

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

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

陳明璋¹ 李俊儀² 李健恆³ 楊晨意⁴

¹國立交通大學通識教育中心

²國立台北大學師資培育中心

³國立臺灣師範大學數學系

⁴新竹縣立竹東國民中學

本研究旨在探討逐步引導注意力的多媒體教學設計對國中生數學學習的影響，並選取了資訊量較複雜的幾何之圓切線性質概念為教學內容，藉著適當引導學生注意圖形的重要元素，使資訊在工作記憶區能與先備知識進行有效的整合。本研究的參與者是 116 位新竹縣某國中來自四個班級的八年級學生，採二因子準實驗設計以探究不同的教學設計（高元素互動 vs 低元素互動）與不同的學習成就（高 vs 低）對國中生在圓切線性質學習之影響。研究結果發現使用低元素互動教材學習的學生，後測及延後測均有較好的表現，學習效率及投入都達到較高效能的水平。高學習成就的學生如預期般表現優於低學習成就的學生，說明在擁有穩固先備知識的基礎下，逐步引導注意力的設計讓被接收的資訊作更有效的整合。因此，元素互動量在教學多媒體設計中是重要的考量因素之一，其對數學教學設計與學習的遷移及保留效果值得在未來進行更深入的探討。

關鍵詞：元素互動性、逐步引導注意力、認知負荷、圓切線性質

通訊作者：李健恆，e-mail：kinhanglei16@gmail.com

收稿：2016 年 2 月 24 日；

接受刊登：2016 年 10 月 5 日。

Chen, M. J., Lee, C. Y., Lei, K. H., & Yang, C. Y. (2016).

The effects of using stepwise attention-guiding multimedia instruction to learn properties of tangents of circles.

Taiwan Journal of Mathematics Education, 3(2), 1-30.

doi: 10.6278/tjme.20161005.001

The Effects of Using Stepwise Attention-Guiding Multimedia Instruction to Learn Properties of Tangents to Circles

Ming-Jang Chen¹ Chun-Yi Lee² Kin Hang Lei³ Chen-Yi Yang⁴

¹ Center for General Education, National Chiao Tung University

² Center for Teacher Education, National Taipei University

³ Department of Mathematics, National Taiwan Normal University

⁴ Chu dong Junior High School

The purpose of this study was to explore the effects of using stepwise attention-guiding multimedia instruction on mathematics learning abilities of junior high school students. The topic “Properties of tangents to circles” was chosen as the learning content for this experiment because it involved complex information. By guiding students to observe the key elements in a geometric graph, the information in their working memory was expected to integrate effectively with prior knowledge. The participants were 116 eighth grade students from four classes in a public junior high school of Hsinchu County, Taiwan. This study adopted a quasi-experimental design of pretest and posttests with nonequivalent groups. Students were randomly divided based on the kind of instruction used into the high element interactivity group and the low element interactivity group. A two-way factorial analysis of covariance was adopted to compare the impact of the teaching materials design (high element interactivity vs. low element interactivity) and students’ academic achievement (high vs. low) on learning outcomes. The results showed that the students who used the instruction with low element interactivity showed significantly better performance than those who used the instructional version with high element interactivity on both the posttest and the delayed posttest. Students were attained a higher level of efficacy in both learning efficiency and involvement. As expected, students with a high level of academic achievement demonstrated a better performance than those with lower levels. The design using guided attention led to an effective integration of external information in the working memory of students who had enough prior experience. Hence, element interactivity was a key factor in the multimedia-based instructional design. The transfer and retention effects of the instructional design of element interactivity should be further examined in the future.

Keywords: element interactivity, stepwise-attention guiding, cognitive load, properties of tangents to circle

Corresponding author : Kin Hang Lei , e-mail : kinhanglei16@gmail.com

Received : 24 February 2016;

Accepted : 5 October 2016.

壹、緒論

從認知負荷理論的觀點 (Sweller, 1988)，不難看出幾何知識對很多學習者來說並不容易掌握的原因，因為人類的工作記憶區是有限的，當學習任務需要過高的記憶容量才能進行時，學習成效就有可能降低 (de Jong, 2010)，因此減少工作記憶區的負荷是增進幾何學習成效的重要因素。其中由學習材料本身所含內在資訊所產生的負荷，稱為內在認知負荷 (intrinsic cognitive load)，而內在認知負荷的程度，則是由工作記憶區中能夠同時處理元素數量之元素互動性 (element interactivity) 的高低來決定 (Sweller, 2010)。例如，學習英文的詞彙和文法句法都屬於內在認知負荷的部分，但學習文法句法時則必須同時考慮數個詞彙以及它們之間的關係，在工作記憶區中同時要處理的元素量較只學習詞彙來得高，因此，學習英文文法句法是屬於高元素互動性的學習內容 (Sweller & Chandler, 1994)。類似地，需要同時考量多個元素及其關係的幾何學習也是高內在認知負荷的學科之一，因其學習內容主要以推理方式來探討圖形之間的性質，學習者除了要能夠理解命題與圖形元素之間的關係外，更需要從複雜的圖形中作分解、抽取與推理相關子圖形中有助於解題的元素，再根據幾何性質，適時與對應元素作靈活的轉換 (Duval, 1995, 1998)。由此可見，尤其對初學者來說，若要增加學習成效，則必須藉著適當的教學設計來減少工作記憶區同時處理的元素量，這是呈現高元素互動性的幾何教學設計時不能忽略的部分。

幾何問題主要以命題配合圖形的方式呈現，藉著多媒體的輔助，正好可以把圖形與文字作更好的展現。因此，隨著科技的不斷進步，多媒體輔助對數學學習帶來不錯的學習效果 (Güven, 2012; Muhanna, 2012; Ragasa, 2008)。有關使用電腦輔助幾何的學習，可以分為提供學習者探索分析或閱讀反思兩個發展方向，探索分析主要透過動態幾何軟體或圖形計算器等工具，給予學生藉著拖曳物件或動態模擬來觀察及探索數學性質 (Arzarello, Olivero, Paola, & Rubutti, 2002; Bostic & Pape, 2010)；閱讀反思則是善用多媒體把文字、圖像、聲音、錄像、動畫等整合的功能，將要學習的資訊更多元或完整地展現出來，藉此引起學習者的興趣以及對內容作有效的理解 (Jeung, Chandler, & Sweller, 1997; Liu, 2012; Ogochukwu, 2010)。雖然探索分析給予學習者較多建構數學知識的機會，但這樣的方式必須建基在足夠的先備知識上，對於學習新數學知識時並不適用。一般地，若能夠對初學者展示完整的解題過程，他們將較容易藉著逐步解釋的解題過程，從而掌握對類似結構問題的解題技巧 (Sweller & Cooper, 1985)；至於定義或定理等陳述性知識，也必須透過適當的展示方式，跟學習者說明其中的重要資訊。因此，當使用多媒體呈現幾何教學內容時，如何清晰傳達其中的重要訊息，是教學設計中不可忽略的環節。

有關數學教學的內容，一般都可以藉著文字 (口語或印刷) 和圖像 (靜態或動態) 來傳達，

透過電腦的豐富色彩、動畫播放、超連結、提供即時回饋等技術，對呈現資訊作有效的整合，形成一種非線性閱讀及互動的學習模式。然而，這樣的優勢還需要考慮相應的學習內容，才能發揮相關的效益。例如，從 Scheiter、Gerjets 與 Catrambone (2006) 比較使用純文字、靜態圖畫以及動畫來學習計算簡單機率問題的研究中，結果顯示以動畫學習的效果卻沒有其他方式來得好，由此可見，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。有關多媒體設計的研究，Mayer (2001) 整合多位學者理論與觀點後，提出雙通道 (dual channels)、有限能力 (limited capacity) 及主動處理 (active processing) 三項多媒體學習認知理論的假設，說明人類進行多媒體學習時認知系統如何分配及處理相關資訊，其中對從不同通道獲取的資訊作選取、組織與整合並連結先備知識，是學習者獲取及建構知識的重要機制。Mayer (2005) 從認知負荷理論整理出一些應用至多媒體環境設計的原則，主要從避免多餘資訊或分散學習者注意力等設計以降低外在認知負荷，以及使用適當切割資訊或加強學習者先備知識等方法來減少知識本身的內在認知負荷。然而，對於高元素互動的學習內容，即使能排除與學習無關的內容，在畫面上仍然需要同時面對大量的資訊，容易因認知處理容量的限制而造成認知負荷超載。因此，在設計多媒體教學時還需要額外注意兩個問題：(一) 在眾多資訊的版面上，如何引導學習者適當地選取對應的元素？(二) 在學習的過程中，如何有效地選取及組織資訊？

欲回答上述問題，與人類如何選擇這些透過視覺或聽覺而來的資訊有密切的關係。其中有關視覺搜尋的理論很多，研究者普遍認為人類處理視覺資訊至少可以分為前注意 (pre-attention) 和注意 (attention) 兩個階段 (Hoffman, 1979; Neisser, 1967; Treisman, 1986)，其中前注意階段沒有容量限制，對所有項目以平行方式進行搜尋，擁有如顏色、大小、形狀、位置、運動等其中一項性質的項目會被快速地辨認出來，因此教學中利用這些特質呈現教材內容來引導學習者注意力是常用的設計。例如，Jamet、Gavota 與 Quaireau (2008) 使用改變顏色以及配合口語，逐步突顯關鍵部分的引導注意力方式來學習人腦的各個區域，研究結果顯示上述方式在記憶測驗有顯著的成效。這樣的學習成效除了歸功於善用雙通道來提供資訊外，也因為能夠藉著顏色的變化逐步引導學生需要注意的重點。對於這些主要說明人體或機械結構的學習內容，除了各元素或操作流程需要從整體中特別注意某些細節外，各元素的「位置關係」也是被獲取知識中重要的一環，因此在整體圖像裏再突顯局部情況是最能清晰表達位置關係的手法。然而，數學內容更強調的是「結構關係」，亦即元素與元素之間的關係，例如，圓的切線是指同一平面上與圓只有一個交點的直線，至於那個交點在圓的哪一個位置卻不是最重要的資訊，重要的是讓學習者從圖像中看到圓與直線只有一個交點，從而想到通過該交點與圓心的半徑跟上述直線是互相垂直的，這樣的性質通常也與解題策略有密切的關連。另一方面，在視覺搜尋中，對於突然出現 (abrupt onset) 的資訊也是獲取注意力的有效方式之一 (Yantis & Jonides, 1984, 1990)，因此，

