

國立彰化師範大學特殊教育學系

特殊教育學報，民 109，51 期，頁 65-100

DOI: 10.3966/207455832020060051003

擴增實境(AR)之比與比值數學教材對 國小六年級學習障礙學生學習及 課堂注意力成效提升之探討

蔡浩軒

孟瑛如

國立清華大學特殊教育學系

摘要

本研究利用擴增實境(AR)設計數學比與比值教材，以單一受試研究法之撤回設計研究 4 位國小學習障礙學生，進行每週 3 次，持續 8 週，共 24 次教學。透過改編「課堂注意力行為檢核表」、自編「數學學習成效測驗」、數學診斷測驗(MDA)及訪談瞭解本教材對受試者的學習成效及課堂注意力成效。以目視分析法及 C 統計分析發現：(1)使用擴增實境(AR)教材教學後，受試者在自編「數學學習成效測驗」上比與比值學習成效達顯著，顯示學習具立即與維持成效，未使用擴增實境(AR)教材教學的圓面積學習成效顯著下降，同時 MDA 後測與前測結果相較下，百分等級皆提升，在比與比值題型作答皆正確；(2)根據改編「課堂注意力行為檢核表」，受試者在課堂注意力之圖畫、語文、推理注意力向度上皆具立即提升成效；(3)AR 數學教材搭配教學介入，對於受試者認知負荷測量有學習反應時間上的個別差異，顯示學習障礙學生在計算能力上確實有瓶頸，但經教學介入後，正確率皆上升，顯示確實能降低認知負荷量並依照自身學習速率進行學習。

關鍵字：學習障礙、擴增實境、數學學習、比與比值、課堂注意力

通訊作者：孟瑛如 Email: yrmeng@mx.nthu.edu.tw



壹、緒論

近年藉由行動載具硬體搭配擴增實境 (augmented reality, AR) 技術與學習內容互動更是近年來多媒體輔助學習發展趨勢 (張苑珍、吳明騰、陳景章、陳星宏、王盈翔, 2012; 張苑珍、葉榮木, 2012)。AR 應用於學習情境中之優勢 (張苑珍, 2015; Bressler & Bodzin, 2013; Chiu, DeJaegher, & Chao, 2015; Zak, 2014): 一為增加教材之真實性、互動性, 將教材結合 AR 的影像疊加效果, 令學習者更瞭解抽象的概念; 二為輔助性等視覺影像, 增強學習者對文字應用題之瞭解; 三為創造出突破空間或時間限制之模擬環境; 四為增加學習環境的臨場感, 切換在虛擬與現實進行教學, 為學生提供自學、反思、協同學習及共同創作的智慧校園學習環境, 研究者紛紛指出 AR 在智慧校園中將會是有價值的教學工具 (湯志民, 2019; Kronfli, 2019; Lotz, 2018), 但目前國內甚少有研究將 AR 用於特定學習障礙 (specific learning disorder, 以下簡稱 SLD) 數學科補救教學。雖然 AR 之新奇性易引起學習動機, 但多媒體教學需要考量各種元素, 並非呈現聲色動畫效果就能取勝 (陳明璋、李俊儀、李健恆、楊晨意, 2016), 且許多 SLD 具有注意力缺乏問題 (attention deficit disorder, ADD) 並容易出現在學習中 (孟瑛如、簡吟文、陳虹君, 2016), 在設計教材過程中, 需更注意教材重點是否能引起學生注意。因此探討 AR 融入數學科補救教學後, 對 SLD 能否改善其數學學習成效、

課堂注意力及降低其 SLD 的認知負荷, 為本研究主要動機。

貳、文獻探討

一、學習障礙學生之注意力相關理論

特殊需求學生因為生理或心理的缺陷, 因此對各種刺激的接收、處理與反應產生程度不一的影響, 導致注意力的表現與普通學童相較, 普遍居於弱勢 (林鉉宇、劉國政、張文典、洪福源, 2012)。根據我國之身心障礙及資賦優異鑑定辦法 (2013) 第 10 條: 「本法第三條第九款所稱學習障礙, 統稱神經心理功能異常而顯現出注意、記憶、理解、知覺、知覺動作、推理等能力有問題, 致在聽、說、讀、寫或算等學習上有顯著困難者; 其障礙並非因感官、智能、情緒等障礙因素或文化刺激不足、教學不當等環境因素所直接造成之結果。」由上述鑑定辦法中得知, 學習障礙在基本心理歷程有缺陷。故注意力和基本心理歷程有關聯 (Lerner & Johns, 2012)。國外研究者 Silver (1990) 更推算過, 約有 15% 至 20% 的學習障礙學生具有注意力問題。許多國內研究也指出學習障礙學生多半具有注意力問題 (王立志、張藝蘭、何美慧, 2011; 孟瑛如、簡吟文, 2014a; 林鉉宇等人, 2012)。

注意力是很複雜的概念, 可知常因為注意力定義的角度不同而產生不同術語, 以下分成認知心理學以及教育心理學進行探討。

(一) 認知心理學

早期之過濾理論 (Broadbent, 1954, 1958) 認為注意力容量是有限制的, 認為注



意力容量是有限制的，因此對於輸入訊息會有所選擇，訊息必須經過過濾器篩選之後再進行處理。但是後續的研究發現，注意力的選擇，並不是全有或全無的 (Treisman, 1969)，在這樣的基礎上，Treisman 與 Gelade (1980)提出的特徵整合理論，更進一步地說明人類處理視覺資訊的過程是由兩個階段組成的。而在 Mayer (2009)提出的認知理論中有三項假設，一是人類擁有以視覺和聽覺兩個不同的通道來處理相應的文字和圖像；二是在上述各通道上只能夠同時處理有限數量的資訊；三是對進入通道的資訊，人類是採取主動處理的認知過程，這些認知過程包括投放注意力和組織從眼睛及耳朵進來的文字及聲音訊息，以及將相關訊息與先備知識整合，是一種主動處理這些多媒體資訊所要傳達意義的過程。由於在各個通道內資訊的處理量以及工作記憶區容量均是有限制的，因此認知負荷是多媒體教學設計的考量核心(Mayer & Moreno, 2003)。對於AR技術這樣具有高互動性且需要操作的多媒體教材，可能會讓學生在學習知識時，需要多付出心力學習AR的操作而導致產生認知負荷。認知負荷主要分為外在和內在負荷兩種類型(Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)，在多媒體教學中降低上述兩類認知負荷是主要的設計考量：

1. 內在認知負荷

內在認知負荷與教材中元素交互的複雜程度有關，Mayer (2009)指出學習者閱讀配有旁白、旁白字幕及圖像（靜態或動態）等教材，其學習效果比只使用旁白與圖像之教材來得差。在數學領域上，不論是學習長方形周長公式(Jeung, Chandler,

& Sweller, 1997)、局部幾何證明(Mousavi, Low, & Sweller, 1995)或比例應用問題教學(Atkinson, 2002)等，其結果顯示圖形配合聲音指導語的學習成效，不僅優於單純以視覺接受教材圖像與文字的方式，並也證實透過聽覺來接收資訊可以避免分散注意力(Ayres & Sweller, 2005)的問題產生與對教材的困難度感受也較低，故學習者以雙通道假設來處理教材與學習成效有重要關聯。

Ayres (2013)提出三種降低內在負荷的策略，一為分割原則，多媒體訊息以學習者的步調來分割教材的呈現會比連續呈現的方式效果更佳。如 Gerjets、Scheiter 與 Catrambone (2006)在有關機率的學習上，將解題劃分為小步驟，發現學習者更能掌握相關概念。對教材題目調整，由簡單至複雜排序來進行教學就可以降低內在認知負荷(van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003)；二為事前訓練原則，當教材的複雜度高時，若能先使其知道學習主題的概念特徵和專有名詞，再進行學習(Clark & Mayer, 2008)。數學學習對相關名詞的定義一般都會先進行教學後，才會討論其性質及應用，因此這樣的策略在數學學習中幾乎是必須的設計(陳明璋等人, 2016)；三為形式原則，如題目同時呈現文字及圖片對學習者的視覺通道負擔過多，若能利用口語解說，則圖表通過視覺通道、文字通過聽覺通道，讓學習者聚焦於視覺的訊息上，兩者皆不會超過負荷，便能有較好的學習，因此雙感官形式的呈現會比單一感官形式的呈現還好(Clark & Mayer, 2008)。



2. 外在認知負荷

外在負荷主要是由教學目標無關的教學設計所產生的，這些不必要的設計讓記憶容量超載進而影響學習成效(Mayer, 2009)。對於系統結構性強的領域（如：數學、科學等），在獲取技能的最初階段，若能以工作例(worked-out examples)的方式呈現學習內容，將較直接進行高負荷量的解題任務來得有效(Carroll, 1994; Renkl, 2005; Sweller & Cooper, 1985)。工作例一般由問題敘述、解題步驟及其最後答案所組成，對於特定的內容，還會包括一些問題的輔助表徵（如圖表）。因此，很多降低外在認知負荷的策略，如連貫原則、信號原則、重複原則及空間接近原則都與工作例中各元素的呈現方式有關且工作例的教學設計，對初學者或先備知識不夠穩固的學生通常有較好的學習成效。

綜合上述，對於 SLD 的 AR 技術融入數學教材設計應採用工作列的方式呈現，對於先備知識較不穩固的 SLD 有較好的學習成效。本研究為比與比值的補救教學，學生皆為 SLD 學生，針對教材設計作以下說明：

- (1)連貫原則：本教材在呈現訊息以步驟化呈現，突顯主要訊息，如替主要訊息顏色明度加深、變為粗體或放大及替非必要訊息降低明度、縮小或直接移除，讓學生能專注於教材呈現的主要訊息。
- (2)信號原則：比與比值單元多數題目注重前後項關係判別，利用顏色突顯或符號引導，如箭頭，引導同學對題目關鍵訊息的掌握。
- (3)空間及時間接近原則：比與比值的重要性質提示於對應的前後項或圖像與關

係式的對應，讓學習者較易建立連結，圖像和文字以同步呈現方式，強化同步學習。

- (4)事先訓練原則：教材先以先備知識教學起頭並且在教學流程一開始即揭示比例符號的概念，讓同學了解接下來學習主題所須具備的先備知識。
- (5)形式原則：非必要的文字訊息，由口語敘述和圖同步呈現，在教學過程中適當的口述指導語是傳遞知識的重要途徑，搭配的時機需要視教材內容當下呈現的複雜程度而定。

透過上述認知負荷教材設計原則，搭配 AR 技術於教學上的優勢，定能給予國小 SLD 學生的比與比值學習帶來莫大的助益。

3. 認知負荷的測量

Brünken、Plass 與 Leutner (2003)提出認知負荷的測量可以以兩個維度來劃分為主觀或客觀及直接或間接，各維度的測量方法，如表 1 所示。主觀性測量是指用主觀性的方法，例如自我報告法等來測量認知負荷的強度；客觀性測量是指通過對行為、生理狀況和成績等進行客觀觀察，從而得出認知負荷強度的大小。直接測量是對受測者的主觀感覺、大腦活動進行直接測量，得到結論；而間接測量是指由受測者的行為、學習成績進行推論，從而做出判斷。

