可能因素如下：

1. 電腦組每組人數較操作組少所以每人操作實驗的機會較多，且兩人的座位較靠近，而操作組的空間較大三人較難討論，所以需要提高音量，全班操作時會較吵雜可能影響互動品質。
2. 若學生熟悉電腦介面就不需要花時間找成像，因為電腦模擬的成像與物體同

時出現。而操作組每一次都需要慢慢移動屏幕才能找到成像，此外操作組尋找時必須從另一個方向尋找，困難度較高故需花較多的時間在尋找成像上。

3. 電腦模擬能調整的變因較多，如問題與討論中問到像與物體的動態相對位置，操作組必須從剛才的實驗結果去推論，而電腦組可以馬上操作面板觀察像與物體的關係。
4. 電腦組的成像性質較操作組容易描述，如大小關係、正立倒立、物體位置等都能夠立即呈現在眼前，而操作組需要從實驗記錄數據當中將像與原物做比較。
5. 電腦模擬與教師在實驗課前教學生畫的「成像圖」相似，還可以動態呈現，有如連續播放幾個成像圖。此外也與概念測驗中出現的成像圖相似，所以若學生能確實完成實驗，即能強化成像圖的概念，所以概念測驗的成效較顯著。
6. 電腦模擬能夠幫助抽象的概念，因為電腦模擬會將抽象的概念具體化，如電腦模擬將「光線」呈現出來，讓學生了解遮蔽凸透鏡時為何成像為何會變弱，而能消除迷思概念「成像大小與凸透鏡的面積有關」。且因看得見「光線」，故產生概念「由實際光線所成的像為實像」。
7. 從教室錄影中發現電腦組高成就學生大多會將實驗結果與理論做比較。當學生學習時若遇到概念衝突，有些學生可能以既有概念解釋未知的現象，但電腦組高成就的學生懂得以科學理論為基礎建構新的概念，所以概念改變的成效顯著，而理論基礎更為紮實。故電腦組對理論的概念較操作組強，當觀察到的現象與理論產生衝突時，且從晤談結果得知電腦組高分組會選擇理論的結論，而操作組的高分組較相信眼睛所見的。