當設計圓與其切線性質的教學時，考慮先從圓的圖形出發，再逐步引出切線的相關概念，避免因幾何圖像本身的複雜性而分散學習者的注意力，無法聚焦到圓的結構上，相信是有效地幫助選取及組織圖像資訊的方法之一。早年 Miller (1956) 提出將知識作適當的區塊化，將有助於概念的保留，因此對圖形中的概念以區塊化的方式呈現對概念保留應有正面的幫助。將概念區塊化後再逐步引出概念的設計，按照人類處理視覺資訊的方式，突然出現的訊息將有助於獲取學習者的注意力，那麼每次突顯的圖形元素數量會否影響學習者的學習成效，將是呈現幾何內容的教學設計的重要參考指標，值得作進一步研究探討。

部分研究指出相同的教學設計，給予能力不同的學習者使用後或會呈現截然不同的效果 (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)，研究結果解釋一些能夠幫助初學者或先備知識較不完備的學習者之教學設計，對基礎較好的學生來說，卻因給予太多重複資訊而增加了他們的認知負荷，因此無法呈現更好的學習成效。如果突顯幾何圖形元素對高學習成就的學生是非必要的提示，相信也會產生類似的反轉效果；若突顯幾何圖形元素不是認知過程中的必要元素，相信對低學習成就的學生也起不了太大的作用。基於上述研究背景，本研究旨在依據認知負荷理論及視覺搜尋的特性，選取屬高元素互動的圓與切線性質單元，將概念區塊化並配合教師的口語引導，以逐步突顯圖像元素之間的結構關係來呈現教學內容，藉著使用「低元素互動」的引導注意力教學設計，期盼學習者對知識的獲取並非只是因為當下的記憶效果而得到的，而是真正的掌握並能儲存在長期記憶區中。因此，對不同學習成就之學生，在使用不同元素互動的教材學習圓與切線性質後，本研究主要探討：(一) 各組學生的當下及延遲學習效果為何？(二) 各組學生所花費心力的自我感受程度為何？學習效率與學習投入情況是否存在差異？

貳、文獻探討

幾何學習多半屬於含有高元素互動的內容，在教學設計中，以多媒體方式呈現是常用的有效工具，但亦因為內容的豐富多彩，如何能夠引導學習者專注在重要資訊上是設計的關鍵要素。本文藉著回顧各種增進內容理解及注意力引導的多媒體教學設計，從而探討適合幾何內容的教學設計方法。

一、多媒體設計

多媒體學習的認知理論一般有三大大假設 (Mayer, 2005, 2009)，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的容

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）。認知負荷主要分為外在和內在負荷兩種類型（Sweller et al., 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：

（一）適當管理內在認知負荷的教學設計

內在負荷與學習者獲取的學習目標有關，它是由資訊本身內容結構的複雜性所組成，其中善用雙通道來處理資訊與學習成效有重要的關係。上文提及雙通道理論（Baddeley, 1992）的應用，在較早前的研究是根據人類接受資訊分為視覺和聽覺不同通道的假設，因此如果學習者閱讀配有旁白及字幕的圖像（靜態圖片或動畫）畫面，其學習效果將較只使用旁白與圖像的多媒體設計來得差（Mayer, 2009）。例如，學習長方形的周長公式（Jeung et al., 1997）或只需要兩至三步驟的局部推理幾何證明（Mousavi, Low, & Sweller, 1995），結果均顯示同時使用眼睛觀察圖形元素而耳朵聽取說明內容的設計，學習時間較敘述與圖形皆以視覺接受的方式來得短，尤其對於幾何證明的過程與圖像經常會分開顯示的學習方式，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。Atkinson（2002）的研究在學習比例的應用問題上也有類似的效果，配合聲音引導學習的教學設計，學習者在後測近遷移問題的表現較只有文字說明的版本來得好，且對任務的困難度感受也較低。然而，近期的研究顯示，這種善用雙通道的學習效果，主要作用於口述文字內容較短（只包含 1~2 個句子）的教學，若口述的內容較長，則同時呈現文字及圖像的教學設計，其學習效果反而較使用口語及圖像來得好（Rummer, Schweppe, Fürstenberg, Scheiter, & Zindler, 2011），當聽覺需要接收的資訊過多時，學習者只能對最後接收的資訊有較好的保留效果，因此給予文字去輔助理解內容，學習效果將能有所提升。Schmidt-Weigand、Kohnert 與 Glowalla（2010）的研究透過眼動追蹤發現當面對較多的文字說明教學時，學習者會傾向有較多的時間用於注視文字內容而非圖像。而數學教學範例通常有明確的解題步驟，因此簡單的幾何問題只需要配合圖形作口語解釋即能理解相關內容；若是較複雜的幾何問題，各步驟輔以簡短的說明解釋或把相關重點以文字形式標示，相信更有助於學生對內容的理解。

在處理含有高互動元素的複雜問題時，將內容切割為有意義的子項目是降低內在負荷的常用方法，處理方式主要可以分為改變原來解答的複雜程度、前訓練（pre-training）和獨立元素（isolated-elements）三種策略（Ayres, 2013）。第一種以改變原來解答的複雜程度的策略需要因應學習內容而設計，例如 Gerjets、Scheiter 與 Catrambone（2006）在有關機率問題的學習上，將原來傳統使用的解題方式（辨認任務特徵、使用相應公式、計算機率值）改為將問題的三個步驟獨立計算各自的機率值的方法，研究發現學習者更能掌握相關的概念。上述研究結果顯示對複雜任務進行有意義的切割，切割後的子任務能夠使用更容易掌握的解決方法，藉此降低內在

負荷是增加學習成效的主要原因。第二種前訓練策略是指在學習主要內容之前，先向學習者介紹主要概念中所使用的名稱和特徵，使這些重要的用語及其意義先成為學習的先備知識(Mayer, 2009)。例如分為元件功能及操作使用兩個部分來進行學習，對使用機器等包含較多專有名詞及操作程序的多媒體學習有顯著的幫助(Mayer, Mathias, & Wetzell, 2002)。因此，當需要使用新的軟體來學習數學內容時，先向學習者介紹軟體的使用方法及各項功能，對不熟悉軟體操作的學生來說尤其重要(Cl Clarke, Ayres, & Sweller, 2005)。而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，因此這樣的前訓練策略在數學學習中幾乎是必須的設計。第三種獨立元素策略是指在學習的過程中含有高互動性的元素作有意義的分離，例如對於學習機器的操作過程及原理，第一階段先專注於操作的方式，第二階段才同時學習操作及原理，尤其對先備知識較弱的學生幫助很大(Pollock, Chandler, & Sweller, 2002)；或是要同時知道如何做(程序性資訊)及其原理(陳述性資訊)的疑難排解任務中，將兩種資訊分開呈現較同時呈現的學習模式，學習者在遷移任務上有較出色的表現(Kester, Kirschner, & van Merriënboer, 2006)。至於有明確解題步驟的數學問題，例如把展開多項式中的每一項獨立看做一個元素(Ayres, 2006, 2013)，先讓學習者瞭解該元素的符號及運算的處理方式，對只有較少先備知識的學生有顯著的幫助。

總而言之，對於處理複雜數學問題的初學者來說，必須先跟他們說明各個定義及性質後，對解題步驟進行有意義的切割或區塊化來降低內在認知負荷是可行的教學設計，而如何才算是有意義的切割則值得作深入的探討。其中，認知負荷理論(Sweller et al., 2011)明確指出高元素互動的資訊對學習者會產生較大的困難，高元素互動是指在處理某一概念時，必須同時成功整合多個元素才能獲得結果的狀態，如Chandler與Sweller(1996)以介紹電腦輔助設計與製造軟體的研究中，定義操作步驟只需要在鍵盤上作按鍵操作就能完成任務為低元素互動的步驟，若操作步驟還牽涉到其它概念的使用時，則視為高元素互動的步驟。研究發現學習者在處理高元素互動的問題時，以降低分散注意力的設計可獲得較好的學習成效。進一步地，Leahy與Sweller(2005)的研究探討學生在閱讀公車時刻表時所處理的元素量，將每個任務所需要同時處理的元素分別列出，並定義同時處理1-3個元素者為低元素互動性，若需要同時處理4-9個元素則為高元素互動性的問題。結果發現學習者在回答不同元素互動性問題時的表現有顯著差異，這樣的結果既呼應了人類認知資源是有限的假設，當只需要處理低元素互動性的資訊將較同時處理大量資訊來得有效，同時也提示元素互動性是多媒體教學中資訊呈現的重要指標。雖然將操作程序與原理分開處理或將解題過程的每一項看做一個獨立元素，都是讓學生分別弄懂部分意義後再來處理整體的任務，研究均指出這樣的切割有較好的學習成效。然而，幾何任務即使按幾何結構將任務分為微觀、局部等層次(Duval, 1998)，但在微觀層次要處理的元素量，也足以讓