(二) 教育心理學的觀點

張春興(1989)指出注意力(attention)是一種心智活動的分配，是個體在意識層面，對情境中的多種刺激，選取其中一個或一部分做反應，並從中獲得知覺經驗的過程。James (2007)提及注意力有兩個重要



表 1

認知負荷測量方法分類表

	因果關係(Brunken, Plass, & Leutner, 2003)	
	間接	直接
主觀	自陳投入的心智努力	自陳壓力的程度 自陳材料的困難度
客觀	生理測量 行為測量 學習結果測量	腦部活動測量(如, fMRI) 雙任務績效

特徵：集中焦點和專注；集中焦點即為選擇性注意力，能選擇重要或指定訊息，並根據標的性有效掌握需要的訊息；專注特徵則具有持續性，即為持續性注意力，制止個體對於處理訊息的持久程度。Taylor (1995)指出，注意力至少包含了注意力的容量、選擇性注意力與持續性注意力三項。上述關於認知心理學觀點的注意力分類，大多是以心理歷程以及感官的角度去分類，孟瑛如與簡吟文(2014a, 2014b)則是以認知學習的觀點提出注意力可以按照學習需求劃分為認知相關與學業學習相關之分類方式，將注意力分為圖畫、推理以及語文等三個向度，明確地將注意力聚焦於課堂學習當中。

由於本研究介入環境為進行教學之課堂，因此為有效探究學習障礙學童於課堂上的注意力行為並尋求連結至學習上，本研究依據孟瑛如與簡吟文(2014a, 2014b)以認知學習的觀點提出注意力之分類方式，利用圖畫注意力、推理注意力以及語文等三個向度，作為進行觀察與評定之標準。而本研究中認知負荷的衡量為採用客觀的學習結果測量方法，測量的向度為學習正確比率與反應時間，以觀察本研究的

不同種教學策略介入對於學生認知負荷差異。

二、比與比值題型分析

比與比值不管在國小課程中出現的頻率(蘇薇蓉、劉曼麗, 2017)或在生活都顯現其重要性。對於學童欲學習更高層次的數理概念，如：溫度、速度或密度……等，比與比值的概念將會是一項不可或缺的基礎能力。

許多研究指出(林福來、郭汾派、林光賢, 1986; Karplus, Pulos, & Stage, 1981; Lamon, 1993; Noelting, 1980)問題的情境與數值會對學生的學習具有影響；因此，以下針對文字的陳述與數值的結構，分為語意類型、題目類型、未知數位置、數值形式與數值關係及數值大小。

1. 語意類型

數學的布題，一是無情境題；另一是有情境脈絡的應用問題。

Lamon (1993)將數學文字題中的比例問題之語意類型分為四類型：完整——合成的測度空間(well-chunked measures)、部分——部分——整體(part-part-whole)、關聯的集合(associated sets)、放大與縮小(stretchers and shrinkers)。另外，陳竹村、



林淑君與陳俊瑜(2002)依據情境將問題分為四種類型：組合問題、母子問題、交換問題、密度問題。國內外研究者的分類型有異同之處，茲將語意類型的分類型對照以表 2 示之，並將各問題類型整理說明如下。

2. 題目類型

比例的題目類型依題意所求，可分為「比例式缺項問題(missing value problem)」與「比較問題(comparison problem)」(Karplus et al., 1981; Lesh, Post, & Behr, 1988; Tourniaire & Pulos, 1985)。比例式「 $A : B = C : D$ 」中，四個數值已知其中三個，要找出那個未知數，即為「比例式缺項問題」；「比較問題」則是四個數值皆已知，要比較兩個比值的大小關係研究者認為，比較問題必須具有比例的情境，若單純只有數字，則形成「分數比大小」的題目。因此，比例式缺項問題可存在於無情境題與情境題中，比較問題則只在情境題下才具有比例的意義。

3. 未知數位置

比例式問題中，比例式「 $A : B = C : D$ 」，未知數可以在第一項、第二項、第三項以及第四項的任一位置上；陳竹村等人(2002)指出，在比例式中，當未知數在後

比例項時，由於推論基礎是已知，所以稱為「正向活動」；相對地，當未知數在前比例項時，需由後比例項為基礎，反向地推論，所以稱為「逆溯活動」；由概念發展的觀點來看，學生逆溯活動的能力發展在正向活動之後易言之，學生是先掌握未知數在後式的題型，理解並熟悉後，以此為基礎才學習未知數在前式的題型；故在教學與教材設計上，教學者與教材設計者也應注意正向活動與逆溯活動問題的安排順序。

4. 數值形式與數值關係

國小階段，數值形式有整數、分數與小數，因分數、小數概念及其乘除運算能力比起整數來說，是難度較高的；陳竹村等人(2002)認為，比例式的數值範圍會影響學生的解題。

在比例式缺項問題中，比值的數值關係會影響學生的解題表現(Noelting, 1980)。根據 Van Dooren、De Bock、Evers 與 Verschaffel (2006)的研究，其操控題目中的數字，使得比值的數值關係為整數倍比(integer ratio)或非整數倍比(noninteger ratio)發現在國小六年級學生，整數倍的題目會比非整數倍的題目正確率高，但隨著年齡非整數倍題目作答表現會逐漸進步。

表 2

國內外比與比值各類問題整理及配對

Lamon (1993)	陳竹村、林淑君、陳俊瑜(2002)
完整——合成的測度空間	密度問題
部分——部分——整體	母子問題
關聯的集合	組合問題
放大與縮小	—
—	交換問題



5. 數值大小

學生的解題表現會受數值大小的影響。簡單的正整數是學童在進入正規的學校教育之前，就已有的經驗，所以對於簡單正整數的計算操作，學童的表現就比複雜的、非整數的計算來得好。Rupley 的研究發現，在比例問題上，對學生來說除了「整數倍比」比「非整數倍比」容易外，其數數值小於 30 時，也比大於 30 時容易（引自 Karplus, Pulos, & Stage, 1981）。

題目的敘述包括了文字的陳述與數字的形式，每種題型對學生而言，皆有其難易；透過本節的探討，瞭解到各種類型問題的難易均會影響學生的解題表現。教學設計應配合學生的學習狀況與認知發展，同時尚需考量學生所有的先備知識與能力。因為教學與教材若無法搭配著學生能力，則學習成效必定大打折扣，故研究者透過此節文獻探討，設計出適合受試者的教學題型。

三、AR 技術在教育上的應用

（一）AR 技術於教育上應用的益處

行動載具搭配 AR 開始，教學就已成爲 AR 主要發展領域之一。AR 搭配真實場景的獨特性，在智慧校園的學習環境中，有著無可取代的地位，且其能覆蓋在學生的視野上，帶來一對一的學習感（湯志民，2019），使學生更融入沉浸於學習環境中；Lotz (2018)強調 AR 能增強學習體驗，將學生帶到傳統課堂之外，進入更大的可能性世界，開創智慧校園的教學和學習新模式。

AR 的定義應包括三個方面的內容：將虛擬物與現實結合、即時互動及三維 (Azuma, 1997)。AR 支援的人機互動也開

始應用於生活和學習活動，從上述要點分析其對於學習所帶來的益處，其一之將虛擬物與現實結合，AR 技術可以透過虛擬影像和實體情境的重疊體驗，讓無法親身經歷或親臨場域的使用者獲得現場般的學習體驗 (Billinghurst, Grasset, & Looser, 2005)；其二之即時互動，導入 AR 的學習環境有助於他們更專注於互動、情境和協同學習 (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009)；其三之三維，AR 技術不僅能夠呈現 2D 影像，且能夠呈現立體物像，也因此提供使用者多重感官刺激的模擬情境，即應用 AR 的成像技術以虛擬方式重疊至真實場景，能協助學生學習抽象概念的知識 (Kesim & Ozarslan, 2012)，更有許多探討 AR 融入教學研究，並有國外研究者 (Estapa & Nadolny, 2015) 提出其能促進數學學習。

當 AR 技術被作為教學工具時，對於教師及學生具便利性外，更能有效率地達到適性教學及配合學生學習速率，其相關優勢歸納如下（王明志，2013；李來春、郝光中，2013；陳志鴻、許庭嘉、鄭立娜，2017；陳淳迪、李志唐，2013；蕭英勵，2014；錢昭萍、梁麗珍、黃國豪、黃恆霖，2017；Ariyana & Wuryandari, 2012；Billinghurst & Dünser, 2012；Lee, 2012；Salmi, Kaasinen, & Kallunki, 2012）：

1. 增進學習動機：AR 是新型態的學習工具，同多媒體教材能結合聲光或動畫影像，讓學生感受多重感官刺激，但其特性為產生一種視覺上的「驚喜」與「突出」，讓教材內容大於其他刺激，引起學生注意力。



2. 個別化學習：AR 技術融入教學，與多媒體教學同樣重視學生是否能依照自身能力、興趣及學習速率等，進行個別化學習，且其在學生掌握自身學習進度上有更高的自由度，如 AR 結合真實場景之數學步道，學生可以選擇自身想進行的學習路徑。對於教師而言，其能多元化呈現教學內容，甚至突破以往立體物件或透視圖等較難呈現之抽象概念能直接呈現在學生眼前。
3. 提升學習成效：如上述，AR 能增進學習動機及能讓學生自身掌握學習速率，在學習過程中，能降低學習焦慮或習得無助感，故能有效提升學習成效，並透過 AR 建立自主學習能力。
4. 突破時間及空間限制：AR 除了能與現實場景結合外，其同樣能建置身歷其境的虛擬環境，如夜空、太空行星運作或名勝古蹟，搭配軟體或載具，進行相關情境模擬教學時，給予學生更強烈的真實感及沉浸感。

綜合以上所述，AR 作為一種新型態的學習工具，幫助學生更有效地參與課程，或增進對環境探索經驗；而 AR 融入教學則能藉由多媒體教材共通的優點，結合多重感官刺激呈現教材，提升注意力，且搭配學生自身學習速率給予其反覆練習或即時回饋，提升學習動機。

（二）AR 應用於數學學習相關實證研究

近年來，國內探討 AR 融入數學學習相關研究上，主要搭配教學媒介有三種，一為搭配桌遊教具（沈明明，2018；陶淑媛、莊宗嚴，2015）；二為利用紙本教材加上 AR 標記（李穎漢，2018；辛芸芸，2018；陳虹霏，2017；曾慈祥，2018；廖翊廷，

