

黃佑家、吳慧敏、黃暉娟、譚寧君、曾世綺、曾建銘（2014）。

以工作範例學習平行四邊形面積：後設認知問題對學習的影響。

臺灣數學教育期刊，1（1），19-47。

doi: 10.6278/tjme.20140329.001

以工作範例學習平行四邊形面積： 後設認知問題對學習的影響

黃佑家¹ 吳慧敏² 黃暉娟³ 譚寧君⁴ 曾世綺³ 曾建銘⁵

¹ 四結國民小學

² 佛光大學心理學系

³ 佛光大學資訊應用學系

⁴ 國立臺北教育大學數學暨資訊教育學系

⁵ 國家教育研究院

本研究目的旨在探討在平行四邊形的工作範例中，有無加入後設認知問題對不同能力學生的學習成效、學習時間、認知負荷的影響。本研究採 2×2 實驗研究法，自變項為「工作範例模式」（「後設認知組」和「對照組」）和「能力」（高、低）。受試者為 86 位國小五年級學生，依期中考數學成績分為高、低能力群，並以隨機方式分派至實驗組別。結果顯示，整體而言，後設認知問題會增加整體的學習時間，但這差異主要來自教材設計的系統性時間差異，後設認知問題沒有顯著影響高能力群的學習成效和認知負荷，但會降低他們的信心和意願；但對低能力群學生，在工作範例中加入後設認知問題顯著地增加他們在學習階段的負向認知負荷感和學習時間，但並沒有因此而提昇學習成效，也降低他們的信心和意願。

關鍵詞：平行四邊形、面積、認知負荷、後設認知問題

通訊作者：吳慧敏，e-mail：hmwu@mail.fgu.edu.tw

收稿：2013 年 9 月 27 日；

接受刊登：2014 年 3 月 29 日。

Huang, Y. J., Wu, H. M., Huang, H. C., Tan, N. C., Tzeng, S. C., & Cheng, C. M. (2014).
Learning the area of parallelograms with worked examples: The influence of metacognitive questions.
Taiwan Journal of Mathematics Education, 1(1), 19-47.
doi: 10.6278/tjme.20140329.001

Learning the Area of Parallelograms with Worked Examples: The Influence of Metacognitive Questions

You-Jia Huang¹ Huei-Min Wu² Hui-Chuan Huang³
Ning-Chun Tan⁴ Shyh-Chii Tzeng³ Chien-Ming Cheng⁵

¹Si Jie Elementary School

²Department of Psychology, Fo Guang University

³Department of Applied Informatics, Fo Guang University

⁴Department of Mathematics and Information Education, National Taipei University of Education

⁵National Academy for Educational Research

The purpose of this study was to examine whether including metacognitive questions in worked examples would influence learners of different abilities differently in terms of test performance, learning time, and cognitive load. A 2 (types of worked examples: with or without metacognitive questions) $\times$ 2 (ability: high and low) experimental study was conducted. The material was multimedia worked examples for learning the areas of parallelograms. The participants were 86 fifth graders from an elementary school. They were divided into high and low ability groups based on their mid-term exam and randomly assigned to one of the experimental groups. The results showed that the inclusion of metacognitive questions increased the overall learning time, but it was mainly due to the system difference of the instructional material. Inserting metacognitive questions in the worked examples did not influence high ability students' perception of cognitive load and test performance; however, it negatively influenced their perception of confidence and willingness to participate in the activity. For the low ability students, the inclusion of metacognitive questions significantly influenced their perception of cognitive load. They needed to invest more time and effort to learn. These effort unfortunately did not enhance their test performance and negatively influenced their confidence and willingness to participate in the learning activity.

Keywords: parallelogram, area, cognitive load, metacognitive question

Corresponding author : Huei-Min Wu , e-mail : hmwu@mail.fgu.edu.tw

Received : 27 September 2013;

Accepted : 29 March 2014.

壹、緒論

幾何是一門探討空間關係與邏輯推理的數學，幾何概念與表徵是數學與真實世界溝通的重要方式之一，且與數學其他領域緊密聯結（左台益、梁勇能，2001），因此各國的數學教材都將幾何列為數學的重要領域。臺灣在 92 及 97 年課程綱要中亦將幾何列為數學領域五大主題（數與量、代數、統計與機率、幾何、連結）之一，以強調幾何學習的重要性。但臺灣學生於幾何學習的表現與其他主題相比卻明顯較弱。例如 TIMSS 2007 年結果（Mullis, Martin, & Foy, 2008）顯示臺灣國小四年級組學生在數與量、幾何圖形與測量、資料呈現三種題目題型中幾何部分最弱，TIMSS 2011 結果（Mullis, Martin, Foy, & Arora, 2012）亦同。因此，如何在小學的階段發展幾何教學，由理解簡單形體的幾何性質開始，到推理性質與彼此之間的關係，增加學習成效並為銜接國中幾何的學習打下良好的基礎，成為一個重要的課題。故本研究以小學高年級學生進入幾何學習中首先面對的平行四邊形面積單元為主題。