學習者無法理解相關的內容。因此，有必要更進一步地處理微觀層次的互動元素，以幫助學習者有效掌握相關的概念。

（二）盡量減少外在認知負荷的教學設計

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繼而影響學習成效。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都與工作例中各元素的呈現方式有關。然而，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，但對於先備知識較完備的學生來說有時候反而是增加了他們的認知負荷。例如 Kalyuga 與 Sweller（2004）在學習計算座標平面兩點間距離的研究中，分別設計了以工作例及問題解決為基礎的兩種不同教學模式，探討不同程度學生的學習成效，研究發現高程度學生在問題解決為基礎的教學模式有較好的表現，而低程度學生卻是在以工作例為基礎的教學模式中表現更為理想。Ayres（2006）在學生學習多項式展開的研究中，將各項獨立處理的教學設計也有類似的反效果，這樣的設計也只對低先備知識的學生帶來好處，對高先備知識的學生反而是整個多項式一起處理的學習成效較佳。研究結果解釋上述的教學設計因給予太多重複的資訊，反而對具備較好基礎的學生是增加了不必要的認知負荷，因此無法呈現更好的學習成效。因此，在多媒體的教學設計中，將要學習的元素作更細部的分解並不一定對所有學生都有幫助，分析教學設計對不同學習成就學生的影響，將有助於確定配合學生程度的教學設計。

除了上述與教學內容設計有關的認知負荷外，使用多媒體設計教材時，有時候會因能輕易整合文字、聲音、靜態圖片及動畫等元素而在呈現方式上增加了認知負荷。例如若插入與學習內容無關的插圖或背景音樂，則會佔據視覺或聽覺通道中的記憶容量，因此版面上應只顯示必要的資訊且配合的口語也必須與學習內容有關。各元素的安排應以幫助學習者選取、組織資訊來考量，如把圖表各部分的元素名稱及意義標示在對應位置上方便解讀圖表的意義（Bodemer, Ploetzner, Feuerlein, & Spada, 2004），將有關數學圖像中角的度量方法（Sweller, 1994）或座標平面上的點座標計算方式（Sweller, Chandler, Tierney, & Cooper, 1990）等直接標示在圖形相應的元素附近，減少學習者耗費認知資源來找尋文字與圖像的對應關係，避免注意力的分散。至於用作詳細說明圖片或動畫內容的文字或旁白，一般認為解釋文字若能配合圖片內容同時呈現會較先後呈現有好的學習成效（Mayer, 2009），但當選擇以旁白來說明圖片（或動畫）的內容時，則單純以旁白方式作說明，會較同時顯示字幕和旁白的圖片有較好的學習效果，這是因為字幕與

旁白的內容是完全相同的，學習者容易去追蹤字幕的文字而忽略動畫中所帶出的重要資訊，同時也要求學習者分散認知資源來作組織整合；不過，在旁白描述動畫內容的同時，對重要的資訊以簡單的文字來作提示說明，反而能引導學習者的注意從而增加學習成效（Mayer & Johnson, 2008）。因此，適當的口語說明在教學設計中是傳遞知識的重要途徑，至於是否需要配以相關的文字說明，則需要視內容的複雜程度而定，相信對於較複雜的幾何問題中重要元素或推理過程，文字提示說明將是不能缺少的資訊。

二、注意力引導

透過聽覺和視覺是接受外界資訊的主要途徑，早期選擇性注意力研究多以聽覺為主（Driver, 2001），同時給予受試者聽不同的聲音，以檢測人們對哪些聲音更能聽見。自 1960 年代起，研究慢慢轉向與視覺的注意力有關，也因為眼睛能接受的資訊不單只是語言處理方面，更多探討圖像特性對注意力影響的研究讓我們更瞭解感官注意力的選取特性，視覺搜尋成為注意力研究中一個重要的派典（Müller & Krummenacher, 2006）。其中 Broadbent（1958）提出有關注意力過濾理論（filter theory），說明人們注意力的基本選擇機制，Broadbent 主張人類的注意力分為兩個階段，就像電腦的中央處理單元般，對資訊的處理是有限容量的，因此在感官系統中有一個像過濾器般的設計，將一些未被注意到的訊息排除掉以避免負荷超載。雖然後來的研究發現那些未被直接注意到的資訊並不是全部都過濾掉，只是被減弱而已，但 Broadbent 的模型無疑提供注意力研究一個引導性的指標。在這樣的基礎上，Treisman 與 Gelade（1980）提出的特徵整合理論（feature integration theory），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。在第一階段會受一些有高度辨識的基本特徵（如：發出額外的聲音、聲調的高低音或男女聲切換等改變、顏色、方向）的影響來作出選擇，並使用同時處理所有物件的方式（parallel model，平行模式）來搜尋資訊，例如在一堆綠色的物件中搜尋一個紅色物件，這樣確認目標是否存在的反應時間與被觀察項目的個數無關；第二階段則需要由個體有意識地控制，有序地對項目逐個作進一步的比對分析（serial model，序列模式）才能確認需要的資訊。換句話說，若我們以第一階段處理過程的特性來呈現學習目標，就能夠在前注意階段刺激並搶先引導學習者的注意力，這些可以引起注意力的元素包括形狀、顏色、深度（陰影的方向及明暗差異）、運動等（Pashler, 1988; Treisman, 1986; Wolfe, 1998）。

上述特性在多媒體的教學設計中，常以信號（signal）的形式來幫助學習者適當地選取、組織和整合相關資訊（Mayer, 2009）。這些信號並沒有為原來的材料提供新資訊或改變原有的學習內容，它們只是透過刺激視覺的一些設計以減少學習者的視覺搜尋空間，亦即讓他們更能把注意力集中在相關的學習內容上。對於文字內容，通常以字體的變化（如：粗體、斜體、畫線、改變顏色等）或口語聲線改變來突顯重要的字詞，而在文字段落的開始以概要或標題的方式標示

重要內容，都是文字內容中常用的信號。然而，在靜態圖片或動畫中，資訊是以非線性的方式呈現，因而有更多不同的方式來給予信號提示。例如，以箭頭指示 (Crooks, Cheon, Inan, Ari, & Flores, 2012; Mautone & Mayer, 2001) 或閃爍 (Hong, Thong, & Tam, 2004) 來強調要注意的部分、以不同顏色的路徑箭頭顯示不同系統的作用流程 (Boucheix & Lowe, 2010)、顏色變更或以不同顏色呈現重要資訊 (Craig, Gholson, & Driscoll, 2002; Jamet et al., 2008; Jamet, 2014)、將較次要的資訊改以灰色呈現 (de Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2010) 等適合說明機器操作過程或展示流程方面的設計。而多與圖形配合的幾何問題上，適合利用突然出現 (Yantis & Jonides, 1984, 1990) 或閃爍等方式來突顯對應的圖形元素，如 Jeung 等人 (1997) 的研究說明若是在較簡單的幾何圖形中，是否突顯相關元素對學習效果影響不大；但若在學習需要眼睛作大量資訊搜尋的幾何問題時，能夠配合口語所述閃爍圖形中相應的元素，將能以較短的時間來完成和理解學習目標。因此，以不同的手法來強調圖像和文字 (包括口語) 的對應，是在幾何問題中常用的引導注意力的方式。

上述的設計是在一個複雜的圖片中，既要展示整體的情況又要突顯局部的時候適合的方式。然而在數學問題中，則需要引領學生瞭解局部發展到整體的過程，其中局部元素的辨識對學習者掌握內容有重要的幫助。Luzón 與 Letón (2015) 設計了一個有關骰子機率問題的工作例，比較在輔以口語解釋的情況下，一次將解題步驟都呈現的動畫學習效果劣於解題時模仿書寫過程的動畫，顯示這種模仿書寫過程的動畫效果更能促進對內容的理解，學習者不管在記憶測驗及遷移測驗都有較好的成效，這樣的設計除了讓學習者有較充足的時間配合動畫對程序性知識作思考外，也能清楚展現內容的發展脈絡。類似地，Hu、Ginns 與 Bobis (2014, 2015) 在已經給定完整步驟說明的幾何工作例中，要求學生每一步都透過食指勾畫出內容與圖形所對應的部分，與純粹作閱讀的組別作比較發現，以指向 (pointing) 和追縱 (tracing) 手勢學習的組別能夠解答更多的練習題以及有較少的出錯，作者認為這樣的手勢可以讓學習者把視覺注意力更集中到將要學習的數學法則上，重建圖形中各元素之間的發展關係，藉此支持基模的建構。由此可見，對局部數學知識的理解是注意力引導的重心，學習者若能逐步瞭解數學知識發展的脈絡，藉此釐清元素之間的關係是解題的重要手段。Hu 等人的研究所使用的圖像只是一組平行線及其截線的簡單圖像，學習者要從中尋找相應的元素並不困難，但在較複雜的幾何圖像中能夠找出相應的子圖而不受干擾，尤其只透過多媒體工具來呈現內容時則顯得沒那麼容易。

從認知負荷理論對管理教學設計中內在認知負荷的各種建議可知，處理複雜學習材料時所包含的元素量較多，亦即瞭解概念之間的關係有較高的元素互動性，這樣的內在認知負荷通常是對學習材料作適當的切割來降低，藉此幫助概念的理解。在幾何學習中，圖像是重要的表徵之一，也是在解決幾何問題時，透過適當的操弄以洞察解答的重要工具 (Duval, 1995)，因此幾

何圖像的元素關係往往也是複雜的。過往較少研究探討對幾何圖像進行適當的切割，藉著降低其元素互動性來增進學習效果的可行性，本研究嘗試透過多媒體展示的功能，在複雜的幾何圖像中，以逐步引導學習者注意到局部圖像元素關係的方法，探討其教學成效。設計除了配合顏色改變的方式來逐步突顯概念建構的過程外，讓元素以突然出現的方式來獲取注意力，並考慮學習者在視覺和聽覺的通道上均只能同時處理有限數量的資訊，因而每次的呈現都只作低元素互動性的處理，在老師的口語講解下，相信將有助於選取、組織、整合內容，幫助對內容的理解及基模建構。