2016；趙文鴻，2018；鄭竹君，2018；鍾敏綺，2019；羅賴煊，2016）；三為利用真實世界場景中加入 AR 標記（楊佑盛，2018）。上述文獻雖有達至 10 篇以上，但研究者大多將 AR 技術融入幾何領域進行教學（李穎漢，2018；沈明明，2018；辛芸芸，2018；陳虹霏，2017；廖翊廷，2016；趙文鴻，2018），且應用於 SLD 學生之研究僅 1 篇（李穎漢，2018）；國外 AR 技術融入數學學習也多應用於幾何領域（Amir, Chotimah, Afandi, Rudyanto, & Anshori, 2018; Cahyono, Firdaus, Budiman, & Wati, 2018; Chao & Chang, 2018; Chao, Yang, & Chang, 2018; van der Stappen et al., 2019），但與國內不同的是，其教學媒介多採用可組裝教具（如積木、方塊）或搭配多媒體素材（如立體透視圖）等，不僅讓同學可以自我操作加強抽象概念的習得且非常強調課堂上同儕間的合作學習。AR 技術在數與量領域中則是應用在較抽象的概念上，如使用 AR 技術將分數概念上的圖形及概念增加到真實影像中，學生學習結果獲得顯著改善（Chung & Wang, 2018），而在特殊需求學生應用上，透過 AR 技術向其教師提供輔助生活中計算和相關基本概念教材模組以輔助特殊教育學生（Kellems, Cacciatore, & Osborne, 2019），目前國內外針對國小 SLD 學生在數學學習之數與量領域設計的 AR 專門教材甚少，故本研究將透過 AR 技術開發數與量領域——比與比值單元教材，以供學生了解抽象概念。

綜合以上文獻所述，AR 應用於教學有提升學生學習動機、興趣、信心或學習成效之功用，從 AR 之教學特色來看，AR 可促進資訊的真實性，與紙本或真實環境



結合的影像疊加效果，讓智慧校園能藉由 AR 發展出沈浸式學習環境，以供自主學習。本研究希望透過 APP 之 Hp Reveal 設計出 AR 數學比與比值教材，透過 AR 三要點，將虛擬物與現實結合，結合課本或講義之紙本教材，讓學生依舊可以不脫離紙本學習；即時互動，利用 AR 技術提升學生學習動機及興趣降低學生分心於學習或學習教材外；三維，在擴充的實境中，加入輔助圖像、文字或輔助線來指引學生解題，提升學習成效。除了依循上述要點設計出適合 SLD 使用之 AR 數學教材外，也希望本教材能因應智慧校園之學習新型態，給予特殊生提供自主、合作學習和社群活動等合適的學習。

參、方法與步驟

一、受試者

本研究之受試者採立意取樣，研究者於代課之新竹市某國小資源班中篩選出具有數學學習困難及注意力問題之 SLD 學生，共計 4 位受試者。篩選測驗結果及受試者特質描述如下：

魏氏兒童智力量表第四版（陳榮華、陳心怡，2007）的全量表智商(FSIQ)70 以上，顯示智力正常；ADHD-S 第一部份之注意力缺陷高於切截數；第二部分之過動與衝動及全量表分數上低於切截數，顯示僅有注意力問題；MDA 全測驗分數小於或等於其年段之切截分數，顯示有數學學習困難。符合上述標準，其即為本研究所認定之 SLD 學生，且經家長填寫同意書准許進行教學研究後，始為受試者，如表 3。

受試者皆為六年級學生，受試甲是男生，學習態度較被動；受試乙是男生，能主動學習；受試丙是男生，學習態度消極；受試丁是女生，亦能主動學習。對於閱讀能力，已施測中文年級認字量表，受試甲、受試乙和受試丁達到自己所屬的年級分數，受試丙則是落後一個年級。

綜上所述，四位受試者雖在智力表現上皆顯示正常，但在 MDA 測驗顯示有數學相關困難，且在 ADHD-S 中亦有注意力的問題，在閱讀能力方面雖有差異，但已足夠應付符合該年級之數學應用問題，故將其四位受試者加入本研究當中。

表 3

四位受試者之篩選結果

受試者	性別	WISC-IV	ADHD-S			MDA
		PR/FSIQ	I	II	全量表	全測驗分數（甲式）
		(PR/切截數)				(PR/原始分數/切截數)
甲	女	14/84	90/87	47/86	73/89	8/29/30
乙	女	18/86	88/87	34/86	65/89	7/27/30
丙	女	12/82	89/87	55/86	74/89	8/30/30
丁	男	16/85	91/87	63/86	79/89	7/28/30

註：ADHD-S 中，大於切截數顯示該向度有 ADHD 問題；MDA 切截數以原始分數為準，當原始分數小於切截數顯示數學在該向度學習有困難。



二、工具

(一) 篩選工具

採用魏氏兒童智力量表第四版(陳榮華、陳心怡, 2007)、中文年級認字量表(黃秀霜, 2001)、閱讀理解困難篩選測驗(柯華葳, 1999)、學前至九年級注意力缺陷過動症學生行為特徵篩選量表(ADHD-S/K-9)(孟瑛如、簡吟文、陳虹君, 2016)及MDA(於研究工具處說明)

(二) 評量工具

1. 國民小學五至六年級數學診斷測驗 (Elementary School Mathematics Diagnostic Assessment/Grades 5-6, MDA)

本測驗由孟瑛如、簡吟文、邱佳寧、陳虹君與周文聿(2015)等人編製, 有甲式、乙式、丙式與丁式共四式測驗, 其內容均包含計算、幾何、數量比較、圖表與應用五個分測驗, 了解學生在各向度以及整體能力之優弱勢表現, 全測驗內部一致性 α 係數介在 .895 至 .910 之間, 顯示有良好的內部一致性; 以甲式——乙式、丙式——丁式各兩式建立複本, 複本全測驗之相關介在 .858 至 .859 之間, 顯示有良好之複本信度。

2. 數學學習成效測驗

本測驗為研究者自編並由國小數學科教師、資源班教師及專家進行內容效度評估, 並以某國小六年級學生為預試對象, 共 66 人。庫李信度為 .70, 難度值介於 0.5 至 0.8, 鑑別度介於 0.4 至 1, 堪稱良好。在分析預試結果且修正後, 即成為正式測驗題。

3. 課堂注意力行為檢核表

本研究課堂注意力行為檢核表改編至課堂觀察記錄表(簡吟文、孟瑛如, 2009),

並由國小普通班教師、資源班教師及專家針對本檢核表之注意力向度進行內容效度評估, 信度方面, 研究者邀請一位國小特教老師擔任觀察員, 正式觀察紀錄前, 與觀察員評分者間信度對於目標行為之一致性達 .90 以上; 正式觀察記錄時, 方由研究者與觀察員透過錄影帶觀察, 針對課堂中學生注意力表現進行觀察紀錄。本記錄表主要紀錄研究期間之學生注意力行為表現。本研究觀察記錄採反應時距紀錄法, 以紀錄受試者專心注意行為發生的次數, 同一時距只要符合三個向度的任何一個向度, 則觀察者在該目標行為作劃記, 同時, 在同一時距內達到三個向度的觀察行為, 表示該時距達到課堂注意力的標準。

(1) 認知注意力向度(改編自 Kaplan & Carter, 1995)

一為圖畫注意力, 眼睛能夠注視教學示範或教學材料並能找出其中所稱之特定物品、目標。圖畫注意力向度是觀察受試者對教材的觀察與記憶, 區分出結構排列的相異圖片, 最後將接收到的教材訊息歸類的的能力; 二為語文注意力, 專心聽從教師講解的語句, 如能從教師的一句話中找到特定訊息, 抓到說話的重點等。語文注意力向度是觀察受試者對於語文訊息的接收與記憶及搜尋語文訊息的錯誤的能力; 三為推理注意力, 聽從教師指令完成動作, 如按照指令劃記重點、思考如何按照解題步驟作答等。推理注意力向度是觀察受試者搜尋動態的指定訊息, 將接收到的教材訊息流暢性排列及整理的能力。

(2) 記錄方式

課堂開始後第十分鐘至第三十分鐘, 時間共 20 分鐘, 進行觀察並記錄。採反應



時距紀錄法，以每 1 分鐘為一個觀察時距，觀察受試者在時距中只要符合三個向度，即為有課堂注意力成效。總計達到時距中的注意力行為，即三向度行為的出現次數總和。

4. 認知負荷測量表

本研究採用自編之認知負荷測量表。本表主要紀錄研究期間之學生學習反應表現，分別為學習正確比率及反應時間。由國小普通班教師、資源班教師及專家進行內容效度評估，信度方面，研究者邀請一位國小特教老師擔任觀察員，正式觀察紀錄前，與觀察員評分者間信度對於目標行為之一致性達 .90 以上；正式觀察紀錄時，方由研究者與觀察員透過錄影帶觀察，針對課堂中學生學習反應表現進行觀察紀錄。研究者透過研究期間之課堂錄像，紀錄學生的學習反應表現，紀錄內容為學生在研究期間中使用一般教材、AR

教材或測驗卷時，對於比與比值相關題型的學習正確比率及反應時間；紀錄方式以教學方式之時間（詳見表 4）做紀錄間隔，統計學生在該節次中相關题目的學習正確比率及反應時間之平均。

三、研究設計

本研究依照緒論、相關文獻及受試者，決定採用單一受試研究法中之「撤回設計(ABM)」。研究以教材類別（一般教材／AR 教材）作為自變項介入，探討 SLD 學生在學習成效及課堂注意力成效改變情形，研究架構參考圖 1。

（一）自變項

本研究自變項為比與比值的 AR 數學教材，依《十二年國民基本教育課程綱要——數學領域》（教育部，2018）及《十二年國民基本教育身心障礙相關之特殊需求領域課程綱要》（教育部，2019）等相關內容進行課程教材設計（參見表 5 及表 6）。