在課程教學上，一般在介紹完基本概念和基本示範後，便要學生透過解題練習，以精熟內容和強化概念，且常是練習的題型多於所示範的題型（黃佑家，2013），結果學生不但沒有精熟內容，反而常常犯錯或產生一些迷思概念或對數學感到挫折。依據認知負荷理論（Sweller, 1998, 2006, 2007, 2010），傳統重視練習的教學法對初學者或缺乏解題基模的學習者，可能不是最佳的學習模式。從認知負荷理論的觀點，當學習者尚未有解題基模時，問題解決練習往往迫使學習者使用嘗試錯誤或手段—目的（means-ends）的策略，造成不當的運用有限的認知資源於尋找正確答案，增加了認知負荷，就算最後得到答案，也有可能未學習到解題背後所蘊含的原理原則，同時腦中混雜的正確與錯誤的表徵和解題策略，也干擾了有效的基模建立，浪費有限的認知資源，甚或在不斷試誤的過程中降低了學習者的自信心。因此依據認知負荷理論的觀點，為了促進有效的學習及建立學習者的自信心，在學習的初期適合以範例為基礎的學習（example-based learning）（Renkl, 2005, 2011）。

過去已有相當多的文獻支持工作範例對學習的正向影響（如 Renkl, 2011; Sweller & Cooper, 1985; Zhu & Simon, 1987），但工作範例的教學也面臨一些質疑，如工作範例只對解決相似或近遷移的問題有優勢，對不相似或遠遷移的問題則無優勢（Renkl, 2011），因此令人擔心在工作範例的教學模式下，學習者因順利解題而容易誤以為自己已瞭解學習內容，而實際上學習者只是模仿操作解題順序而沒有真正的理解（van Gog, Paas, & van Merriënboer, 2004），或沒有試圖深度理解學習的內容（Wittwer & Renkl, 2010）。因此，後續的研究試圖改變工作範例的設計，以提高工作範例的學習效果，特別是在工作範例中加入可以促進學生深度思考的設計，如反思（reflection）、後設認知（Mevarech & Kramarski, 2003）、或自我解釋（Crippen & Earl, 2007; Moreno

& Mayer, 2010)，研究結果亦支持，在工作範例中加入上述促進深度思考的設計，確實可提高學習效率。

然而分析相關文獻發現，使用自我解釋或後設認知策略的研究對象大都為年紀較大的中學生 (Mevarech & Kramarski, 2003; Renkl & Atkinson, 2002; van Gog, Paas, & van Merriënboer, 2006, 2008)，或大學生 (Schworm & Renkl, 2006; Stark, Kopp, & Fischer, 2011)，此策略對年紀較小，心智能力尚在發展中的學生（如小學生）是否依然有效，值得進一步探究。

此外，雖然 Mevarech 與 Kramarski (2003) 發現，接受後設認知訓練的學生表現優於工作範例訓練的學生，但他們的研究使用在教室中的合作式學習，如果在自學的多媒體學習環境中，將後設認知問題嵌入在工作範例的關鍵位置，鼓勵學生進行後設認知思考，再給予回饋，是否依然有相同的效益？另外，後設認知是高階的認知與思考能力，對低成就的學習者是否有能力進行後設認知思考，亦值得進一步探討。

基於上述研究背景，本研究目的在依據認知負荷理論，以平行四邊形面積單元為主題，設計工作範例的數位教材，並探討在工作範例中加入後設認知問題對不同能力學生的學習成效、學習時間與認知負荷的影響。

貳、文獻探討

一、工作範例效應 (the worked-example effect)

工作範例是指一個含有解題步驟的問題，John Sweller 和他的團隊在 1990 年代研究學生的問題解決時發現，在學習新任務時，透過研讀範例會比解題練習更能達成有效的學習 (Cooper & Sweller, 1987; Paas & van Merriënboer, 1994; Sweller & Cooper, 1985)，此即工作範例效應 (the worked-example effect)。Zhu 與 Simon (1987) 更是以工作範例的學習方法正式用於北京的一所中學，讓大部份學生在完全沒有教師教學的情況下，在二年內完成了三年的數學課程（二年的代數和一年的幾何）。

傳統的工作範例是以紙本媒體呈現，後續研究顯示，工作範例在多媒體的環境下（如：van Gerven, Paas, van Merriënboer, Hendriks, & Schmidt, 2003），及在網路的學習環境下（如：Crippen & Earl, 2007）依然有效，且 van Gerven 等人（2003）的研究顯示工作範例的效果不只對一般的年輕受試者有效，對年紀較大者（六十歲以上）亦有效，接受工作範例組的老人比接受傳統問題解決組，可以用較少的時間和較低的認知負荷達到相同的表現。相關研究並指出，工作範例對初學者或缺乏相關基模的學習者更有效益 (Renkl, 2011)。

二、工作範例理論基礎—認知負荷理論

為何以工作範例為基礎的學習會優於以練習為基礎的學習呢？依據 Sweller (1998, 2010)，這可以由認知負荷理論說明。認知負荷理論是以人類的認知系統特性為基礎的教學理論。認知負荷指在某情境下達成某特定目標所需要的工作記憶資源 (Kalyuga, 2009, p. 35)，它受任務的屬性及學習者的特性的影響 (Paas & van Merriënboer, 1994)。Sweller 與 Sweller (2006) 從知識的屬性指出，人類的知識屬性不同，處理的方式也會不同，因此，處理不同屬性的知識時認知負荷不同，學習的方式也不同。依據 Sweller 與 Sweller，人類的知識包括二類：初級知識 (primary knowledge) 及次級知識 (secondary knowledge)，初級知識是透過人類演化過程而將知識同化成人類與生俱有的本能，我們可以容易且通常是無意識地學到許多初級知識，當我們學習這些知識時，是感受不到任何認知負荷。而次級知識則是人類為延續與創新文化而產生的知識，不同的文化會產生不同的次級知識，這類知識的習得較困難、費力和需要有意識的處理，我們在學校的學習活動大都屬於這類。