參、研究方法

一、研究對象

本研究以新竹縣某國中八年級四個常態班級為研究對象，為求立足點一致，被選取的四個常態班級中將需要抽離原班級上課的資源生排除後，以隨機的方式分為使用「高元素互動」及「低元素互動」進行教學兩種方式，即每種教材都各有兩個班級作為學習圓與切線概念的主要工具。計算上述兩組學生該學年上學期三次數學定期評量之平均成績，按結果由高至低排序後，將各班學生再平均分為高、低學習成就兩組，表 1 總結研究對象各組人數的分配情形。

表 1

研究對象各組人數分配表

| 組別 | 學習成就 | | 總數 |
|-------|------|----|----|
| | 低 | 高 | |
| 低元素互動 | 29 | 29 | 58 |
| 高元素互動 | 29 | 29 | 58 |

教材主要內容為「圓與切線間之性質」，符合九年一貫數學科能力指標「9-s-6 能理解直線與圓之性質」（教育部，2008），對應課本章節為九年級第一學期第二章（左台益，2012）。兩組別之教材主題與授課時間均相同，因圓與切線性質不屬於國中八年級的正式課程，因此可排除學生到校外補習對學習成效之影響。

二、研究設計

本研究主要考慮元素互動量（Sweller et al., 2011）的設計，針對幾何圖形含有高元素互動的性質，配合視覺引導注意力方式，分別設計「低元素互動」和「高元素互動」的教材，同時討論上述設計對不同「學習成就」學生會否產生不同的學習成效。因此，研究採二因子的準實驗研究設計，探討以兩種不同的元素呈現方式（低元素互動、高元素互動）的教材，對兩種具備不同

學習成就（低、高）的學生在不同時間（後測、延後測）所呈現的學習成效及學習效率的影響。其中，學習者之學習成就判定是以學生最近三次定期評量成績代表學生的學習成就，並分別將實驗組及對照組的學生成績作高至低排列，取前 50% 為高學習成就組、後 50% 為低學習成就組。

本研究中各組皆是由同一位教師授課，教學時使用投影機、大螢幕投影設備，配合教師的口語引導，以 PowerPoint 簡報軟體逐步顯示圓與切線性質之教學內容，每個概念均是從圖形的局部元素出發，逐漸延伸到整體的方式展示內容。其中高元素互動是一次呈現所有的局部元素（通常是概念的一個段落或解題過程中的一個步驟），實驗組使用的低元素互動是將局部元素再細分後逐步呈現，使得每次在 PowerPoint 頁面上新增的元素不超過三個，而控制組則與傳統教學的呈現方式相近，把局部元素一次呈現後再由教師作講解，因此每次所顯示的元素量較多（四個或以上），詳見研究工具中的介紹。

三、研究工具

本研究的研究工具包括「圓與切線間之性質」多媒體教材、先備知識測驗、後測、延後測以及花費心力之感受評量，藉由多個面向來探討學習效果，詳細內容如下所述。

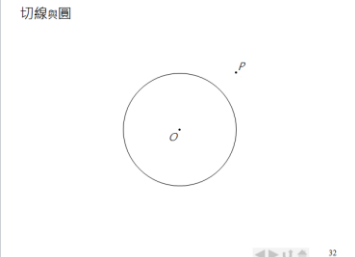
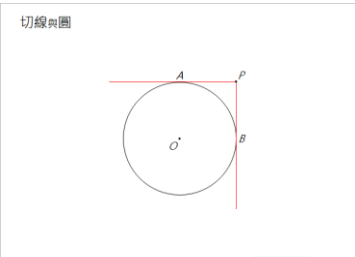
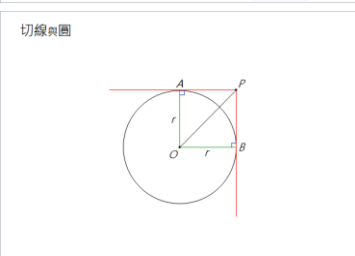
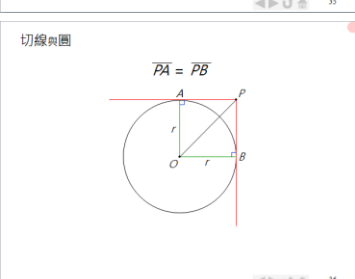
（一）「圓與切線間之性質」多媒體教材

「圓與切線間之性質」為九年一貫數學科能力指標「9-s-6 能理解直線與圓之性質」（教育部，2008），對應課本章節為數學九年級第一學期第二章（左台益，2012）。教材製作平台為 PowerPoint 2003 簡報軟體搭配 AMA（Activate Mind and Attention）外掛增益集（Lee & Chen, 2016），多媒體教材設計與五位國中數學老師及一位教學專家共同討論設計而成，並應用課堂展演所運用之注意力與視覺搜尋、認知負荷理論及多媒體學習設計原則安排各教學元素，所應用的相關設計原則如表 2 所示。

本研究之教學實驗分為使用「高元素互動」與「低元素互動」兩組，教材設計的內容完全相同，主要差異在於訊息傳遞策略的不同而已。表 2 以圓切線長性質為例，說明兩組的教材設計中都是以相關理論為原則，藉著 PowerPoint 快速及容易操作的翻頁功能，把原來複雜的幾何任務，分解到不同的投影片來呈現不同的圖形元素或步驟，由此突顯幾何圖形的結構關係，這樣的分解是對圖形或程序作有意義的切割，以降低學習者搜尋及處理訊息的認知負荷。有關內容的陳述以教師的口語引導為主，利用雙通道接受資訊的原則，讓學習者的視覺所看到的物件與聽覺所聽到的訊息作有效的整合。而訊息的呈現除了利用顏色以及突然出現的方式呈現外，其它次要的訊息也會作淡化處理，這樣的設計既要有效引導學習者的注意力，同時在必要時仍可以看見整體的訊息。各種訊息（包括文字及口語）、符號或輔助標示均依循空間、時間接近以及減少冗餘資訊等原則設計，以減少視覺搜尋的負荷及避免分散注意力，促進學習成效。

表 2

圓切線長性質之多媒體教材設計

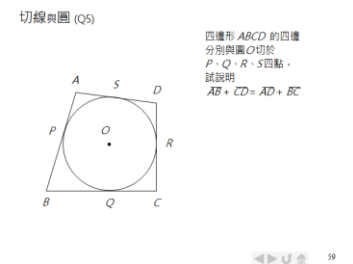
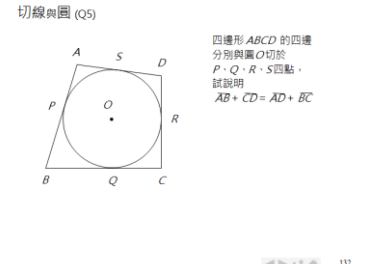
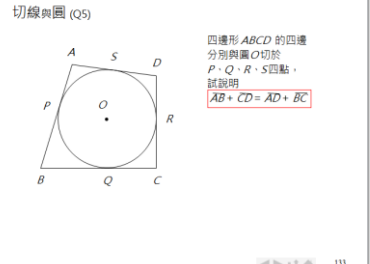
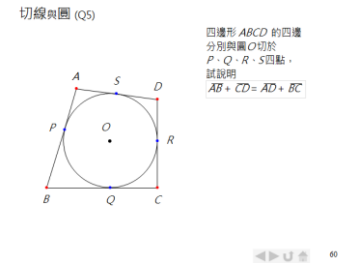
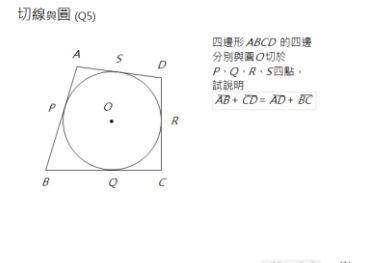
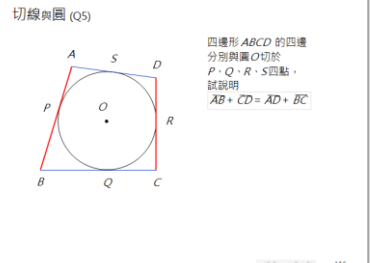
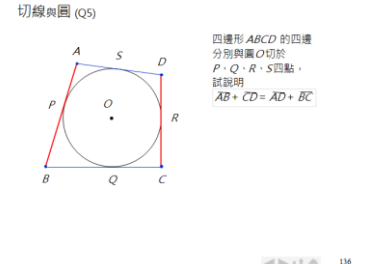
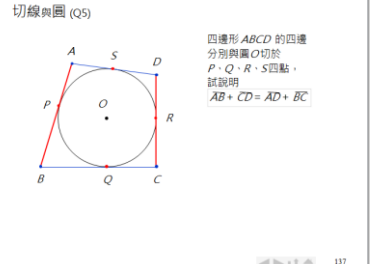
| 圖例 | 多媒體設計原則 |
|--|--|
|  <p>切線與圓 32</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 以雙通道接收訊息為原則，學習者以視覺觀察圖形，並以聽覺聆聽教師的講解。 ➤ 版面上除了必要的文字及圖形元素外，讓學習者能快速地掌握圓 O 與圓外一點 P 的關係，盡量減少不必要的資訊阻礙學習。 |
|  <p>切線與圓 33</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 在新的圖形元素出現時，教師的口語也同步作說明，讓學生更容易作資訊的整合。 ➤ 重要的圖形元素（如：切線）以不同的顏色表示，並利用突然出現的呈現方式，加強引導學習者之注意力，讓他們馬上掌握直線 PA 和 PB 均為圓 O 之切線。 |
|  <p>切線與圓 34</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 另一重要圖形元素（半徑）使用不同於圓及切線的顏色顯示，同樣以突然出現的呈現方式，讓學習者專注於半徑及其與切線之垂直關係。 |
|  <p>切線與圓 $PA^2 = PO^2 - AO^2$ $PB^2 = PO^2 - BO^2$ 35</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 版面上只顯示相關重要的數學式子，用作幫助學生理解元素之間的關係，以避免學習者需要對圖形與文字作多餘的整合。 |
|  <p>切線與圓 $PA = PB$ 36</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 相關的數學式子出現在圖形元素的附近，透過空間接近原則以避免分散學習者的注意力。 ➤ 圓切線長性質為切線與圓之間的重要性質之一，透過先對相關概念進行講解後再加以應用，是數學學習中常用的教學設計。 |