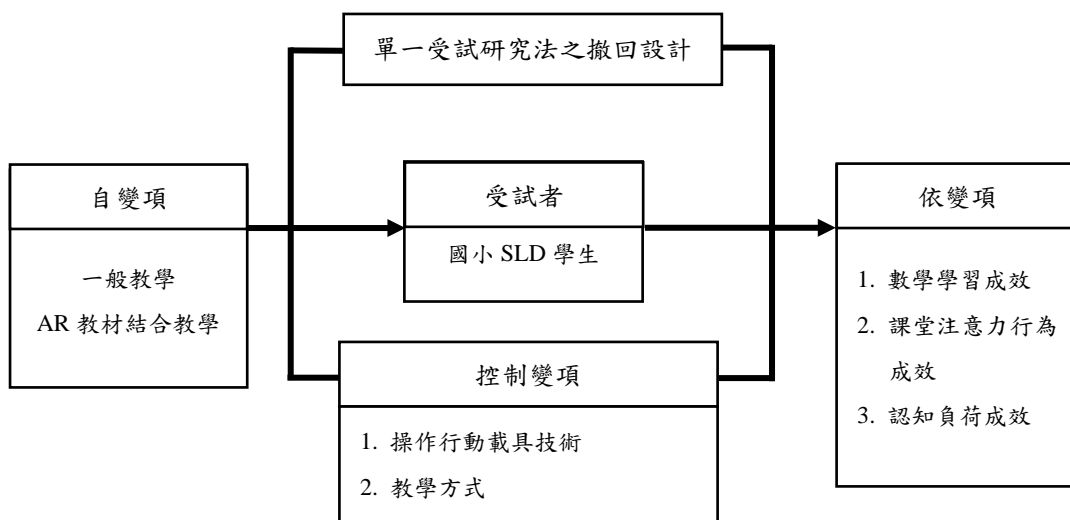


圖 1 研究架構。



(二) 依變項

本研究之依變項有三，一為學習成效改變情形；二為課堂注意力成效改變情形；三為認知負荷成效改變情形。學習成效改變情形有二，一為透過施測 MDA 複本並比較前後測；二為透過自編「數學學習成效測驗」，於研究期間評量學生的成績數據統計。課堂注意力改變情形為透過改編「課堂注意力行為檢核表」(簡吟文、孟瑛如, 2009)，於研究期間以直接觀察或錄影的方式做紀錄，再經由研究者現場與事後統計次數；三為認知負荷測量，學習結果測量利用錄影的方式蒐集學生在不同節次學習反應時間以及學習正確比率資料。

(三) 控制變項

本研究之控制變項有二，其中之一為操作行動載具技術。本研究以 Hp Reveal

之 APP，使用平板電腦為載具，為使課程流暢進行，於介入期開始前，統一為受試者進行說明操作與訓練乙次。另一控制變項為教學方式。研究期間皆採用以下教學流程之時間分配(詳見表 4)處理班務及說明課堂規則為 2 分鐘，引起動機為 3 分鐘，教學活動為 20 分鐘，綜合活動為 5 分鐘，測驗時間為 10 分鐘，共計 40 分鐘。

(四) 研究教材設計

以平板電腦作為本研究之使用 AR 技術之載具，AR 教材以平板電腦為載具。關於比與比值 AR 數學教材之介紹分為教材之各單元主題內容介紹，如表 5 及比例式解題之擴增實境教材設計介紹，如表 6。

表 4

教學方式之時間表

	基線期／維持期	介入期
0—2 分鐘	處理班務及說明課堂規則	
2—5 分鐘	引起動機	
5—25 分鐘	一般教學	AR 教材搭配教學
25—30 分鐘	綜合活動	
30—40 分鐘	測驗時間	

表 5




教材之各單元主題內容

節次	主題內容
一	認識比例與比值、以分數或小數表示比值與運用比值比較大小。
二	相等的比、相等的比運算、利用相等的比求未知數與最簡單整數比。
三	依照題意列出比例式並解題。
四	認識正比、利用正比關係式解題。
五	繪製正比關係圖。



表 6

比例式解題之擴增實境教材設計

圖例	說明
$2 : 5 = 6 : \square$	<p>以雙通道接收訊息為例，學習者以口頭讀題或視覺觀察紙本教材，並以聽覺聆聽教師指導語。教材上除必要文字、數字及符號，盡量減少學習者不必要的資訊阻礙。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$	<p>在擴增新的解題步驟後，教師同步說出指導語，讓學生更容易做資訊的整合。解題步驟出現後，將題目敘述明度減少，加強學習者專注於解題步驟中。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $= 6 : \square$	<p>將題目從左右兩式轉換成上下兩式，更讓學生減少前後式之前後項配對錯誤機率。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$  $= 6 : \square$	<p>版面中，一次顯示一個輔助箭頭，別於課本教材中一次使用兩個輔助箭頭，使學生更易明白現在處理哪一項的數字倍數關係。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $\times ()$  $= 6 : \square$	<p>相關的數字倍數關係運算出現在輔助圖形附近，透過空間接近原則以避免分散學生注意力。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $\times (3)$  $= 6 : \square$	<p>以括弧形式區別題目之空框形式，讓學生瞭解此為解題步驟的一環，而非最後所求之答案。</p>

(續下頁)



表 6

比例式解題之擴增實境教材設計 (續)

$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $\times (3) \quad \times ()$ $= 6 : \square$	<p>找出兩式前項數字倍數關係後，即等同於找出兩式後項之數字倍數關係。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $\times (3) \quad \downarrow \times (3)$ $= 6 : \square$	<p>確認完兩式前後式之數字倍數關係後，即顯示最後一步驟之輔助箭頭。</p>
$2 : 5 = 6 : \square$ $2 : 5$ $\times (3) \quad \downarrow \quad \downarrow \times (3)$ $= 6 : \boxed{15}$	<p>藉由解題步驟將答案填入空框中，求出答案，結束作答。 比例式運算為比與比值最重要之技能，透過先對此進行運算輔助練習後再加以應用。</p>

四、實施程序

(一) 基線期

基線期的資料建立為每週 3 次，共 8 次。本階段進行比與比值單元的一般教學並於每次課堂教學結束後蒐集數學學習成效測驗，待本期結束，讓受試者接受 MDA 作為前測成績。

利用攝影設備紀錄受試者課堂注意力，根據行為檢核表，蒐集學生行為現況。觀察時間為扣除每堂課前後 10 分鐘，意即僅觀察上課 10 分鐘至上課 30 分鐘，共計 20 分鐘；利用攝影設備紀錄受試者認知負荷成效。

(二) 介入期

介入期資料的建立為每週 3 次，共 8 次。本階段進行比與比值 AR 教材搭配教學，數學學習成效測驗、課堂注意力行為檢核表、認知負荷測量表的資料蒐集方式皆與基線期相同。

(三) 維持期

維持期資料建立時間為介入期結束後兩週始，每週 3 次，共 8 次。本階段數學學習成效測驗蒐集方式為利用早自修外加課施予比與比值相關測驗；課堂注意力資料蒐集方式則與前兩階段相同，但為搭配受試者原班教學進度而在進行圓面積單元之課堂教學時蒐集資料；認知負荷成效續以比與比值測驗為蒐集資料。



五、資料統計分析

本研究資料統計分析依照本研究依變項說明如下。

(一) 數學學習成效

本研究數學學習成效有二，一為利用自編數學學習成效測驗在每次教學介入後進行測驗並蒐集資料，並將其彙整為視覺化之折線圖並藉由視覺分析進行資料處理；二為利用 MDA 標準化測驗之甲乙複本於前後測使用。使用上述兩種評量工具瞭解本研究自變項對受試者之數學學習成效。

(二) 課堂注意力行為成效

本研究所指課堂注意力行為成效為利用本研究改編之課堂注意力行為檢核表觀看每次教學紀錄影片進行課堂注意力行為資料蒐集，並將其彙整為視覺化之折線圖並藉由視覺分析進行資料處理，瞭解本研究自變項對受試者之課堂注意力行為成效。

(三) 認知負荷成效

本研究所指認知負荷成效為利用本研究自編之認知負荷測量表觀看教學紀錄影片進行學習反應表現資料蒐集，並將其彙整為表格並藉由描述統計進行資料處理，瞭解本研究自變項對受試者之認知負荷成效。

肆、研究結果與討論

一、AR 數學教材之學習成效分析

針對圖 2、表 7 及表 8 呈現資料，將 4 位受試者在學習成效表現結果分別摘要，並進行討論敘述如下。

(一) 受試者甲

基線期進入介入期時，比與比值測驗結果平均提升 43.7，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對學習成效是有效的，*C* 統計分析後，基線期到介入期的 *z* 值為 3.501 ($p < .01$)，達顯著水準，由此可知受試者甲在接受研究介入後，其學習成效表現確實有正向的效果。

介入期進入維持期階段中，比與比值測驗結果平均提升 1.9，重疊百分比達 100%，介入期到維持期的 *z* 值為-.031 ($p > .05$)，未達顯著水準，顯示比與比值學習成效具維持效果。

(二) 受試者乙

在基線期進入介入期時，比與比值測驗結果平均提升 48.2，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對學習成效是有效的，*C* 統計分析後，基線期到介入期的 *z* 值為 3.461 ($p < .01$)，達顯著水準，由此可知受試者乙在接受研究介入後，其學習成效表現確實有正向的效果。

介入期進入維持期階段中，比與比值測驗結果平均提升 4.3，重疊百分比達 75%，介入期到維持期的 *z* 值為.889 ($p > .05$)，未達顯著水準，顯示比與比值學習成效具維持效果。

(三) 受試者丙

在基線期進入介入期時，比與比值測驗結果平均提升 51.3，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對學習成效是有效的，*C* 統計分析後，基線期到介入期的 *z* 值為 3.332 ($p < .01$)，達顯著水準，由此可知受試者丙在接受研究介入後，其學習成效表現確實有正向的效果。介入期進入維持期階段中，比與比值測驗結果平均