然而人類是如何習得這些次級知識的呢？Sweller 與 Sweller (2006) 從自然天擇的演化觀點指出，人類認知訊息處理和自然天擇的演化有類比關係，可以歸類出五個基本原則，包括：1. 訊息儲存原則 (the information store principle)，2. 借用與重組原則 (borrowing and reorganizing principle)，3. 隨機生成原則 (randomness as genesis principle)，4. 有限改變原則 (narrow limits of change principle)，5. 環境組織與連結原則 (the environmental organizing and linking principle)。簡言之，這五原則的意義是：人類若要能面對日常生活中的問題和讓生活中的工作變得簡單，需要一個容量夠大的長期記憶庫 (訊息儲存原則)，我們透過與生俱來的初級知識模仿他人、聆聽或閱讀他人的所說、所寫的次級知識，然後進一步與自己長期記憶中的知識結合，重組出新的基模，達到真正的學習 (借用與重組原則)。但當沒有可借用的他人知識時，我們唯一可用的方法是嘗試錯誤，如果方法有效，我們就保留，如果無效，就繼續嘗試 (隨機生成原則)。然而人類工作記憶受容量有限 (7 ± 2) 及保留時間暫時性的限制，因此訊息如果不經複誦或不能複誦，大約在數秒之後就會忘記了 (Sternberg & Sternberg, 2012)，加上工作記憶通常不是用來儲存訊息，而是拿來處理 (如組織、結合、比較或是操弄) 所儲存的訊息，因此它一次能處理的訊息更是有限 (Cowan, 2001)，除非它們能很快的與長期記憶結合或能為長期記憶的基模所辨識 (有限改變原則)。Sweller 與 Sweller (2006) 認為長期記憶中接收的訊息是經過組織的，而非隨機編排的，由於它是有組織的，所以它的處理方式與來自環境的訊息處理方式非常不一樣，來自長期記憶的訊息無容量與時間的限制，Ericsson 與 Kintsch (1995) 稱此為「長期工作記憶」，其功能是提供我們與環境一個有組織的連結，亦即幫助我們與環境互動、產生意義及學習 (環境組織與連結原則)。

從上述認知系統訊息處理的原則，可看出長期記憶或先備知識在學習中扮演重要的角色，因此 Sweller 提出，教學的目的在於增加長期記憶中的次級知識，亦即，教學的目的在於幫助學習者建構與增長長期記憶的基模。若要實現這個目的，就必須考慮在處理新的次級知識時，工作記憶會受到容量和時間有限的嚴格限制。因此，雖然隨機生成的嘗試錯誤方法也是人類問題解決的方法之一，但從認知負荷的觀點，先讓學習者建立領域知識基模之後再進行解題或創意的思考，或許是更好的選擇（Renkl, 2005; Sweller, 1998），使用借用與重組原則是學習新知識最有效率的方法。

但是 Renkl（2005）也指出，雖然工作範例可以促進初學者的基模建構，但只適用於工作範例的設計是恰當時。工作範例的設計很重要但也很複雜，如何適當應用教學策略與設計呈現方式，考驗工作範例的有效性。簡言之，以範例為基礎的學習之成敗關鍵在於範例的設計是否讓人類的認知資源發揮最大的有效使用，亦即必須做有效的認知負荷管理。

三、認知負荷的管理與工作範例的教學成效

（一）認知負荷的類型

工作範例的成效關鍵在於其設計是否能有效管理學習過程中的認知負荷。認知負荷理論提出三種認知負荷類型（Paas, Renkl, & Sweller, 2004; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998）：內在認知負荷（intrinsic cognitive load）、外在認知負荷（extraneous cognitive load）和有效認知負荷（germane cognitive load）。

傳統上，內在認知負荷被定義為是來自教材的複雜度所造成的負荷感，亦即教材本身的難度，外在認知負荷是來自於教材呈現的方式所造成的額外負荷，而有效認知負荷為與基模建構有關的心智努力（Sweller et al., 1998）。Sweller（2010）指出，此三種認知負荷皆與元素互動（element interactivity）有關。一個元素（an element）是指任何要學習的事物，如一個概念或程序（Sweller, 2010）。元素互動是指個別的元素在學習時需指涉到其它的元素，因此學習者必須同時考慮多個元素，元素互動性愈高，認知負荷也愈高。依據 Sweller（2010），學習歷程的外在認知負荷與內在認知負荷的區辨是依據此元素互動是基於當前學習任務所必要（內在認知負荷）或基於教學程序的作用（外在認知負荷）所產生的元素互動，而有效認知負荷也可被定義為內在認知負荷，因為有效認知負荷是指用於與基模建構有關的認知負荷，所處理的是基模本身的元素互動，負荷是來自於基模本身所需的元素互動，因此學習歷程中的元素互動性影響學習歷程的認知負荷感。

另一方面，雖然內在認知負荷的程度是受任務本身的元素互動性的影響，但學習者的專業程度也會影響其對元素互動性的感知。例如，同樣的一個字 intrinsic，對沒有相關知識或不認識

此英文單字的人可能是 9 個元素所組成的符號，對熟悉此字彙的人，它只是一個元素。亦即教材的困難度或元素互動性會因學習者的專業程度不同而不同，因此從認知負荷的觀點，同樣的教材呈現方式，對不同的學習者可能產生不同的認知負荷感。