「高元素互動」與「低元素互動」兩組的教材設計在內容上是完全相同的，其主要差異在於訊息傳遞策略的不同。在相同的段落裏，低元素互動是指將每次在版面中增加的元素逐步呈

現，並以顏色改變及突然出現的方式引導學習者專注在教師口語描述的內容上。如表 3 逐步引導學習者觀察圓外切四邊形時，四邊形各頂點都可視為圓外一點，而四邊形的邊也被切點切割為四組從頂點對圓所作的切線段，每組頂點及其對圓所作的切線段，以及切線段等長的性質都獨立呈現，因此分為八張投影片來展示相關內容。此時，教師對每張投影片也只需要作較少量的口語引導，藉著顏色及突然出現的元素設計，讓學生減少視覺搜尋及整合的負荷，從而更能掌握知識的內容，表 3 以圓外切四邊形的性質為例，展示「高元素互動」與「低元素互動」兩組在教學設計上的主要差異。

表 3

圓外切四邊形的性質之教學設計

| 高元素互動教材 | 低元素互動教材 | |
|--|---|---|
|  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |
| <p>說明：引導學習者觀察圖形中圓和四邊形各邊之間的關係，從而察覺出四邊形與圓相切是解題的關鍵。</p> | | |
|  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |
|  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> |  <p>切線與圓 (Q5)</p> <p>四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$</p> | |
| <p>說明：引導學習者觀察到四邊形的四個頂點及四個切點，並能察覺到可以應用「過圓外一點對圓所作的兩切線段長相等」的性質。</p> | | |

(續下頁)

高元素互動教材

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

41

低元素互動教材

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

138

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

139

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

140

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

141

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

142

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

143

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

144

切線與圓 (Q5)

四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點。試說明 $AB + CD = AD + BC$

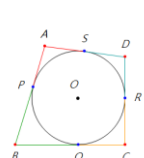
145

說明：讓學習者理解「過圓外一點對此圓所作的兩切線段長相等」的性質中，各元素之間的對應關係，其中無關的資訊作淡化處理。

(續下頁)

高元素互動教材

切線與圓 (Q5)



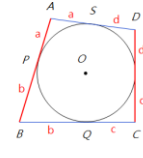
四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$ 。

∵ 圓外一點到此圓的兩切線長相等

$$\begin{aligned} \therefore AP &= AS, BP = BQ, \\ CR &= CQ, DR = DS \\ AB + CD &= AP + BP + CR + DR \\ &= AS + BQ + CQ + DS \\ &= AS + DS + BQ + CQ \\ &= AD + BC \\ \text{即 } AB + CD &= AD + BC \end{aligned}$$

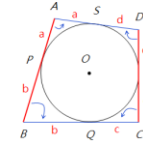
低元素互動教材

切線與圓 (Q5)



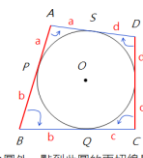
四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$ 。

切線與圓 (Q5)



四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$ 。

切線與圓 (Q5)



四邊形 $ABCD$ 的四邊分別與圓 O 切於 P, Q, R, S 四點，試說明 $AB + CD = AD + BC$ 。

∵ 圓外一點到此圓的兩切線長相等

$$\begin{aligned} AB + CD &= a + b + c + d \\ &= a + d + b + c \\ &= AD + BC \end{aligned}$$

說明：運用線條、記號等表達出「過圓外一點對此圓所作的兩切線段長相等」的性質，並以文字說明推理過程。

(二) 「圓與切線間之性質」學習成效之評量工具

因不同學習成就學生是依據校內定期評量的平均成績作分組，為確保不同學習成就學生的起始程度一致，本研究在實驗教學前，先以紙筆測驗的方式，對各研究對象進行相關先備知識的測驗；在完成實驗教學後，同樣以紙筆測驗的方式，進行與學習內容相關的後測評量；進一步地，為了確認研究對象對知識的掌握並非靠著記憶而來，因此於教學實驗結束四週後進行延後測，其中延後測與後測的考卷內容完全相同。上述評量工具之效度採專家效度，分別與五位國中數學老師及一位教學專家共同討論審閱，以確定評量工具之有效性。為確定評量工具的適用性，因此先以同校另外兩個九年級的常態班級（共 63 位學生）進行預試，由此得到先備知識測驗卷難度介於 0.53 與 0.65 之間，鑑別度介於 0.59 與 0.88 之間；後測測驗卷難度介於 0.47 與 0.62 之間，鑑別度介於 0.76 與 1.00 之間，表示各題之難度與鑑別度均適中；而內部一致性係數（Cronbach's α ）分別為 0.96 和 0.93，說明上述測驗之內部一致信度良好，適合作為評量工具。

先備知識測驗卷共有八個問題，每題五分，總分四十分。內容主要檢測學習者之先備知識，包括三角形的面積、勾股定理、點與直線或圓的概念、圓與切線的關係等，全部的題目均以填充題或計算題的形式呈現，並沒有包含需要作多步驟推理的幾何問題。

後測測驗卷由計算題及說明題兩部分組成，測驗卷共含有八個問題（每部分四題），每題十分，總分八十分。並對每題之計算及說明步驟採分段方式給分，給分之標準如表 4 所示。其中，第 1-4 題為計算題，第 1 題與教學示例內容相近，第 2-4 題為非教學示例題，主要檢測學習者是

否能應用所學的性質及知識；第 5-8 題為說明題，其內容與上課使用的教學示例相近，主要檢測學習者對推理內容的掌握程度。

表 4

後測各題之評分標準

| 得分 | 作答情形 |
|----|-------------------------------------|
| 0 | 空白未作答、圖上標示完全與解題無關或寫出與題目不相關的答案。 |
| 2 | 能嘗試描述或標示圖形中與解題相關的部份性質。 |
| 4 | 能看出圖形的部份關鍵要素，並以數學語言表達圖形的相關性質。 |
| 6 | 能看出圖形的主要關鍵要素，並以數學語言表達圖形的相關性質。 |
| 8 | 能看出圖形的所有關鍵要素，但在利用數學語言表達時，過程有誤或步驟不足。 |
| 10 | 能根據題目的要求完整且正確地利用所有關鍵要素做說明。 |

(三) 學習效率及學習投入測量工具

有關認知負荷的測量，不易藉由標準化的測量方式獲得，Sweller 等人（2011）認為主觀測量是最常用作量度認知負荷的工具。其中 Paas（1992）建議一個單一比例的心智努力的主觀測量，使用九點制的李克特量表，要求學習者進行自我評價，雖然主觀評定量表不能提供實際時間的同步數據，但上述方式能更有效地獲取學習者的認知負荷感受，並被證實是最敏感的測量工具，可用來區分不同教學程序所產生的認知負荷，且已被廣泛使用（Sweller et al., 2011）。更進一步地，Paas 與 van Merriënboer（1993）分別將代表認知負荷感受的心智努力（mental effort）以及學習表現的原始分數轉化為 Z 分數，以心智努力（R）作為 x 軸，學習表現（P）作為 y 軸，將不同組別的學生的資料以坐標（R, P）描繪在平面坐標系中，用作描述該組別的學習效率（learning efficiency）（E），其中位於直線 $y - x = 0$ 上的點表示學習效率為 0，表示學習者所付出的心智努力與所呈現的學習表現相等。當所付出的心智努力少於學習表現時（ $E > 0$ ），代表有更好的學習效率；反之，當需要付出較多的心智努力才能獲得相應的學習表現時（ $E < 0$ ），則代表學習效率不佳。因此學習效率、心智努力以及學習表現可以下面公式表示：

$$E = \frac{R - P}{\sqrt{2}}$$

Paas、Tuovinen、van Merriënboer 與 Darabi（2005）利用類似的方法，以心智努力（R）作為 x 軸，學習表現（P）作為 y 軸，將不同組別的學生的資料以坐標（R, P）描繪在平面坐標系中，用作描述該組別的學習投入（learning involvement）（I）來表示動機面向的探討，其中位於直線 $y + x = 0$ 上的點表示學習投入為 0，即學習者所付出的心智努力與所呈現的學習表現剛好抵消。當所付出的心智努力與學習表現都較多時（ $I > 0$ ），代表為高的學習投入；反之，當需要

付出的心智努力及學習表現都較少時 ($I < 0$)，代表學習者只有較低的學習投入。因此學習投入、心智努力以及學習表現可以下面公式表示：

$$I = \frac{R + P}{\sqrt{2}}$$

藉由上述方式，在探討數學學習成效的同時，也藉著認知負荷感受的測量說明相關教學設計是否給予學習者更好的學習效率以及學習的投入情形。本研究在完成教學實驗後，由學習者填寫九點量表方式回答問題「你覺得要理解這單元的內容，在精神上有多費力？」，代表學習者之心智努力程度，並以後測的得分作為學習表現的指標，將上述分數轉化為 Z 分數後，藉著學習效率及學習投入的數值來探討本研究的學習效果。