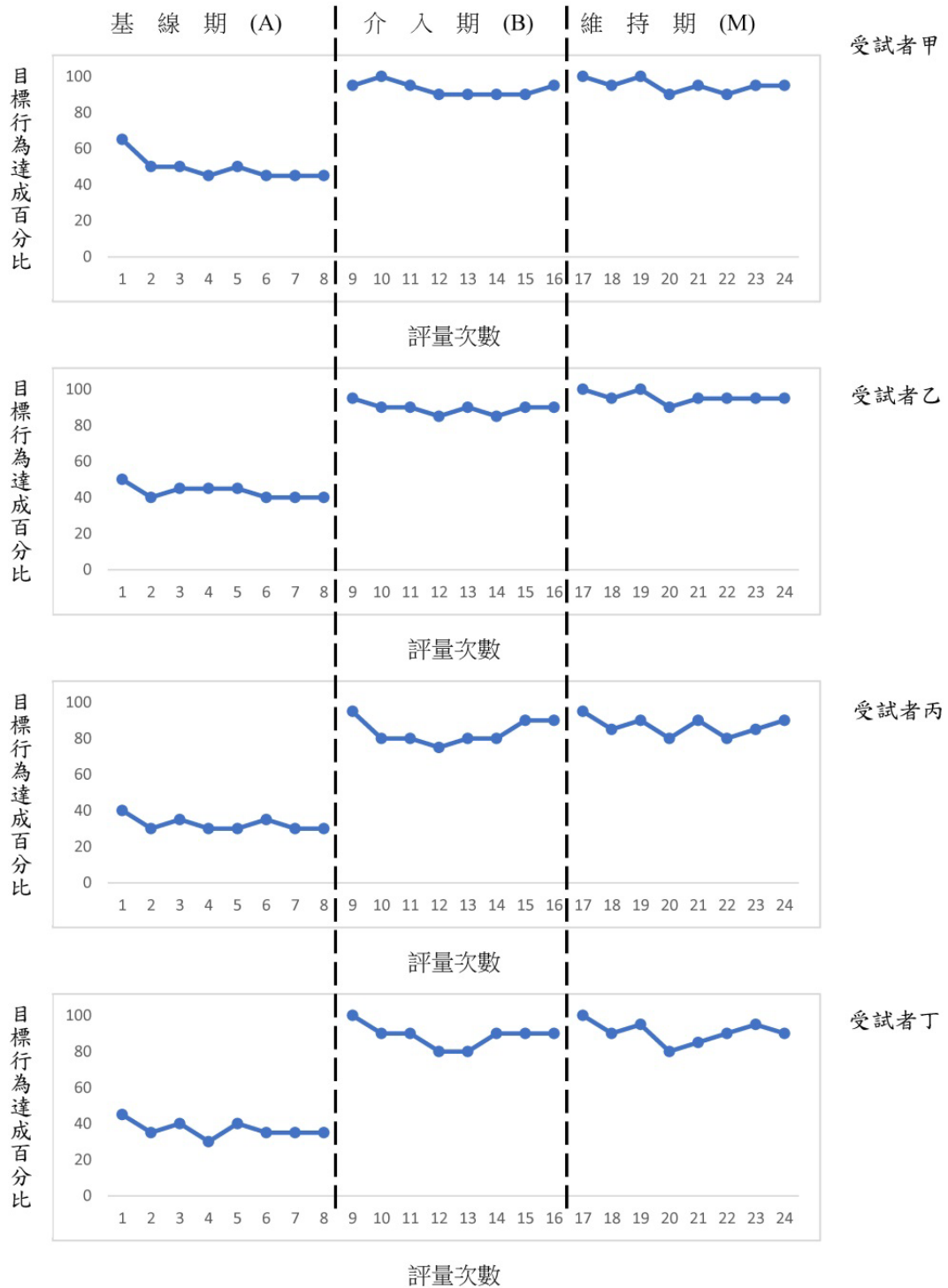


圖2 四位受試者之 AR 數學教材介入後的學習成效。



提升 3.1，重疊百分比達 100%，介入期到維持期的 z 值為 .733 ($p > .05$)，未達顯著水準，顯示比與比值學習成效是具有維持效果的。

(四) 受試者丁

在基線期進入介入期時，比與比值測驗結果平均提升 51.9，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對學習成效是有效的， C 統計分析後，基線期到介入期的 z 值為 3.339 ($p < .01$)，達顯著水準，由此可知受試者丁在接受研究介入後，其學習成效表現確實有正向的效果。

介入期進入維持期階段中，比與比值測驗結果平均提升 1.8，重疊百分比達 100%，介入期到維持期的 z 值為 .361 ($p > .05$)，未達顯著水準，顯示比與比值學習成效具維持效果。

(五) MDA

如表 8 所示，受試者在 MDA 之結果皆採用六年級之常模對照。甲式與丙式施測前的差異為是否有進行比與比值之教學，從百分等級分析，受試者甲增加 11；受試者乙增加 8；受試者丙增加 2；受試者丁增加 4，在受試者中，甲與乙百分等級增加較明顯，丙與丁則反之。丙式與丁式施測前的差異為進行 AR 數學教材搭配教學之介入，從百分等級分析，受試者甲增加 9；受試者乙增加 9；受試者丙增加 4；受試者丁增加 6，4 位受試者百分等級皆有增加。顯示其研究教材介入確實有增加學習成效之實。

透過質性資料分析中，測驗中與比與比值直接相關題目為第一部份計算題之第七題。在甲式當中，4 位受試者無人計算

表 7

受試者在階段間學習成效表現之 C 統計分析結果摘要表

受試者	甲		乙		丙		丁	
	C	z	C	z	C	z	C	z
階段 AB	.820	3.501**	.810	3.461**	.781	3.332**	.782	3.339**
階段 BM1	-.5	.301	.208	.889	.172	.733	.084	.361

** $p < .01$.

表 8

受試者在數學成就診斷測驗之結果分析

受試者	全測驗——篩選 (甲式) (PR/原始分數/切截數)	全測驗——前測 (丙式) (PR/原始分數/切截數)	全測驗——後測 (丁式) (PR/原始分數/切截數)
甲	8/29/30	19/34/29	28/37/25
乙	7/27/30	15/32/29	24/35/25
丙	8/30/30	10/29/29	14/27/25
丁	7/28/30	11/30/29	17/29/25

註：切截數以原始分數為準，當原始分數小於切截數顯示數學在該向度學習有困難。



出正確解答；在丙式當中，僅受試者甲計算出正確解答；在丁式當中，4 位受試者皆計算出正確解答，正確率達 100 %，而受試者甲在第一部份的表現較前測增加答對題數一題，顯示其有更充裕時間去計算其他題目。

二、AR 數學教材之課堂注意力成效分析

以下針對圖 3 呈現資料，將 4 位受試者在課堂注意力成效表現結果分別摘要，並進行討論敘述如下。

(一) 受試者甲

在基線期進入介入期時，課堂注意力行為百分比平均提升 33.1，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對課堂注意力成效是正向的，由此可知受試者甲在接受研究介入後，其課堂注意力成效表現確實有提升的效果。

在介入期進入維持期時，課堂注意力行為百分比平均下降 35，重疊百分比為 0%，可知其未使用研究教材介入之課堂注意力成效恢復成基線期之水準。

(二) 受試者乙

在基線期進入介入期時，課堂注意力行為百分比平均提升 38.8，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對課堂注意力成效是正向的，由此可知受試者乙在接受研究介入後，其課堂注意力成效表現確實有提升的效果。

在介入期進入維持期時，課堂注意力行為百分比平均下降 40.7，重疊百分比為 0%，可知其未使用研究教材介入之課堂注意力成效恢復成基線期之水準。

(三) 受試者丙

在基線期進入介入期時，課堂注意力行為百分比平均提升 46.9，重疊百分比為

0%，目視分析結果顯示研究介入對課堂注意力成效是正向的，由此可知受試者丙在接受研究介入後，其課堂注意力成效表現確實有提升的效果。

在介入期進入維持期時，課堂注意力行為百分比平均下降 48.1，重疊百分比為 0%，可知其未使用研究教材介入過之課堂注意力成效恢復成基線期之水準。

(四) 受試者丁

在基線期進入介入期時，課堂注意力行為百分比平均提升 53.1，重疊百分比為 0%，目視分析結果顯示研究介入對課堂注意力成效是正向的，由此可知受試者丁在接受研究介入後，其課堂注意力成效表現確實有提升的效果。

在介入期進入維持期時，課堂注意力行為百分比平均下降 53.8，重疊百分比為 0%，可知其未使用研究教材介入之課堂注意力成效恢復成基線期之水準。

三、認知負荷測量

以下針對學生在研究期間中使用一般教材、AR 教材或測驗卷時，對於比與比值相關題型的學習正確比率及反應時間資料，將 4 位受試者認知負荷測量結果分別摘要，以不同節次（詳見表 5）做為記錄間隔，統計學生在該節次中學習相關題目的平均反應時間及學習正確比率，如表 9，並進行討論敘述如下。

(一) 受試者甲

受試者甲在節次一及二的三個研究階段中，反應時間越來越少，且正確比率也都有大幅的進展；而在節次三是進入到介入期時，反應時間有些微的增加，到了維持期則又下降，正確的比率也有進展；節



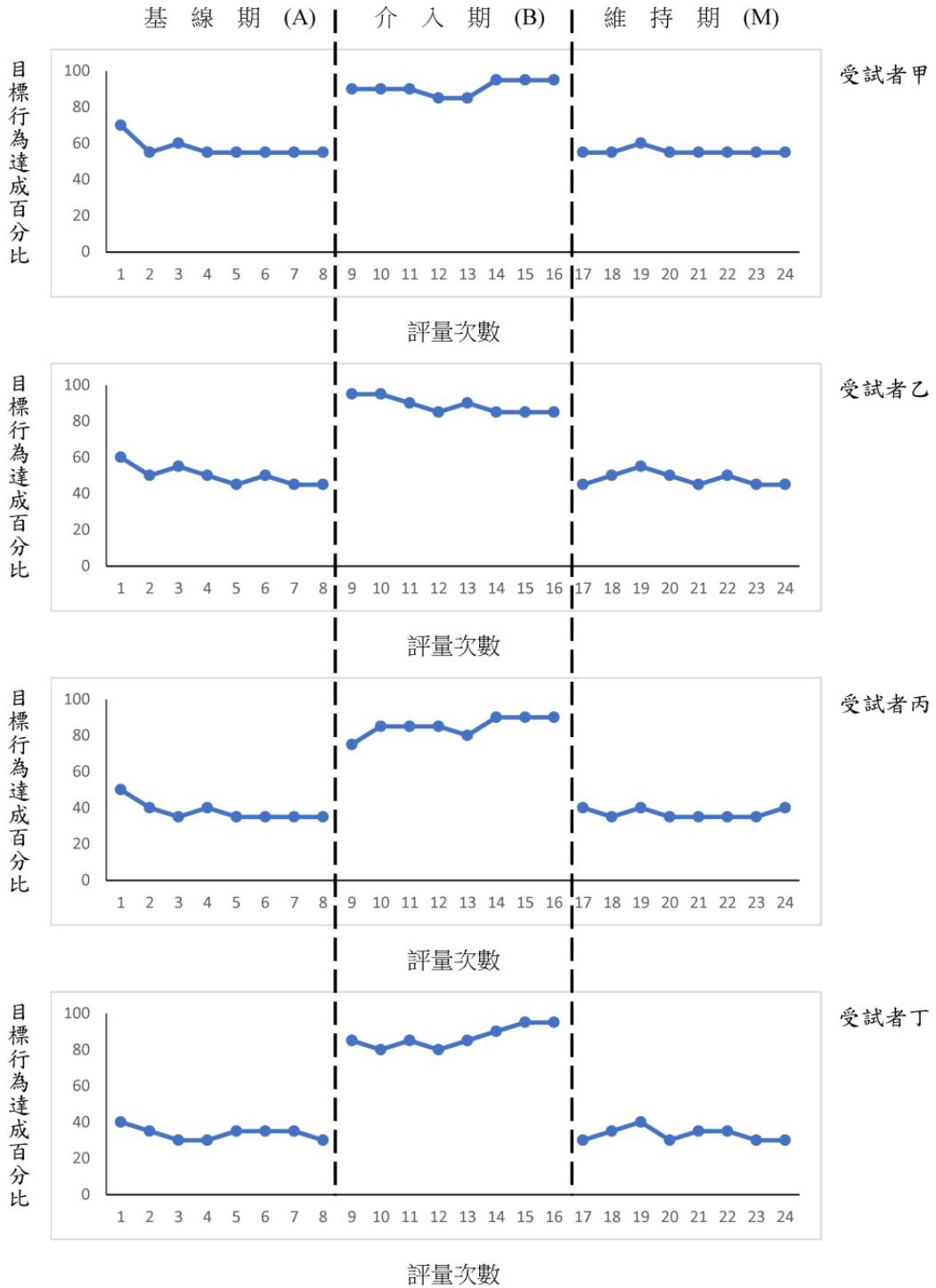


圖 3 四位受試者之 AR 數學教材介入後的學習成效。



表 9

受試者之學習反應時間與正確比率紀錄表

實 驗 期 間	節 次	受試者							
		甲		乙		丙		丁	
		反應時間	正確比率	反應時間	正確比率	反應時間	正確比率	反應時間	正確比率
基 線 期	一	2:15	33	2:04	33	2:15	33	1:36	33
	二	3:18	40	3:03	40	3:18	40	2:59	40
	三	4:52	16	4:35	16	4:52	16	3:55	16
	四	5:30	25	5:12	25	5:30	25	4:49	25
	五	7:03	50	6:23	50	7:03	50	5:40	50
介 入 期	一	2:09	66	1:53	100	2:09	66	1:21	66
	二	3:31	60	3:06	80	3:31	60	2:25	60
	三	5:19	50	4:49	50	5:19	50	4:24	50
	四	5:31	50	5:19	50	5:31	50	4:50	50
	五	5:29	100	5:22	100	5:29	100	5:18	100
維 持 期	一	2:02	100	1:49	100	2:02	100	1:17	100
	二	3:21	80	2:57	80	3:21	80	2:16	80
	三	5:07	66	4:51	66	5:07	66	3:59	66
	四	5:14	75	5:21	75	5:14	75	4:37	75
	五	5:19	100	5:17	100	5:19	100	5:14	100