Sweller (2007, 2010) 指出，無效的教學是由高度的外在認知負荷所造成的，這阻礙了基模的習得與自動化。相反地，有效的教學是由於教學鼓勵高度的有效認知負荷所造成。除此之外，如果內在認知負荷很低的話，高度的外在認知負荷就不重要，儘管使用沒有效率的教學流程，仍有充份的工作記憶資源可用於學習。但反過來，如果內在認知負荷很高的話，外在認知負荷如果過高，將可能無法產生學習。從此觀點，有效的教學應降低教學歷程中不必要的外在認知負荷，以增加可用的認知資源從事基模建構或自動化的活動，或促進有效認知負荷的活動。

(二) 避免外在認知負荷的工作範例設計

承上對認知負荷類型的理解，內在認知負荷主要來自教材本身的複雜度，在不改變教學目標或內在認知負荷的情況下，有效的工作範例首先要減少不必要的認知負荷。Kalyuga (2009) 認為典型製造不必要認知負荷的教學情境有四：

1. 相關的表徵在時空中以分散注意力的方式呈現，學習者需要搜尋配對訊息才能理解內容，因而降低學習表現，此即所謂的分散注意力效應 (Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1999)。
2. 訊息改變的速度快或一次呈現的量超過學習者的認知負荷，特別是在多媒體的學習環境中，學習者常常因不當的教學設計，而需要在工作記憶中統整大量資訊而產生認知超荷，或來不及處理短暫停留的資訊而影響學習，產生短暫訊息效應 (transient information effect) (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)。
3. 未提供足夠的外在引導以彌補學習者知識不足，以致學習者被迫要隨機的產生解決方法。因此，研究一再支持使用工作範例比傳統的問題解決更能產生有效的學習，此即工作範例效應 (Renkl, 2005; Sweller & Cooper, 1985)。
4. 學習者本身的知識和所提供的知識重疊，因此，相同的訊息在學習者的心智上卻有二個互相參照的表徵，造成額外的負荷，產生所謂的專家反轉效應 (expertise reversal effect) (Kalyuga, 2009; Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003)，此現象常發生於原本用於輔助低先備知識學習者而提供的有效呈現方式，對高先備知識的學習者可能反而有害。

依據上面的論述，所呈現的訊息是否為外在認知負荷亦與學習者的專業知識有關，例如上述的第二點，訊息改變的速度或訊息是否過量的關鍵在於學習者能否在有限的時間內整合或統整資訊，依據前述有關人類記憶與知識屬性的瞭解，學習者的先備知識較佳或有相關基模的學習者，可以更有效率的知覺與整合訊息；又如第四點，教學者所提供的訊息，對沒有相關基模的學習者可能是有用的，但對先備知識較佳或有相關基模的人反而是一種干擾。

（三）促進有效認知負荷的教學設計

但另一方面，許多學者指出（如 Chi & Bassok, 1989; Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; Moreno & Mayer, 2010），只是降低不必要的認知處理，學習不一定能產生，除非教學的歷程能促使學習者積極的投入心智努力於知識的建構，或促進有效認知負荷。反思、自我解釋、或精緻化探問（elaborative interrogation）是過去研究用來增加有效認知負荷的策略（Moreno & Mayer, 2010）。受限於人類工作記憶的限制，一般認為，如果訊息要能留在記憶中並與長期記憶產生連結，學習者必須要精緻化這些認知的訊息，解釋給別人聽或能對工作範例中的解題步驟提出說明，可以檢驗學習者的理解，也促進學習者進行知識建構的歷程。Webb（1991）使用合作學習的情境，結果顯示接受精緻化解釋的人可以提昇學習成效。Renkl、Stark、Gruber 與 Mandl（1998）使用自我解釋的策略，學生在解題步驟中自我解釋，結果顯示此策略有助於增加有效認知負荷和提昇學習成效。Crippen 與 Earl（2007）的研究亦顯示，結構清楚的問題中，工作範例加自我解釋（self-explanation）會比傳統的工作範例有較佳的問題解決表現、自我效能和問題解決能力。

但 Chi 與 Bassok（1989）的研究則提出，在工作範例進行合作式學習狀況下，高成就與低成就的學生產生的自我解釋在質與量上有顯著不同的表現。此乃因高成就的學生在研讀工作範例時因自我解釋能力較強，較能建構新舊知識的連結，反之，低成就的學生自我解釋的能力較弱，在學習時只能一步一步的跟隨範例，而沒有和先備知識產生連結或試圖建構一個問題基模，亦即低成就學生很少會使用後設認知技能，以致無法產生學習遷移。Mevarech 與 Kramarski（2003）則發現訓練學生在解題時，自己提問和回答後設認知問題會比工作範例有較佳的立即及延後測表現，且他們發現此後設認知訓練對低成就的學生比高成就學生更有顯著的效益。

但值得注意的是在 Mevarech 與 Kramarski（2003）的研究使用在教室中的合作式學習，且在他們的研究中，工作範例組研讀完一個工作範例後要解四個問題，從認知負荷理論的觀點，這種設計是傳統的問題解決模式，在缺乏相關的解題基模時，合作學習也許是扮演克服個體工作記憶限制的一種替代模式，因此認知負荷理論亦預測低成就的學生在合作式學習模式的收獲會大於高成就組。如果在自學的多媒體學習環境中，將後設認知問題嵌入在工作範例的關鍵位置，鼓勵學生進行後設認知思考，再給予回饋，是否依然有相同的效益？另外，後設認知是高階的認知與思考能力，對低成就的學習者是否有能力進行後設認知思考，亦值得進一步探討。