四、實驗流程

整個實驗分為三個階段進行共 100 分鐘。第一階段為先備知識測驗，學習者需在 10 分鐘內完成八道圓與切線的相關先備知識問題，所得分數與學習者在八年級上學期三次數學科定期評量測驗之平均分數將分別作為檢測兩組的起始點是否一致的指標。在確定兩組研究對象之成績無顯著差異後，正式進入實驗階段，此階段分為教學及後測兩個部分，在完成教學後學生隨即回答心智努力程度的問題，整個過程約 40 分鐘完成，配合上課時間的安排，於教學實驗後的隔天進行 25 分鐘的後測。第三階段為教學實驗結束的四週之後，利用 25 分鐘完成延後測的評量。

肆、研究結果

一、學習表現分析

表 5 顯示不同「學習成就」與使用不同「元素互動」教材的四組學生，在校內數學定期評量及先備知識測驗成績之描述統計資料。從 Levene 檢定顯示相同學習成就組別之變異數相等，即相同「學習成就」學生分配到使用不同「元素互動」教材的學生起始成績之離散情形並無顯著差異；並利用獨立樣本 t 檢定，結果顯示低學習成就被分配到使用不同互動元素教材組別的學生之定期評量成績， $t(56) = 0.000$ ， $p > .05$ ，與先備知識測驗， $t(56) = 0.174$ ， $p > .05$ ，以及高學習成就被分配到使用不同互動元素教材的學生之定期評量成績， $t(56) = 0.455$ ， $p > .05$ ，與先備知識測驗， $t(56) = 0.219$ ， $p > .05$ ，均無顯著差異，因此可視兩組學生所具備的先備知識情況相若。

表 5

各組學生校內數學定期評量、先備知識測驗成績之描述性統計量

| 組別 | | 低學習成就 | | | 高學習成就 | | |
|-------|--------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | <i>n</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>n</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| 高元素互動 | 定期評量 | 29 | 22.40 | 9.53 | 29 | 53.98 | 11.44 |
| | 先備知識測驗 | | 12.76 | 12.22 | | 29.66 | 8.55 |
| 低元素互動 | 定期評量 | 29 | 22.40 | 7.38 | 29 | 52.54 | 12.57 |
| | 先備知識測驗 | | 12.24 | 10.32 | | 29.14 | 9.47 |

註：定期評量與先備知識測驗的總得分分別為 100 及 40。

學生分別以「高元素互動」與「低元素互動」教材來學習圓與切線的相關概念後，從他們在後測及延後測的整體結果而言，使用不同元素互動教材學習圓與切線之成效並不相同。以下分別對後測及延後測中各部分作詳細的分析：

(一) 實驗教學後之當下學習成果

實驗教學結束後的隔天，進行後測以檢測學生當下之學習成果。後測問卷分為計算及說明題兩部分，表 6 顯示後測各部分的描述性統計資料。從二因子多變量變異數分析結果顯示，Levene 檢定未達顯著性，顯示各組有同質的變異情況；然而，共變量矩陣等式 BOX 檢定達顯著，整體效果的多變量考驗顯示，「學習成就」的 Pillai's Trace = 0.209, $p < .001$ ，「元素互動」的 Pillai's Trace = 0.163, $p < .001$ ，「學習成就」與「元素互動」交互作用的 Pillai's Trace = 0.983, $p = .394$ 。整體而言，「學習成就」與「元素互動」在本研究中沒有顯著的交互作用，但它們各自的主效果皆達顯著。單變量 F 考驗的統計結果顯示，「學習成就」在後測計算題， $F(1,112) = 90.947, p < 0.001, \eta^2 = .448$ ，及說明題均達顯著， $F(1,112) = 55.309, p < 0.001, \eta^2 = .331$ ，並顯示「學習成就」與各類問題的成績高度相關；同樣地，「元素互動」在後測計算題， $F(1,112) = 19.185, p < 0.001, \eta^2 = .146$ ，及說明題也達顯著水平， $F(1,112) = 17.842, p < 0.001, \eta^2 = .137$ ，顯示「元素互動」與計算題的成績高度相關，也與說明題達中度相關的效果。意即本研究中使用不同互動元素的教材設計與不同學習成就的學生對於學習圓與切線性質都有顯著不同的效果，由各組平均數得知，使用低元素互動教材的學習效果較佳，高學習成就學生的學習成效較低學習成就學生來得好，顯示對高學習成就的學生，使用低元素互動教材學習也有明顯的助益。

表 6

各組學生後測成績之描述性統計量

| 組別 | 題型 | <i>n</i> | 低學習成就 | | 高學習成就 | | |
|-------|-----|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>n</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| 高元素互動 | 計算題 | 29 | 6.07 | 8.49 | 29 | 20.48 | 7.80 |
| | 說明題 | | 5.93 | 8.34 | | 17.52 | 10.08 |
| | 總分 | | 12.00 | 16.39 | | 38.00 | 14.36 |
| 低元素互動 | 計算題 | 29 | 11.90 | 10.16 | 29 | 29.24 | 9.25 |
| | 說明題 | | 11.38 | 11.71 | | 28.21 | 10.72 |
| | 總分 | | 23.28 | 20.87 | | 57.45 | 18.69 |

註：後測總得分為 80 分，計算題及說明題各 40 分。

(二) 實驗教學四週後之延遲學習成果

為瞭解研究對象對學習內容的理解情況，於教學實驗結束四週後進行了延後測，該問卷與後測問卷內容相同。表 7 顯示延後測各部分的描述性統計資料。從二因子多變量變異數分析結果顯示，Levene 檢定與共變量矩陣等式 BOX 檢定均達顯著性，顯示各組學生的變異情況有一定的差異。從整體效果的多變量考驗顯示，「學習成就」的 Pillai's Trace = 0.483, $p < .001$ ，「元素互動」的 Pillai's Trace = 0.205, $p < .001$ ，「學習成就」與「元素互動」交互作用的 Pillai's Trace = 0.032, $p = .166$ 。整體而言，「學習成就」與「元素互動」在延後測中沒有顯著的交互作用，但它們各自的主效果皆達顯著。單變量 F 考驗的統計結果顯示，「學習成就」在後測計算題， $F(1,112) = 103.068$, $p < 0.001$, $\eta^2 = .479$ ，及說明題均達顯著， $F(1,112) = 60.882$, $p < 0.001$, $\eta^2 = .352$ ，並顯示「學習成就」與各類問題的成績高度相關；同樣地，「元素互動」在後測計算題， $F(1,112) = 20.141$, $p < 0.001$, $\eta^2 = .152$ ，及說明題也達顯著水平， $F(1,112) = 27.203$, $p < 0.001$, $\eta^2 = .195$ ，並顯示使用不同元素互動教材對評量成績有高度的關聯。意即本研究中所使用不同「互動元素」的教材與不同「學習成就」的學生對於圓與切線性質學習的理解效果有顯著不同，由各組平均數得知，使用低元素互動教材的學生表現較佳，高學習成就學生的表現也較低學習成就學生來得好。

表 7

各組學生延後測成績之描述性統計量

| 組別 | 題型 | <i>n</i> | 低學習成就 | | <i>n</i> | 高學習成就 | |
|-------|-----|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | | <i>M</i> | <i>SD</i> | | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| 高元素互動 | 計算題 | 29 | 4.00 | 5.83 | 29 | 18.00 | 8.07 |
| | 說明題 | | 2.90 | 4.59 | | 12.62 | 8.30 |
| | 總分 | | 6.90 | 9.88 | | 30.62 | 13.14 |
| 低元素互動 | 計算題 | 29 | 9.03 | 8.12 | 29 | 27.17 | 11.21 |
| | 說明題 | | 8.34 | 9.55 | | 24.41 | 11.65 |
| | 總分 | | 17.38 | 16.97 | | 51.59 | 21.50 |

註：延後測總得分為 80 分，計算題及說明題各 40 分。

整體來說，從重複量測變異數分析可見，各變量之間的交互作用均沒有達到顯著水平。高學習成就學生較低學習成就學生有較好的學習成效是可以預期的， $F(1,112) = 94.489, p < .001, \eta^2 = .458$ ，且使用低元素互動教材較高元素互動教材學習的學生有較好的表現， $F(1,112) = 26.185, p < .001, \eta^2 = .189$ ，學習成就的高低與不同的元素互動教材與成績之間均是高度相關。然而，對不同學習成就的學生來說，使用低元素互動教材學習圓與切線概念時雖能較高元素互動教材有較好的學習成效，但在四週後的評量中，兩種互動教材的使用者表現均有顯著下降的趨勢， $F(1,112) = 61.225, p < .001$ 。說明上述的教材設計對幫助概念保留的情況還不夠理想，且減退的情況各組相若，但從延後測總分看來，使用低元素互動教材的高學習成就學生仍能正確回答超過一半的評量問題，教學效果符合預期。

二、學習效率及學習投入分析

各組學生在完成教學實驗後，各人以填寫九點量表的方式，表達自身對理解圓與切線性質的內容，在精神上感覺需要費力的程度，表 8 顯示各組學生花費心力感受之描述性統計資料。單變量 F 考驗的統計結果顯示，Levene 檢定未達顯著，顯示各組之間有同質的變異情況；「學習成就」與「元素互動」的交互作用未達顯著， $F(1,112) = 2.582, p = .111$ ，顯示不同學習成就學生以不同的互動教材在學習圓與切線性質時，其花費心力感受大致相同。對於不同「學習成就」的學生，其花費心力的感受沒有顯著差異， $F(1,112) = 5.388, p = .083$ ，說明他們學習相關概念需要花費的心力相若；然而，「元素互動」則達顯著差異， $F(1,112) = 6.683, p = .011, \eta^2 = .056$ ，與花費心力感受呈中度相關。顯示使用不同的學習教材，學生所感受到要花費心力的程度不太相同，從各組的平均數得知，以低元素互動教材學習的學生，不管是對哪一種學習成就的學生，他們所花費的心力都顯示較使用高元素互動教材學習的學生少。