次四及五則為進入到介入期時下降，在維持期時則又上升，但正確比率皆有進步。

(二) 受試者乙

受試者乙在節次一及五的三個研究階段中，反應時間越來越少，且正確比率也都有大幅的進展；而在節次二是進入到介入期時，反應時間有些微的增加，到了維持期則又下降，正確的比率也有進展；節次三及四則為的三個研究階段中，反應時間越來越增加，但正確比率皆有進步。

(三) 受試者丙

受試者丙在節次一及五的三個研究階段中，反應時間越來越少，且正確比率也都有進展；節次二、三及四則為進入到介入期時上升，在維持期時則下降，但正確比率皆有進步。

(四) 受試者丁

受試者甲在節次一、二及四的三個研究階段中，反應時間越來越少，且正確比率也都有大幅的進展；而在節次三及五則是進入到介入期時，反應時間有些微的增加，到了維持期則又下降，正確的比率也有進展。

四、綜合討論

(一) AR 數學教材搭配教學介入，對國小 SLD 學生在數學課堂的學習成效之改變。

四位受試者在由研究者自編之 AR 數學教材搭配教學介入後，在基線期至介入期之比與比值學習成效有明顯提升效果，且 C 統計達顯著水準($p < .01$)，而在維持期 C 統計未達顯著水準，表示學習擁有保留效果。因學習成效為不可褪除之行爲，



本研究加入標準化測驗，來應證其於基線期後與介入期後之學習確實有成效，而後測百分等級皆有增加，代表學習成效確實有進展，並在比與比值相關題型上，4位受試者其正確率皆達100%。在AR數學教材相關研究當中能發現其對於普通國小學生有學習成效提升效果（沈明明，2018；辛芸芸，2018；陳虹霏，2017；陶淑瑗、莊宗嚴，2015；曾慈祥，2018；楊佑盛，2018；廖翊廷，2016；趙文鴻，2018；羅賴煊，2016；鐘敏綺，2019），對於國小SLD學生的學習成效亦有相同效果（李穎漢，2018）。

綜合以上所述，AR研究教材搭配教學介入對於學生之學習成效確實有顯著的正向影響，而撤除AR教材介入後，恢復一般教學後，其在於相同的目標單元之學習成效表現具維持成效。

（二）AR 數學教材搭配教學介入，對國小 SLD 學生在數學課堂注意力之改變。

四位受試者在由研究者自編之AR數學教材搭配教學介入後，在基線期至介入期之課堂注意力成效有明顯提升效果，但在維持期又恢復成基線期水準，由此可知，此次研究教學介入，並非可使國小SLD學生之課堂注意力成效類化至其他情境，若能進一步延長研究時間，或許有更明顯正向效果呈現。而本研究採用單一受試研究法中的撤回設計，維持期目的在於檢驗相同的目標行為之課堂注意力成效是否會恢復成基線期的情況，就如Cooper、Heron與Heward(2007)所述：「當研究者可以隨意操弄特定變項的介入與撤回，並確信可讓目標行為回復到原先基礎

狀態時，便可清楚的、具說服力的呈現研究的實驗控制。」而課堂注意力為可褪除之行為，故可得知本研究AR教材確實有增進受試者課堂注意力表現之圖畫注意力、語文注意力及推理注意力之功用。

（三）AR 數學教材搭配教學介入，對國小 SLD 學生對數學課堂學習之認知負荷效果。

四位受試者的比與比值五個節次從基線期到維持期的正確比率都有大幅的進展，但是所花費的學習反應時間並不是皆呈現減少的情況。在節次一，四位受試者皆隨著研究進程，反應時間越來越少；在節次二，受試者甲與丁依然隨著研究進程，反應時間越來越少。但受試者乙與丙進入介入期，反應時間有稍微增加，但到了維持期則又下降；在節次三，四位受試者到了介入期，反應時間皆呈現增加，但到了維持期僅有受試者乙反應時間仍呈現增加，其餘則皆減少；在節次四，四位受試者呈現不同情況，受試者甲為先減少後增加，受試者乙為皆呈現增加，受試者丙為先增加後減少，受試者丁則為皆呈現減少；在節次五，受試者甲反應時間呈現先減少後增加，受試者丁呈現先增加後減少，其餘則呈現皆為減少的狀況。受試者的反應時間在節次二、三及四的部分大多呈現增加的狀態，節次三的反应時間尤其明顯，進入到介入期皆為增加的情形。

在國外相關文獻當中提及小學階段數學學習困難的SLD學生在文字題的解題上都會面臨挑戰，並且閱讀理解困難的SLD學生在正確率表現比單純數學學習困難的SLD學生更差(Fuchs & Fuchs, 2002; Hanich, Jordan, Kaplan, & Dick,



2001; Jordan & Hanich, 2000), 但是在有時時間限制的情境下, 兩組學生的正確率表現沒有差異(Jordan & Montani, 1997), 對於認知負荷測量之學習正確比率的結果來看, 其正確比率皆有進展, 且四位受試者分別在基線期、介入期及維持期的正確比率差異不大; 在國內文獻當中, 柯華葳(2005)提及在國小階段的數學學習困難 SLD 經過多次練習, 錯誤率可能為零, 但是短期密集練習並不會使其運算的時間明顯縮短。連文宏與洪麗瑜(2017)其以國中階段的數學學習困難 SLD 之紙本測驗研究提及此類學生的核心能力缺陷為數學事實自動化提取的困難, 此特徵反映在計算速度, 並不影響其計算正確性。以上國內研究結論與本研究認知負荷測量結果相似, 以四位受試者的反應時間來看, 皆未有明顯改變; 而對於 AR 教材介入後的學習正確比率, 四位受試者皆大幅度進展。顯示 SLD 學生雖在計算速度上有其瓶頸, 但正確比率確實可以進展, 故研究者推論本研究 AR 教材確實有增進受試者課堂中學習之成效。

伍、 結論與建議

一、 結論

根據本研究之研究結果, 綜合歸納出結論如下。

(一) AR 數學教材搭配教學介入後, 能提升國小 SLD 學生學習成效

四位受試者進行 AR 數學教材搭配教學介入後, 比與比之學習成效透過目視分析後, 皆有明確的提升, 且透過 C 統計分析後, 4 位受試者在介入期與基線期皆

達顯著水準($p < .01$), 在 MDA 標準化測驗中顯示 4 位受試者之後測較前測之百分等級皆有提升, 且在比與比值相關題型, 4 位受試者正確率皆達 100%, 而在維持階段, 4 位受試者之比與比值學習皆具有保留成效。因此上述結果可以得知: 藉由自編 AR 數學教材進行教學, 能提升國小 SLD 學生之學習成效, 並且具有維持的效果。

(二) AR 數學教材搭配教學介入後, 能使國小 SLD 學生課堂注意力表現具有正向提升的效果

四位受試者進行 AR 數學教材搭配教學介入後, 課堂注意力成效透過目視分析後, 皆有明確的提升。因此由上述結果可以得知: 受試者藉由 AR 數學教材搭配教學介入後, 能使國小 SLD 學生在課堂注意力表現之圖畫注意力、語文注意力及推理注意力向度皆具有立即正向提升的效果。

(三) AR 數學教材搭配教學介入, 對於受試者認知負荷有個別差異

雖 4 名受試者針對 AR 研究教材的教學介入方案之耗費反應時間不盡相同, 尤其在需要計算的節次上耗費更久, 但四位受試者的正確比率皆有進展, 顯示 SLD 學生在計算上雖有其瓶頸, 但每個人的正確比率卻都能往上提升, 可以得知本教材確實能讓學生依照其自身的學習速率, 並且在學習上取得進展, 若能在執行時間上更持續, 或更具系統性與完整性的介入, 在學習效果上或可更顯著。基於以上結果, 研究者推論 AR 比與比值教材可降低 SLD 學生的認知負荷量, 但對於縮短 SLD 學生在教材上所耗費的時間等, 需要透過其他儀器, 如眼動儀等加入, 深入研究了解更



適合 SLD 的教材編排方式為何；或者加入自陳量表評估，有研究者就主觀衡量法和生理衡量法進行比較，發現主觀衡量法在認知負荷的測量上，其效度、信度、敏感度上，都較生理衡量法更具實用與可行性 (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)

綜合以上所述，本 AR 數學教材搭配教學介入後，幫助國小 SLD 學生立即提升學習成效並具有維持成效及課堂注意力也同樣具有立即成效。透過課堂注意力行爲檢核觀察，受試者在使用 AR 數學教材時，別於使用一般課本紙本教學，受試者能投入更多的注意力於教材及教師的指令上，並更容易運用從教材上獲得的訊息及適當地操作教材以達到學習目標；透過標準化測驗檢驗，也顯示其學習成效確實有進展；從認知負荷測量，更能瞭解學生對於本教材使用上的個別化。研究者推論本教材利用 AR 技術融入其中引起受試者提升課堂注意力，並透過學生自身的學習速率去學習由簡至難編排的教材，讓受試者能獲得成功經驗，願意繼續學習，以致本研究之學習成效良好。

二、建議

根據研究結果、討論及結論後，針對教學工作者及未來研究者，給予以下研究建議。

(一) 對教學者的建議

1. 教材內容應有逐步累積之系統性發展

多媒體教材之內容編製應有逐步累積之系統性發展並搭配學生的能力發展，先以具體物品呈現，再加入半具體概念，最後慢慢轉換到抽象概念之漸進式教學，讓學生能從基礎開始學習，如本研究 AR 教材即是先以具體增強物搭配點數兌換之概