四、後設認知與問題思考

後設認知是一個人對其認知過程的知覺及自我調整（Flavell, 1976），Mevarech 與 Kramarski（2003）認為學生也許需要透過小組方式，激發學生對問題的思考、對解題歷程進行反思，和建構新舊知識的關係，因此他們以合作學習的方式，比較給予後設認知訓練和工作範例訓練的

學生之數學推理、數學溝通和數學成就的表現，結果發現，訓練學生在解題時，自己提問和回答後設認知問題會比工作範例有較佳的立即及延後測表現，且他們發現此後設認知訓練對低成就的學生比高成就學生更有顯著的效益。King（1991）亦指出，訓練學生集中於新舊知識的關聯性問題上提出後設問題並回答，其學習成效優於只被要求提出各種不同問題的學生。

依據上述文獻，在工作範例中加入自我解釋，或要求學生提問及回答後設認知問題，可以促進有效認知負荷及深層訊息處理，但其效果可能因學習者的先備知識不同，而可能有不同的成效。因此，本研究檢驗後設認知問題的教學設計之成效時，亦加入學習者先備能力的變項，以檢驗所設計的教學策略與學習者的能力是否有交互作用。

Mevarech 與 Kramarski（1997, 2003）的研究將後設認知問題分為四類，包括理解性問題（comprehension questions）、連結性問題（connection questions）、策略性問題（strategy questions）、及反思問題（reflection questions）。理解性問題在促進學生面對問題解決前仔細思考的能力，學生在解決問題前必須試著了解題意，例如：「這個題目是什麼意思？」連結性問題在促進學生聚焦在已經解決問題之間的異同處，例如：「這個問題和你已經解決過的問題間有什麼相似處？」策略性問題在促進學生面對問題解決考慮選用最適當的解題策略技能，學習者必須知道用什麼策略解決問題、為什麼這個策略最好及應該如何使用；反思性問題在促進學習者在解題過程中針對自己的理解和感受進行反思，例如：「我正在做什麼？」、「在解決問題時我面臨什麼困難？」、「我如何驗證這個結果？」、「我能使用不同的方法解決問題嗎？」Mevarech 與 Kramarski（1997）指出當學習者被訓練處理後設認知問題時，面對問題陳述的理解、與舊知識、問題經驗的連結、解題使用的最佳策略和對解題步驟的自我反思，可以提昇學習成效，尤其是低成就學生。因此，本研究的後設認知問題系依據 Mevarech 與 Kramarski 的後設認知問題類型而設計，以檢驗要求學生思考後設認知問題，是否可引導學生深度處理相關訊息或統整相關概念，雖然會加重其學習過程的認知負荷感，但也許可以減少解題的錯誤與迷思概念現象。

五、認知負荷的測量

Kalyuga（2009）認為，認知負荷是一個抽象概念，反映個體的認知特性和訊息結構的互動情形。依據 Kalyuga，理想上，這也是個體完全投入在執行一個任務時的認知資源，但個體實際投入的認知資源則受很多因素的影響，如動機、態度等。因此，在實務上，實際投入的認知資源（actual cognitive resource）可能和所需要的認知資源（required cognitive load）不同。另外，訊息的複雜性會因個體的特性不同而不同，如相同的教材對初學者可能是高複雜的，但對高先備知識者可能可以被視為單一的元素而相對的簡單。因此，探討認知負荷的效果時，需同時考量學習者的特性。同理，詮釋學習者所陳述的認知負荷感時，亦應特別留意所測量的認知負荷指標所代表之意義。

雖然研究已發展出許多不同的具體認知負荷測量法，包括客觀的測量，如生理測量、次任務（secondary task）時間反應，和主觀的測量，如心智負荷或壓力感的自我報告（Brünken, Plass, & Leutner, 2003），但客觀的測量或涉及儀器的普及性與便利性問題，或造成外加的干擾，主觀的測量可以提供非侵入性、有效且具穩定性的認知負荷測量（Kalyuga, 2009; van Gog & Paas, 2008），因此主觀的自我報告評量法也是最常被使用的認知負荷評量法。在客觀的評量法中，又主要是依據 Paas 與 van Merriënboer（1994）提出的認知負荷構念，該構念指出三個認知負荷的評量因子，包括學習者的心智負荷（mental load）、心智努力（mental effort）和學習表現。後續的研究也大都依據此構念做為認知負荷評量的參考模式，因此傳統的認知負荷測量大都以一題困難度或費力度做為認知負荷的評量指標（van Gog & Paas, 2008），並從學習成效詮釋認知負荷與表現的關係。但 Paas 與 van Merriënboer 的認知負荷架構中，認知負荷的測量並未考量動機因素，本研究認同 Kalyuga（2009）的論點，認為學習者投入認知資源的程度是複雜的，動機是值得注意的因子。且 Paas 與 van Merriënboer 的認知負荷架構中的心智努力（mental effort）可以包含二種意義，一為因教材的設計方式所產生的理解教材所需花費的心智努力，另一為學習者本身願意投入於學習的努力，前者是傳統的認知負荷指標，當教材的困難度和學習任務所需的心智努力程度（費力程度）超過學習者能負載的程度時，對學習的負面影響也愈大；後者是正向的認知負荷，即學習者愈願意投入努力，愈可能對學習帶來正面的影響，而學習者是否願意投入努力會受其對任務的信心程度和學習意願的影響。國內左台益等人（2011）的認知負荷量表包括內容困難度、費力程度、信心程度、投入努力程度及意願等五個題目，即是同時考量動機因素對心智努力的影響，內容困難度、費力程度可視為負向的認知負荷指標，當它超過學習者的心智資源時，將負向的影響學習表現，而投入努力程度可視為正向的認知負荷，不受心智資源的限制，但調節學習者願意投入的心智資源，且受信心程度、及學習意願的調節，因此與信心、意願可視為動機指標。因此，本研究採用此量表做為認知負荷的指標，並探討它與學習表現的關係。