表 8

各組學生在花費心力感受之描述性統計量

| 組別 | <i>n</i> | 低學習成就 | | <i>n</i> | 高學習成就 | |
|-------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | <i>M</i> | <i>SD</i> | | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| 高元素互動 | 29 | 4.45 | 1.50 | 29 | 4.41 | 1.48 |
| 低元素互動 | 29 | 4.21 | 1.05 | 29 | 3.38 | 1.24 |

註：感受程度為 1-9 分，9 分代表非常費力。

將學生之後測總分及花費心力感受轉化為 Z 分數後，根據 Paas 與 van Merriënboer (1993) 以及 Paas 等人 (2005) 分別換算出學習效率 (E) 和學習投入 (I) 的分數，如表 9 所示。再以各組的後測總平均分為 *x* 坐標，各組花費心力平均感受為 *y* 軸，各組的學習效率與學習投入情況如圖 1 所示。綜合學習效率及學習投入分數，可得知使用低元素互動教材的高學習成就學生屬高效率高投入，而使用高元素互動教材的高學習成就學生，他們的學習效率一般但屬於高投入的學習，而對於低學習成就的學生來說，不管使用哪一種教材，他們都只能產生低效率低投入的學習。由圖 1 的分析可見，低元素互動的教材可以讓學習者有較高的學習效率及學習投入，即使對學習成就較低的學生而言，同樣會有較好的學習效率及投入情況。

表 9

不同組別及學習成就學生之學習效率與學習投入分數

| 組別 | 學習成就 | <i>Z</i> _{後測總分} | <i>Z</i> _{花費心力} | 學習效率 | 學習投入 |
|-------|------|--------------------------|--------------------------|-------|-------|
| 高元素互動 | 低 | -0.85 | 0.24 | -0.77 | -0.42 |
| | 高 | 0.22 | 0.22 | -0.00 | 0.31 |
| 低元素互動 | 低 | -0.38 | 0.07 | -0.32 | -0.22 |
| | 高 | 1.01 | -0.53 | 1.09 | 0.34 |

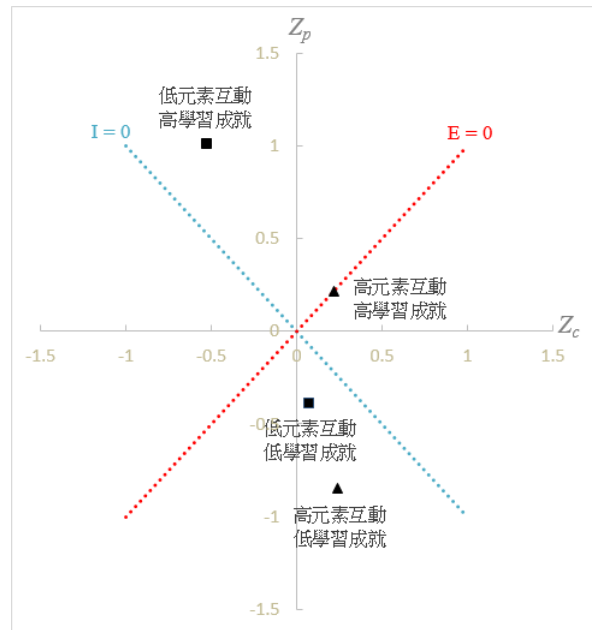


圖 1 學習效率與學習投入分數圖。E 表示學習效率；I 表示學習投入； Z_p 表示標準化後之花費心力； Z_c 表示標準化後之後測總分。

伍、討論與建議

本研究使用元素逐步呈現的教學設計，配合老師的口語引導來呈現圓與切線性質的教學內容，藉著控制每次圖形呈現元素量的教學方式，探討在幾何教學中對不同學習成就學生之學習成效的影響。由研究結果顯示，每次能呈現較少的圖形元素，以產生低元素互動效果的教學設計，對不同學習成就的學生，都帶來正面的學習效果、有較高的學習效率及投入的情況；並且對高學習成就學生來說，沒有因為過於細部的切割而產生了反效果，說明對圖形的概念作區塊化的切割方式，能幫助降低學習者的認知負荷從而增加學習成效，對不同學習成就的學生都是重要的教學設計參考。因為根據多媒體學習的認知理論 (Mayer, 2005, 2009) 的假設，個體需要將從不同通道進來的訊息作有意義的整合才能產生理解，在整合的過程中，視覺必須快速搜尋與聽覺接收匹配的資訊，因此個體的先備知識是意義產生的主要來源，也是對於不同學習成就的學生，他們的學習表現常都有顯著差異的主要原因。如果在先備知識大致相同的前提下，有效地幫助視覺搜尋重要的資訊則成為影響學習成效的關鍵。因此，根據多媒體教學設計原則來呈現版面的基本內容外，將幾何圖形的元素作區塊化處理，並以逐步呈現的方式讓學習者聚焦在重要元素上，因減少工作記憶區同時處理的元素量而有助於資訊作有意義的整合，是增加學習成效的主要原因。

從本研究結果可知，低元素互動的設計，有助於掌握當下視覺與聽覺所接受的知識內容，也讓學習者感到只需要花費較少的心力，就能理解相關的學習內容。學習效率及學習投入目前

是以學習者的自我感受為依據，以九點量表方式量化個人所投入的心智努力，其代表性以及研究方法上都有討論的空間，在未來研究中可考慮作進一步的探討。本研究先以圓切線性質為例，探討低元素互動之教學設計之學習成效，這樣的設計理念應可作為設計幾何教學的參考依據，進一步探討使用上述設計在教學現場長期實施的教學成效。然而，使用低元素互動教材進行學習雖然有一定的幫助，但學習成效在延後測中呈現減退現象，減退程度與利用高元素互動教材學習的學生相若，說明這樣的學習方式雖有助於幫助學習者作資訊的整合及組織，但對於形成長期記憶區中的知識，還必須借助其他輔助策略來達成。就如 Jamet 等人 (2008) 的研究中也有透露類似的情況，他們設計以顏色改變來引導學習者一步一步理解人類大腦的各個部分，研究結果顯示對於記憶保留的問題均有不錯的學習成效，但對於處理遠遷移的問題時，上述的設計則無法顯現出顯著的學習成效。本研究所使用的任務都是屬於對學習內容記憶保留的問題，或屬於將概念作近遷移的計算問題，未來研究一方面可以討論上述設計在遠遷移問題上的學習成效，另一方面在配合低元素互動的教材設計下，未來可考慮透過增加練習 (van Gog & Kester, 2012)、後設認知的提問 (Mevarech & Kramarski, 2003)、反思题目的結構表徵 (Richland & Hansen, 2013) 等方式來增強概念保留及概念應用的效果，都是進一步研究中教學設計的參考依據。

透過多媒體的輔助，為教學設計提供多元化呈現的有效平台。從多媒體設計原則，教學設計時要避免加入干擾學習的多餘資訊，然而，對於內在認知負荷的處理，更需要教學設計者根據內容及學習者特性，將資訊有效地展示出來。認知負荷理論與多媒體設計原則較多是考慮對知識結構或呈現順序的改變 (如作合適的分段或切割)，旨在資訊進入學習者的感官前如何作合適的處理，而較少考慮當資訊進入感官後是否能藉著多媒體的輔助來幫助學習。從研究結果發現，對含有複雜資訊的幾何內容，即使配合教師的口語引導，也未必能同時完整地掌握所有資訊。雖然使用顏色、閃爍等方式作為突顯資訊的信號，是有效幫助學習者選取資訊的方法 (Mayer, 2009)，然而當畫面同一時間顯示大量資訊時，要如何對突顯資訊作有效的組織，卻不是一件顯而易見的事情。本研究結果給予呈現教學內容的參考設計，包括：(1) 對逐步呈現的資訊區塊化：教學設計者需要透過對數學概念的理解，將整個概念切割為只包含少量元素的有意義組織；(2) 提供視覺與聽覺資訊連結適當的瀏覽空間：在陳述概念時以最簡潔的圖形為開始，如同一步一步地建構知識，相應元素應以累加的方式呈現；(3) 使用視覺引導的提示：利用顏色改變或突然出現的方式引導視覺搜尋，配合口語引導以幫助學習者作有效的配對。其中 PowerPoint 簡報軟體為資訊逐步呈現提供有效快速的設計環境，搭配 AMA 外掛增益集能處理國中幾何內容與圖形相關的主要概念，建議在使用多媒體進行幾何教學設計時多加利用，而非在投影片的頁面上呈現問題及解答的簡報功能。

很多學科的學習都會配合圖示來輔助說明，而相關圖示常都含有複雜的資訊，因此會藉著動畫、顏色的變化、加入箭頭指示重點等方式，來突顯學習者需要注意的資訊內容。然而，幾何圖形的結構會被認為是複雜的，多半源自圖形從簡單線條所構成卻可以分割成很多不同的子圖，它們很多時候卻是相互重疊且在不同子圖中扮演著不同的角色，而有效的子圖分割將是解題的關鍵 (Duval, 1998)。因此，幾何單元很適合將各圖像元素以逐步呈現的方式來進行教學設計，來達到突顯特定子圖及其結構的目的。如同 Luzón 與 Letón (2015) 在解說簡單機率問題的設計一樣，向學習者展示解題的局部到整體的發展過程，較一次呈現所有解題內容再一步一步進行解說有較好的學習成效，這樣的設計在引導學習者注意力以降低他們在選取及組織資訊中的認知負荷有一定的幫助。未來研究針對幾何圖形從局部發展到整體的突顯方式，與在整體圖形上再以顏色或明暗來突顯元素的方式可作進一步的探討比較，為幾何教學的設計將能提供更明確的參考指引。