念引導進入半抽象之概念，最後才呈現正比與關係圖之抽象概念；而教材編排則需以由簡入難，提供學生之成功經驗，SLD 學生常因學習上遇到太多挫折與失敗，往往會抗拒進而降低動機。在本研究中證實 SLD 學生在接受 AR 教材搭配教學介入後，其學習成效與課堂注意力成效的表現能有效提升。因此對於教學人員在欲進行比與比值教學前，可參考本研究的 AR 教材融入教學的方式，除了可提升 SLD 學生的學習成效和課堂注意力成效外，更可令學生數學學習焦慮降低，進而提升學習動機。

2. 教材問題情境應以學生需求爲設計依據

教材應利用學生生活經驗做情境布題並使用問題提示方式，而在文字及語音提示方式皆應以直敘句，同時符合重點、簡單、清楚、正向及可行，讓學生能清楚明瞭提示並引起其學習動機，如以口語提示，則聲調力求輕快活潑且不宜太多，讓學生能專注於教材文字上；題目編製以引導式序列問題的方式呈現，由學生依照問題的順序將答案利用自我思考方式得出，本教材呈現方式即是以提示方式，即給予學生輔助而讓學生自身思考有何解題方式。如比例式的前後式關係能以除法也能以乘法得出關係，故本教材即給予一個提示空格給予學生自行填入運算符號；教材內容呈現也儘量以一題一畫面呈現，此作法能使教師更明白學生目前的學習狀況，如發現學生停滯解題或提出問題，教師能更快的給予協助或提示；針對學生學習困難給予支持策略，設計不同類型及數量的題目給予練習，讓學生能依照自己的速率



學習，達到可獨立解決與完成問題。如本教材即設計許多不同類型的題目，且每種類型的數量超過教學以及測驗之需，並針對學生學習之需給予不同提示，讓學生能自行反覆練習。本研究之 AR 教材，研究結果證實能有效提升 SLD 學生的學習成效及課堂注意力成效，針對學生不同的學習優弱勢及個別需求，給予不同的支持策略。

3. 教材介面設計應考慮學習者操作能力

本研究教學介入採用 Hp Reveal 之 APP，進行 AR 融入教學介入前須注意介面應單純呈現並力求流暢且在操作螢幕空間是否足夠學生能方便且流暢的計算，讓 SLD 學生不因無謂的等待或畫面複雜失去課堂注意力，而介面設計應顏色對比分明且強調重點之目視提示，如本教材設計即為一開始以圖片、數字或文字布題後，帶學生閱讀完畢進入解題引導時，圖片、數字或文字布題之明度立刻下降，進而對比出解題引導文字之明度，讓學生可以轉移注意力至強調重點上；此外載具的選擇也建議以搭配可移動之載具，如智慧型手機、平板電腦或頭戴式裝置等，AR 教材相較於傳統及多媒體教材擁有更大的即時性、便利性、類化性及創新性，因其能更完美地搭配行動載具、情境感知技術和無線通訊做結合，以支援真實的學習環境，創造讓學習者能夠隨時隨地進行學習 (Chin, Lee, & Chen, 2017)，創造學習無所不在的智慧校園。

(二) 對未來相關研究的建議

1. 受試者

本研究之受試者僅針對 4 位六年級 SLD 學生，研究結果推論有限，未來可採

實驗法或準實驗研究法進行大樣本的研究；針對不同年級學生或擴及其他類別的特殊兒童，比如輕度智能障礙或注意力缺陷過動症兒童，以了解不同年級學生及不同障礙類別學生的 AR 教材介入成效。

2. 研究實施

(1) 研究時間

本研究在設計上，基線期、介入期及維持期共持續約進行了 8 週，在介入期時一週進行 3 次研究介入，雖與一般研究相差不多，但整體上看來時間稍嫌過短，建議未來研究可搭配不同教材單元介入，進行較長時間的觀察與評量，對於學生的學習狀況及課堂注意力穩定度能更加掌握。

(2) 研究設計

本研究教材及評量題目上之排版及文字設計，在未來研究可透過認知負荷理論探討文字、圖片、排版及動畫之互動元素呈現方式對於國小 SLD 學生及其他特殊學生之影響，並找出適合學生的呈現方式，以增進學習成效；或者是對照使用普通教材與使用 AR 教材其對於錯誤題型的修正需求時間及類型，尋找學生的錯誤類型及其對於教材認知負荷的需求為何。

本研究資料採人為觀察紀錄以及測驗分數蒐集，其一關於認知負荷測量部分建議能加入主觀測量之自陳心智努力或自陳壓力等自評問卷；其二建議能加入科技儀器，如大數據之使用者行為分析工具紀錄學生在使用本教材時，其讀題及作答所需之反應時間或其在使用本教材的游標（觸控）使用軌跡及作答後之分數統計比較，就能更準確地分析學生的學習歷程，將 AR 教材搭配大數據分析工具，並將 AR 教材的標記物融入校園中，使其成為智慧



型學習工具，讓特殊生也能在智慧校園中，體會無所不在的學習，並且給予其提供自主、合作學習和社群活動等合適的學習空間。

參考文獻

- 王立志、張藝闡、何美慧(2011)。從注意力的成分探討學習障礙學生與注意力缺陷過動症學生在鑑定與教學上的迷思。載於中華民國特殊教育學會(主編)，*中華民國特殊教育學會2011年刊：迎向素養導向的特殊教育*(頁331-360)。doi: 10.6379/AJSE.201112.0331
- 王明志(2013)。運用地理資訊與擴增實境技術整備社會科數位教材之研究。*國教新知*, 60(1), 21-29。doi: 10.6701/TEEJ.201303_60(1).0003
- 李來春、郝光中(2013)。擴增實境應用於互動式英語教材教學之研究——以國小五年級英語三個單元為例。*國際數位媒體設計學刊*, 5(1), 51-64。
- 李穎漢(2018)。擴增實境對國小學習障礙學生體積學習成效之研究(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 沈明明(2018)。基於學習風格之適性化擴增實境桌上遊戲對國小學生周長與面積學習成效之影響(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 身心障礙及資賦優異學生鑑定辦法(2013年9月2日)。
- 辛芸芸(2018)。穿戴式裝置結合發現學習策略對師生於幾何教與學之影響(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 孟瑛如、簡吟文(2014a)。由DSM-5的改變談學習障礙未來的鑑定與教學輔導趨勢。*輔導季刊*, 50(4), 28-34。
- 孟瑛如、簡吟文(2014b)。孩子可以比你想象的更專心：談注意力訓練。臺北市：心理。
- 孟瑛如、簡吟文、邱佳寧、陳虹君、周文聿(2015)。國民小學五至六年級數學診斷測驗。臺北市：心理。
- 孟瑛如、簡吟文、陳虹君(2016)。學前至九年級注意力缺陷過動症學生行為特徵篩選量表。臺北市：心理。
- 林鉉宇、劉國政、張文典、洪福源(2012)。特殊需求學生之注意力表現探究。*身心障礙研究*, 10(3), 179-195。
- 林福來、郭汾派、林光賢(1986)。國中生比例概念發展。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(編號：NSC74-0111-S003-02)，未出版。



- 柯華葳(1999)。閱讀理解困難篩選測驗。臺北市：行政院國家科學委員會特殊教育工作小組。
- 柯華葳(2005)。數學學習障礙學生診斷與確認。《特殊教育研究學刊》，29，113－126。doi: 10.6172/BSE200509.2901006
- 張春興(1989)。《張氏心理學辭典》。臺北市：東華。
- 張菀珍(2015)。運用 AR 學習系統輔助大學生地方宗教民俗文化學習成效之探究。《數位學習科技期刊》，7(3)，43－81。doi: 10.3966/2071260X2015070703003
- 張菀珍、吳明騰、陳景章、陳星宏、王盈翔(2012)。應用無所不在多媒體學習系統於大學生人際關係之研究。「2012 臺灣網際網路研討會」發表之論文，銘傳大學。
- 張菀珍、葉榮木(2012)。應用無所不在多媒體學習系統於大學生情緒管理之研究。「2012 臺灣數位學習發展研討會」發表之論文，國立成功大學。
- 教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要——數學領域。取自 <https://www.k12ea.gov.tw/Tw/Common/SinglePage?filter=11C2C6C1-D64E-475E-916B-D20C83896343>
- 教育部(2019)。十二年國民基本教育身心障礙相關之特殊需求領域課程綱要。取自 <https://www.k12ea.gov.tw/Tw/Common/SinglePage?filter=11C2C6C1-D64E-475E-916B-D20C83896343>
- 連文宏、洪儷瑜(2017)。數學學障與數學合併閱讀障礙國中生計算能力表現之特徵及其差異分析。《臺灣數學教育學刊》，4(1)，35－62。doi: 0210.6278/tjme.20170317.0
- 陳竹村、林淑君、陳俊瑜(2002)。《國小數學教材分析——比》。新北市：國立教育研究院籌備處。
- 陳志鴻、許庭嘉、鄭立娜(2017)。四年級自然與生活科技之擴增實境探究式學習教案設計——以昆蟲單元為例。《科技與人力教育季刊》，4(1)，15－28。doi:10.6587/JTHRE.2017.4(1).2
- 陳明璋、李俊儀、李健恆、楊晨意(2016)。逐步引導注意力之多媒體教學設計對圓切線性質學習之成效研究。《臺灣數學教育期刊》，3(2)，1－30。doi: 10.6278/tjme.20161005.001
- 陳虹霏(2017)。《探究穿戴式擴增實境桌遊模式對學生學習幾何圖形之影響》(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。



- 陳淳迪、李志唐(2013)。數位科技在設計實務教學中的實踐與展望。《國民教育》，53(6)，53-61。
- 陳榮華、陳心怡(2007)。《魏氏兒童智力量表第四版(WAIS-IV)中文版技術與解釋手冊》。臺北市：中國行為科學社。
- 陶淑瑗、莊宗嚴(2015)。數位科技應用於小學低年級學童數學學習之反思。《數位學習科技期刊》，7(2)，53-71。doi: 10.3966/2071260X2015040702003
- 曾慈祥(2018)。《使用擴增實境教材對數學學習與態度之研究》(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 湯志民(2019)。智慧校園(Smart Campus)的理念與推展。《學校行政》，121，125-140。doi: 10.6423/HHHC.201905_(121).0006
- 黃秀霜(2001)。《中文年級識字測驗》。臺北市：心理。
- 楊佑盛(2018)。《利用混合實境於數學步道學習動機與成效之研究》(未出版碩士論文)。中原大學，中壢市。
- 廖翊廷(2016)。《運用擴增實境輔助幾何概念學習——以國小體積單元為例》(未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 趙文鴻(2018)。《國小數學體積學習之擴增/虛擬實境軟體開發與應用研究》(未出版博士論文)。亞洲大學，臺中市。
- 鄭竹君(2018)。《應用擴增實境於學童教材之學習動機與學習成效研究——以十以內數字加減法為例》(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- 蕭英勵(2014)。擴增實境正在流行。《師友月刊》，563，57-60。doi: 10.6437/EM.201405_(563).0014
- 錢昭萍、梁麗珍、黃國豪、黃恆霖(2017)。數位繪本或擴增實境融入國文教學對學習之影響：以科技大學資訊與非資訊學院學生為例。《數位學習科技期刊》，9(1)，1-32。doi: 10.3966/2071260X2017010901001
- 簡吟文、孟瑛如(2009)。注意力訓練對國小學習障礙學生在課堂學習時注意力影響之探討。《特殊教育與復健學報》，20，25-52。doi: 10.6457/BSER.200906.0025
- 羅賴煊(2016)。《國小數學擴增實境輔助教學之研究》(未出版碩士論文)。中原大學，中壢市。
- 蘇薇蓉、劉曼麗(2017)。比與比例。載於劉曼麗(主編)，《國小數學與其教材之知識補給站》(頁175-204)。屏東市：國立屏東大學。