參、研究假設

依據過去相關研究及認知負荷理論，後設認知問題的思考會增加學習者的負荷感，但此負荷感來自於處理與基模建構有關的認知歷程，是可以促進學習的有效認知負荷。因此，如果學習者在學習的過程中確實進行思考活動，認知負荷感將增加，也會增加學習時間，但學習成效亦會提昇。但學習者的問題思考能力可能因學習者本身的能力而有差異，因此工作範例中的後設認知問題可能與學習者的能力產生交互作用，高能力者可能較低能力者更能從後設認知問題的提問進行較深層的思考而獲益，而低能力者可能受限於本身的能力，而無法確實進行深層思

考或從中獲益較有限，因此本研究假設：

研究假設 1：「工作範例模式」與「能力」在學習成效上有交互作用，在高能力組，「後設認知組」高於「對照組」，在低能力組則無差異，但在學習內容較簡單時，則無交互作用且「工作範例模式」主效果亦不顯著。

研究假設 2：「工作範例模式」中有無後設認知問題對不同數學能力（高、低）學生的學習時間存在顯著差異的影響。

研究假設 2.1：「後設認知組」的學習時間會多於「對照組」。

研究假設 2.2：低能力群的學習時間會高於高能力群的學習時間。

而學習者的認知負荷會受其能力與學習歷程感受的認知負荷感、學習表現的影響，因此在學習階段和測驗階段所測量的認知負荷會有差異。因此本研究假設：

研究假設 3：「工作範例模式」與「能力」對學生的認知負荷存在顯著差異的影響，但也會因為測量的時間點與教材難度不同而有差異。

研究假設 3.1：在學習階段測量的認知負荷，「後設認知組」的負向認知負荷指標（費力度）會高於「對照組」，但學習內容較簡單時則不顯著。

研究假設 3.2：在學習階段測量的認知負荷，高能力組的負向認知負荷指標（費力度）會低於低能力組，但在學習內容較簡單時則不顯著。

研究假設 3.3：在測驗階段測量的認知負荷包括負向的認知負荷指標和動機指標。

在負向的認知負荷方面，「後設認知組」會因為學習，負向認知負荷感（困難度、費力度）會低於「對照組」，高能力群的負向認知負荷會低於低能力群。

研究假設 3.4：在測驗階段測量的認知負荷動機指標方面，「工作範例模式」和「能力」會有交互作用。高能力群中的「後設認知組」會因為學習的產生，在動機指標（意願、信心、投入努力）會高於「對照組」，低能力群因無法從後設認知問題受惠，所以「對照組」動機指標會高於「後設認知組」。

肆、研究方法

一、研究設計

本研究以實驗研究法探討二種工作範例的設計模式（有、無後設認知問題）對二個不同能力的學生（高、低）在學習成效（立即後測、延後測）、學習時間、與認知負荷是否有顯著性的影響，因此，本研究為 2（工作範例模式）× 2（能力）研究設計。

在本研究中，工作範例是指為了完成一個任務或解決問題而進行步驟化解釋的演示。本研究以四個題目為一題組（兩題工作範例搭配兩題練習題），又根據 Mevarech 與 Kramarski (1997)

提出的後設認知問題類型，在工作範例模式的關鍵位置（即學生容易有迷思或錯誤的地方）中加入後設認知問題提問。例如：在示範平行四邊形切割、搬移成面積相等的長方形後，請學習者「回想看看，剛剛平行四邊形切割、搬移變成長方形的過程中，切割時最重要的是什麼？」並於 3 秒後出現「看解答」按鈕，再由學習者決定是否立即按鈕看解答或持續思考後再按看解答，藉以驗證自己心中所預設的答案對錯與否。對照組則不經後設認知發問而直接陳述問題的答案。

而「能力」變項是以受試者當學期第一次數學期中評量成績做為能力分組的依據，採前 50% 為高分組，後 50% 為低分組。

二、研究對象

本研究正式受試樣本為宜蘭市某國小五年級四個班級的學生，本研究的内容在該校是五年級下學期的内容，本研究於五年級上學期開學後第三週開始進行，因此尚未、也不會在當學期的正式課程中學到本研究的内容。因受試期間長達 4 週，考量每週 4 個班級學生座位次序的固定性及電腦教材安裝、環境設定的複雜性，且學生從四年級升上五年級時已公開做過隨機編班，因此學生座號原則上已屬隨機分派，故本研究採取單雙號分組。刪除無法全程參與、資料不完整及資源班學生，最後以 86 人為有效樣本。研究對象分配如表 1。