誌謝

本文為科技部專題研究計畫(計畫編號: MOST-101-2511-S-009-006-MY2 及 MOST 104-2511-S-009-004-MY2) 的部份研究成果，在此感謝科技部之補助。

參考文獻

- 左台益 (主編) (2012)。國民中學數學第五冊。臺南：南一。【Tso, T. Y. (Ed.). (2012). *Junior high school mathematics book 5*. Tainan, Taiwan: Nani. (in Chinese)】
- 教育部 (2008)。97 年國民中小學九年一貫課程綱要數學學習領域。臺北：作者。【Taiwan Ministry of Education. (2008). *General guidelines of grade 1-9 curriculum of elementary and junior high school education for mathematics learning area*. Taipei, Taiwan: Author. Retrieved from http://teach.eje.edu.tw/9CC/index_new.php (in Chinese)】
- Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D., & Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 34(3), 66-72. doi: 10.1007/BF02655708
- 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. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 287-298. doi: 10.1002/acp.1245
- 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

- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559. doi: 10.1126/science.1736359
- Bodemer, D., Ploetzer, R., Feuerlein, I., & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14(3), 325-341. doi: 10.1016/j.learninstruc.2004.06.006
- Bostic, J., & Pape, S. (2010). Examining students' perceptions of two graphing technologies and their impact on problem solving. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 29(2), 139-154.
- Boucheix, J. M., & Lowe, R. K. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and Instruction*, 20, 123-135. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.015
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. New York, NY: Pergamon Press. doi: 10.1037/10037-000
- 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
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 151-170. doi: 10.1002/(SICI)1099-0720(199604)10:2<151::AID-ACP380>3.0.CO;2-U
- Clarke, T., Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The impact of sequencing and prior knowledge on learning mathematics through spreadsheet applications. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 15-24. doi: 10.1007/BF02504794
- Craig, S. D., Gholson, B., & Driscoll, D. M. (2002). Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: Effects of agent properties, picture features and redundancy. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 428-434. doi: 10.1037//0022-0663.94.2.428
- Crooks, S. M., Cheon, J., Inan, F., Ari, F., & Flores, R. (2012). Modality and cueing in multimedia learning: Examining cognitive and perceptual explanations for the modality effect. *Computers in Human Behavior*, 28, 1063-1071. doi: 10.1016/j.chb.2012.01.010
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134. doi: 10.1007/s11251-009-9110-0
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010). Learning by generating vs. receiving instructional explanations: Two approaches to enhance attention cueing in animations. *Computers & Education*, 55, 681-691. doi: 10.1016/j.compedu.2010.02.027
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology*, 92, 53-78. doi: 10.1348/000712601162103
- Duval, R. (1995). Geometrical pictures: Kinds of representation and specific processings. In R. Sutherland & J. Mason (Eds), *Exploiting Mental Imagery with Computers in Mathematics Education* (pp. 142-157). Berlin, Germany: Springer.
- Duval, R. (1998). Geometry from a cognitive point of view. In C. Mammana & V. Villani (Eds.), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century* (pp. 37-52). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- 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
- Graig, S. D., Gholson, B., & Driscoll, D. M. (2002). Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: Effects of agent properties, picture features, and redundancy. *Journal of Educational Psychology, 94*(2), 428-434. doi: 10.1037//0022-0663.94.2.428
- Guyen, B. (2012). Using dynamic geometry software to improve eight grade students' understanding of transformation geometry. *Australasian Journal of Educational Technology, 28*(2), 364-382. doi: 10.14742/ajet.878
- Hoffman, J. E. (1979). A two-stage model of visual search. *Perception & Psychophysics, 25*(4), 319-327. doi: 10.3758/BF03198811
- Hong, W., Thong, J. Y. L., & Tam, K. Y. (2004). Does animation attract online users' attention? The effects of flash on information search performance and perceptions. *Information Systems Research, 15*(1), 60-86. doi: 10.1287/isre.1040.0017
- Hu, F. T., Ginns, P., & Bobis, J. (2014). Does tracing worked examples enhance geometry learning? *Australian Journal of Educational & Developmental Psychology, 14*, 45-49.
- Hu, F. T., Ginns, P., & Bobis, J. (2015). Getting the point: Tracing worked examples enhances learning. *Learning and Instruction, 35*, 85-93. doi: 10.1016/j.learninstruc.2014.10.002
- Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior, 32*, 47-53. doi: 10.1016/j.chb.2013.11.013
- Jamet, E., Gavota, M., & Quaireau, C. (2008). Attention guiding in multimedia learning. *Learning and Instruction, 18*, 135-145. doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.01.011
- 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
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2004). Measuring knowledge to optimize cognitive load factors during instruction. *Journal of Educational Psychology, 96*(3), 558-568. doi: 10.1037/0022-0663.96.3.558
- Kester, L., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2006). Just-in-time information presentation: Improving learning a troubleshooting skill. *Contemporary Educational Psychology, 31*, 167-185. doi: 10.1016/j.cedpsych.2005.04.002
- Leahy, W., & Sweller, J. (2005). Interactions among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*(4), 266-276. doi: 10.1037/1076-898X.11.4.266
- Lee, C. Y., & Chen, M. J. (2016). Developing a questionnaire on technology-integrated mathematics instruction: A case study of the AMA training course in Xinjiang and Taiwan. *British Journal of Educational Technology, 47*(6), 1287-1303. doi: 10.1111/bjet.12339
- Liu, Y. (2012). Effects of integrating multimedia into the third grade mathematics curriculum to improve student learning. *Journal of Educational Technology Systems, 43*(3), 251-271. doi: 10.2190/ET.40.3.c
- Luzón, J. M., & Letón, E. (2015). Use of animated text to improve the learning of basic mathematics. *Computers & Education, 88*, 119-128. doi: 10.1016/j.compedu.2015.04.016

- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 93*(2), 377-389. doi: 10.1037//0022-0663.93.2.377
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9781139164603
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-48). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511816819.004
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511811678
- Mayer, R. E., & Johnson, C. I. (2008). Revising the redundancy principle in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 100*(2), 380-386. doi: 10.1037/0022-0663.100.2.380
- Mayer, R. E., Mathias, A., & Wetzell, K. (2002). Fostering understanding of multimedia messages through pre-training: Evidence for a two-stage theory of mental model construction. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 8*(3), 147-154. doi: 10.1037//1076-898X.8.3.147
- 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
- Mevarech, Z. R., & Kramarski, B. (2003). The effects of metacognitive training versus worked-out examples on students' mathematical reasoning. *British Journal of Educational Psychology, 73*, 449-471. doi: 10.1348/000709903322591181
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*(2), 81-97. doi: 10.1037/h0043158
- 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
- Muhanna, W. (2012). The effectiveness of web-based curricula on seventh grade mathematics students in Jordan. *Journal of College Teaching & Learning, 9*(4), 267-276. doi: 10.19030/tlc.v9i4.7297
- Müller, H. J., & Krummenacher, J. (2006). Visual search and selective attention. *Visual Cognition, 14*, 389-410. doi: 10.1080/13506280500527676
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Ogochukwu, N. V. (2010). Enhancing students interest in mathematics via multimedia presentation. *African Journal of Mathematics and Computer Science Research, 3*(7), 107-113.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology, 84*(4), 429-434. doi: 10.1037//0022-0663.84.4.429
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development, 53*(3), 25-34. doi: 10.1007/BF02504795

- Paas, F. G. W. C., & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737-743.
- Pashler, H. (1988). Cross-dimensional interaction and texture segregation. *Perception & Psychophysics*, 43(4), 307-318. doi: 10.3758/BF03208800
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86. doi: 10.1016/S0959-4752(01)00016-0
- Ragasa, C. Y. (2008). A comparison of computer-assisted instruction and the traditional method of teaching basic statistics. *Journal of Statistics Education*, 16(1). Retrieved from <http://www.amstat.org/publications/jse/v16n1/ragasa.pdf>
- 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
- Richland, L. E., & Hansen, J. (2013). Reducing cognitive load in learning by analogy. *International Journal of Psychological Studies*, 5(4), 69-80. doi: 10.5539/ijps.v5n4p69
- Rummer, R., Schweppe, J., Fürstenberg, A., Scheiter, K., & Zindler, A. (2011). The perceptual basis of the modality effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(2), 159-173. doi: 10.1037/a0023588
- Scheiter, K., Gerjets, P., & Catrambone, R. (2006). Making the abstract concrete: Visualizing mathematical solution procedures. *Computers in Human Behavior*, 22, 9-25. doi: 10.1016/j.chb.2005.01.009
- Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2010). A closer look at split visual attention in system- and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20, 100-110. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.011
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285. doi: 10.1016/0364-0213(88)90023-7
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312. doi: 10.1016/0959-4752(94)90003-5
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138. doi: 10.1007/s10648-010-9128-5
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-8126-4
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185-233. doi: 10.1207/s1532690xci1203_1
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(2), 176-192. doi: 10.1037/0096-3445.119.2.176
- 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

- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255(5), 114-125. doi: 10.1038/scientificamerican1186-114B
- 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 Gog, T., & Kester, L. (2012). A test of the testing effect: Acquiring problem-solving skills from worked examples. *Cognitive Science*, 36, 1532-1541. doi: 10.1111/cogs.12002
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search: A review. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 13-77). London, UK: University College London Press.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 601-621. doi: 10.1037//0096-1523.10.5.601
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1), 121-134. doi: 10.1037/0096-1523.16.1.121