- 鐘敏綺(2019)。以擴增實境表徵學習數學分數概念對學生學習理解之影響(未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。
- Amir, M. F., Chotimah, C., Afandi, R., Rudyanto, H. E., & Anshori, I. (2018). Design research study : Investigation of increasing elementary student's spatial ability using 3Dmetric, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 10(6), 1707-1713. doi: 10.31227/osf.io/6fbzj
- Ariyana, Y., & Wuryandari, A. I. (2012). Virtual interaction on augmented reality with nonparametric belief propagation algorithm. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 67, 590-599.
- Atkinson, R. K. (2002). Optimizing learning from examples using animated pedagogical agents. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 416-427. doi: 10.1037//0022-0663.94.2.416
- Ayres, P. (2013). Can the isolated-elements strategy be improved by targeting points of high cognitive load for additional practice? *Learning and Instruction*, 23, 115-124. doi: 10.1016/j.learninstruc.2012.08.002
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 135-146). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511816819.009
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Billinghurst, M., & Dünser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.
- Billinghurst, M., Grasset, R., & Looser, J. (2005). Designing augmented reality interfaces. *ACM Siggraph Computer Graphics*, 39(1), 17-22.
- Bressler, D. M., & Bodzin, A. M. (2013). A mixed methods assessment of students' flow experiences during a mobile augmented reality science game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(6), 505-517.
- Broadbent, D. E. (1954). The role of auditory localization in the attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 51-55.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. New York, NY: Pergamon Press. doi: 10.1037/10037-000



- Brünken, R., Plass, J., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, 38(1), 53-61. doi: 10.1207/S15326985EP3801_7
- Cahyono, B., Firdaus, M. B., Budiman, E., & Wati, M. (2018). *Augmented reality applied to geometry education*. Paper presented at the 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT), Makassar, Indonesia. Abstract retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8878553/authors#authors>
- Carroll, W. M. (1994). Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 360-367. doi: 10.1037//0022-0663.86.3.360
- Chao, W. H., & Chang, R. C. (2018). Using augmented reality to enhance and engage students in learning mathematics. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 12(5), 455-464. doi: 10.14738/assrj.512.5900
- Chao, W., Yang C., & Chang, R. (2018). A study of the interactive mathematics mobile application development. In IEEE (Eds.), *1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention 2018* (pp. 248-249). Jeju, South Korea: IEEE. doi:10.1109/ICKII.2018.8569126
- Chin, K. Y., Lee, K. F., & Chen, Y. L. (2017). Using an interactive ubiquitous learning system to enhance authentic learning experiences in a cultural heritage course. *Interactive Learning Environments*, 26(4), 444-459, doi: 10.1080/10494820.2017.1341939.
- Chiu, J. L., DeJaegher, C. J., & Chao, J. (2015). The effects of augmented virtual sciencelaboratories on middle school students' understanding of gas properties. *Computers & Education*, 85, 59-73.
- Chung, M. C., & Wang, C. H. (2018). The effects of augmented reality representations on student's' understanding on learning fraction. In A. Andreatos, C. Sgouropoulou, & K. Ntalianis (Eds.), *Proceedings of the 17th European Conference on e-Learning, ECEL 2018* (pp. 715-720). Kidmore End, England: Academic Conferences and Publishing International Limited.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (2 ed.). San Francisco, CA: Pfeiffer.



- Cooper, J. O., Heron, T. E., & Heward, W. L. (2007). *Applied behavior analysis*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Estapa, A., & Nadolny, L. (2015). The effect of an augmented reality enhanced mathematics lesson on student achievement and motivation. *Journal of STEM Education: Innovations & Research*, 16(3), 40-48.
- Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (2002). Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 35(6), 564-574. doi: 10.1177/00222194020350060701
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2006). Can learning from molar and modular worked examples be enhanced by providing instructional explanations and prompting self-explanations? *Learning and Instruction*, 16, 104-121. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.02.007
- Hanich, L. B., Jordan, N. C., Kaplan, D., & Dick, J. (2001). Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 615-626. doi: 10.1037/0022-0663.93.3.615
- James, W. (2007). *The principles of psychology*. New York, NY: Cosimo Classics.
- Jeung, H. J., Chandler, P., & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychology*, 17(3), 329-343. doi: 10.1080/0144341970170307
- Jordan, N. C., & Hanich, L. B. (2000). Mathematical thinking second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities*, 33(6), 567-579. doi: 10.1177/002221940003300605
- Jordan, N., & Montani, T. O. (1997). Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematical difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 30(6), 624-634.
- Kaplan, J. S., & Cater, J. (1995). *Beyond behavior modification: A cognitive-behavioral approach to behavior*



- management in the school* (3 ed.). Austin, TX: Pro-Ed.
- Karplus, R., Pulos, S., & Stage, E. K. (1981). Proportional reasoning of early adolescents: Comparison and missing value problem in three schools. In C. Comiti and G. Vergnaud (Eds.), *Proceedings of the fifth conference of the international group for the psychology of mathematics education* (pp. 136-142). Grenoble, France: Laboratoire I.M.A.G.
- Kellems, R. O., Cacciatore, G., & Osborne, K. (2019). Using an augmented reality-based teaching strategy to teach mathematics to secondary students with disabilities. *Career Development and Transition for Exceptional Individuals*, 42(4), 253-258. doi: 10.1177/2165143418822800
- Kesim, M., & Ozarslan, Y. (2012). Augmented reality in education: Current technologies and the potential for education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 47, 297-302.
- Kronfli, B. (2019). *Intelligent campuses: How universities are getting smart with technology*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/transforming-the-student-experience/2019/mar/26/intelligent-campuses-how-universities-are-getting-smart-with-technology>
- Lamon, J. (1993). Ratio and proportion: Connecting content and children's thinking. *Journal for Research Mathematics Education*, 24(1), 41-61.
- Lee, K. (2012). Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2), 13-21.
- Lerner, J. W., & Johns, B. H. (2012). *Learning disabilities and related mild disabilities: Teaching strategies and new directions* (12th ed.). Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.
- Lesh, R., Post, T. R., & Behr, M. (1988). Proportional reasoning. In J. Hiebert & M. Behr (Eds.), *Number Concepts and operations in the middle grades* (pp. 93-118). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Lotz, D. (2018). *The digital campus: Not if, but how*. [Online forum comment] Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/digital-campus-how-david-lotz>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511811678



- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52. doi: 10.1207/S15326985EP3801_6
- Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87(2), 319-334. doi: 10.1037/0022-0663.87.2.319
- Noelting, G. (1980). The development of proportional reasoning and the ratio concept part I - Differentiation of stages. *Educational Studies in Mathematics*, 11, 217-253.
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 229-245). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511816819.016
- Salmi, H., Kaasinen, A., & Kallunki, V. (2012). Towards an open learning environment via augmented reality (AR): Visualising the invisible in science centres and schools for teacher education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 45, 284-295.
- Silver, L. B. (1990). Attention deficit-hyperactivity disorders: Is it a learning disability or a related disorder? *Journal of Learning Disabilities*, 23, 394-397.
- Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89. doi: 10.1207/s1532690xci0201_3
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-8126-4
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Taylor, E. (1995). Dysfunction of attention. In D. Cicchetti & D. J. Cohen (Eds.), *Developmental Psychopathology*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Tourniaire, F., & Pulos, S. (1985). Proportional reasoning: a review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 181-204.



- Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76(3), 282-299.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- van der Stappen, A., Liu, Y., Xu, J., Yu, X., Li, J., & van der Spek, E. D. (2019). MathBuilder: A collaborative AR math game for elementary school students. In J. Arnedo, & L. E. Nacke (Eds.), *CHI PLAY 2019 Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (pp. 731-738). New York, NY: Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3341215.3356295
- Van Dooren, W., De Bock, D., Evers, M., & Verschaffel, L. (2006). Pupils' over-use of proportionality on missing value problems: How numbers may change solutions. In Novotná, J., Moraová, H., Krátká, M. & Stehlíková, N. (Eds.), *Proceedings of the 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, vol.5* (pp. 305-312). Prague, Czech Republic: PME.
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 5-13.
- Zak, E. (2014). Do you believe in magic? Exploring the conceptualization of augmented reality and its implications for the user in the field of library and information science. *Information Technology & Libraries*, 33(4), 23-50.



The Effects of Learning and Attention in the Classroom for Students with Learning Disabilities by Using Augmented Reality in Rate and Ratio Instruction

Hao-Syuan Cai

Ying-Ru Meng

Department of Special Education, National Tsing Hua University

Abstract

This study used Augmented Reality (AR) to design mathematical instruction in rate and ratio and single subject withdraw design to evaluate effects of the 4 six grade students with learning disabilities on learning and attention in the classroom. The instruction lasted 8-weeks and was performed three times a week. Instruments were adapted “Classroom Attention Behavior Checklist”, self-administered “Mathematics Learning Effectiveness Test”, Mathematical Diagnostic Test (MDA), and interviews. The findings of visual analysis and C statistic showed that: (1) After using AR in teaching rate and ratio, the participants demonstrated significant achievement of learning outcomes in the rate and ratio on the self-administered Mathematics Learning Effectiveness Test, indicating an immediate and sustain effective learning. The achievement of learning outcomes in the circular has decreased significantly without using AR in the classroom. Most students identified correct answers in post-tests and increased their certainty compared to pre-tests on the Mathematical Diagnostic Test (MDA). (2) The participants’ attention in drawing, language, and reasoning were better than before, according to the results of adapted “Classroom Attention Behavior Checklist”. (3) Individual differences existed in cognitive load and reaction times when using AR in the classroom, indicating that computational skills acts as a bottleneck for



the students with learning disabilities. The teaching intervention did increase the percentage of correct answers and reduce cognitive load of the participants so they can learn at their own pace.

Key words: students with learning disabilities, augmented reality, mathematics learning, rate and ratio, attention in the classroom