表 1

研究對象分組分配表

		組別		總數
		對照組	後設認知組	
能力	低	20	23	43
	高	20	23	43
	總數	40	46	86

三、研究工具

本研究的研究工具包括平行四邊形迷思概念（紙本）測驗、平行四邊形面積多媒體教材、學習成效評量（多媒體）、及認知負荷量表（多媒體），以下分別說明。

（一）平行四邊形迷思概念（紙本）測驗

為檢驗目前學生的迷思概念及具體的錯誤類型以做為教學內容設計及試題誘答設計的參考，本研究共邀請兩位數學領域專家及兩位國小資深教師共同設計一份紙筆測驗，將分析結果列為設計教材與教學、及試題誘答的參考。內容包含：1. 平行與垂直的基本概念、依據性質辨識平行四邊形的形狀；2. 辨別平行四邊形的高、畫出高；3. 利用方格板求平行四邊形的面積、

複合圖形的面積計算；4. 無方格板中有多餘資訊求平行四邊形的面積、由面積推算底或高；5. 反向思考題；6. 同底等高的面積計算及比較。此測驗完成後施測於預試樣本，該群學生來自宜蘭縣、臺北市、新北市五所學校共 8 個班級、229 名六年級學生。針對施測結果進行錯誤分析，本研究在設計教學內容時特別著重在這些常犯的錯誤類型，以探討工作範例中加入後設認知問題的引導後，是否有助學習者改善學習表現。

（二）多媒體教學內容與教材

本實驗所採用的教材內容，係依據教育部民國 97 年所公佈之九年一貫數學領域面積能力指標：S-2-03 能理解垂直與平行的意義、S-2-05 能透過操作，認識簡單平面圖形的性質，及 S-3-06 能運用切割重組，理解三角形、平行四邊形與梯形的面積公式（N-3-22）來製作。教材內容則由二位數學教育專家、二位數學專家、二位教育教學專家，一位測驗評量專家、二位現職教師，根據數學本質內容共同設計五個教學活動，包含：複習（A0）、形狀變（A1）、名詞變（A2）、公式變（A3）、練習（A4）及關係（A5）等。本教材的 A0 對應的能力指標為 S-2-03 及 S-2-05，在各版本教材為四年級的內容，A1 至 A5 對應的能力指標為 S-3-06，在各版本教材為五年級的內容。不同的版本出現該單元的時間不同，對本研究的受試者，該單元出現在五年級下學期，本研究進行時間為五年級上學期，所以對本研究的對象，是新的知識內容。

本研究將以上教學內容製作成多媒體教材，根據教學目標與教學內容設計出三個單元的課程，各單元內容及教學重點整理成表 2。

表 2

多媒體教材單元內容及教學重點

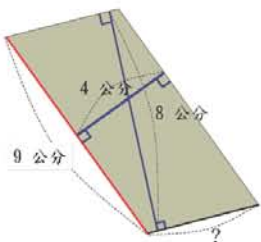
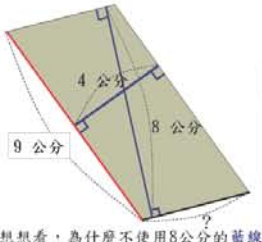
單元	數學內容結構	教學目標
單元一	A0 複習	1. 能判斷兩直線是否互相垂直 2. 能判斷兩直線是否互相平行 3. 能畫出通過線外一點且與此直線垂直的直線 4. 能畫出給定直線且與此直線平行的另一直線
單元二	A1 形狀變 A2 名詞變	1. 能瞭解平行四邊形的性質 2. 能找出平行四邊形的底與高 3. 能依指定底邊畫出高
單元三	A3 公式變 A4 練習 A5 關係	1. 能藉由切割搬移推導平行四邊形的面積公式 2. 能應用公式計算平行四邊形面積 3. 能應用面積公式比較同底等高的圖形

本研究的多媒體教學內容依研究目的分為兩個版本（除單元一外），即在工作範例中有「後設認知問題」與「無後設認知問題」兩種版本，兩組的教材內容並無差異，差別只在於有無提供後設認知問題，「後設認知問題」版以後設認知問題提問的方式讓學習者進行思考，3 秒之後出現「看解答」按鈕，再由學習者決定看答案時機；「對照組」版則不經由提問而直接敘述答案。二組教材之差異示例如表 3。

單元一是複習先備知識並做為熟悉多媒體教材操作的練習，因此所有的學習者皆使用相同教材，因此本單元不列入研究結果的分析。教材完成設計製作後，於 101 年 6 月以宜蘭縣、新北市兩所學校，5 個班級 132 位將升上五年級的四年級學過長方形面積的學生進行平行四邊形面積多媒體教材進行預試，並根據預試結果進行教材內容修正，針對不同類型題設計四個題目（二題範例題與二題練習題）並將每節課學習時間控制在 30~35 分鐘，並以 Visual Basic for Applications (VBA) 程式紀錄每節課的學習時間及學生的作答。

表 3

「對照組」與「後設認知問題組」教材示例

「對照組」示例	「後設認知問題組」示例
範例7 請問這個平行四邊形的面積怎麼算？ 首先找出平行四邊形的底和高  高 = 4 公分 底 = 9 公分 面積 = 9 公分 × 4 公分 = 36 平方公分 8 公分的高所對應的底邊沒有標示長度，所以無法計算面積 下一頁	範例7 請問這個平行四邊形的面積怎麼算？ 首先找出平行四邊形的底和高  高 = 4 公分 底 = 9 公分 面積 = 9 公分 × 4 公分 = 36 平方公分 想想看，為什麼不使用 8 公分的藍線當作高？ 8 公分的高所對應的底邊沒有標示長度，所以無法計算面積 看解答 下一頁

（三）學習成效評量工具

本研究學習成效的評量工具包括各單元之立即後測及綜合的延後測，單元二立即後測 26 題，單元三立即後測 16 題，延後測 40 題，每題皆為一分。因各次評量題數不一，故分析時以答對率進行分析。測驗架構係依據 National Assessment of Educational Progress (NAEP)，將評量內容依認知結構分為概念理解、程序執行和解題思考三類。表 4 橫軸為認知結構，縱軸則依據數學內容結構，列出對應的教學目標。立即後測是針對當次課程的內容，延後測是綜合實驗課程的內容，題目是依據預試的試題之鑑別度與難易度結果，排除鑑別度低及難度偏高之題目，再加入由國家教育研究院曾建銘副研究員所提供已建立全國常模的平行四邊形面積題目 12 題，最後版本為 40 題。以正式樣本所測得的試題信效度分別為：單元二的鑑別度 .33，難易

度 .70，折半信度 .71；單元三的鑑別度 .42，難易度 .60，折半信度 .67；延後測鑑別度為 .42，難易度為 .60，折半信度 .87。

表 4

平行四邊形面積單元數學內容結構與認知結構

數學 內容結構 \ 認知結構	概念理解	程序執行	解題思考
A0 複習	- 能理解長方形和正方形的面積公式。 - 能辨認長方形的長和寬和正方形的邊長。	會計算長方形和正方形的面積。	
A1 形狀變	- 了解平行四邊形的意義。 - 能認知平行四邊形的每一邊都可以視為底邊。 - 能認知經過切割重組為長方形。	能用一次或多次適當的分割把平行四邊形重組為長方形。	能利用平行四邊形切割重組為長方形的概念及程序性知識處理平行四邊形切割問題。
A2 名詞變	- 了解平行四邊形底和高的意義。 - 理解組成長方形的類比（高和底）。	熟練作高（任一點或底可以作高）。	能夠辨認任意平行四邊形的底和高。
A3 公式變	- 了解平行四邊形面積公式的意義。 - 能辨識組成面積公式的組成元素。 - 能理解面積公式的意義。	兩平行線之間距離都是高。	- 能夠辨認正確的平行四邊形面積公式。 - 能在不同情境中計算面積。
A4 練習	知覺同底等高面積相同。	分辨是否滿足同底等高的條件。	根據同底等高的關係計算平行四邊形的面積。
A5 關係		能夠分辨不在相同位置上同底等高的平行四邊形面積相同。	切割操作動作能轉換成形體結構性質（避免只記得公式）。

(四) 認知負荷量表

本研究的認知負荷測量採用左台益等人 (2011) 的認知負荷量表，該量表包括內容困難度、費力程度、信心程度、投入努力程度及意願等五個題目，其中內容困難度、費力程度是負向的認知負荷指標，而信心程度、投入努力程度及意願可視為正向的認知負荷或動機指標。本研究採用李克特式 (Likert scale) 五等量表方式。此外，為了瞭解加入後設認知問題是否增加學習者學習時的認知負荷感，及此負荷感是否有利於學習，而在測驗時因學習的產生而降低解題時的認知負荷感，因此，本研究同時測量學習時的認知負荷及測驗時的認知負荷，但為避免重覆測量造成學習者的厭煩，因此在每個單元課程結束，立即後測之前請受試者回答一個認知負荷問題：「要理解剛剛的教材內容會不會很費力？」而測驗之後的認知負荷測量採用左台益等人 (2011) 之完整認知負荷量表共五題。

四、實驗步驟

本研究於 101 年 9 月進行，整體實驗須進行四週，共需 4 節課時間。第一節進行單元一多媒體教材的學習及立即測驗，讓學習者熟悉多媒體教材的操作與使用，之後每隔一星期進行一節課的單元學習，直到最後一節課進行延後測，用以了解學習者對於進行多媒體學習後的長期記憶之成效評估。在第二、三節時，在學習教材之後、進入立即後測之前學習者先回答一題認知負荷題 (費力度)，在完成測驗後完成完整的認知負荷題五題。實驗步驟及流程如表 5 所示：

表 5

正式實驗施測流程表

週次	節次	實驗內容	時間
第一週	第一節	紙筆前測	20 分鐘
	第二節	指導說明	3 分鐘
		單元一教材及立即測驗 25 題 + 認知負荷量表	37 分鐘
第二週	第三節	指導說明	3 分鐘
		單元二教材及立即測驗 26 題 + 認知負荷量表	37 分鐘
第三週	第四節	指導說明	3 分鐘
		單元三教材及立即測驗 16 題 + 認知負荷量表	37 分鐘
第四週	第五節	延後測 40 題 + 認知負荷量表	40 分鐘

伍、結果分析

一、學習成效分析

表 6 是各組在各單元立即後測及延後測的學習成效之描述統計表。由表 6 的描述統計資料顯示，整體而言，在低能力群中兩組工作範例模式的立即後測及延後測成績差異皆不大，但在高能力組，則有「對照組」的測驗成績高於「後設認知組」的趨勢，但需進行推論統計檢驗。

表 6

立即測驗及延後測答對率(%)之描述性統計量

	組別	<i>n</i>	低能力		高能力	
			<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
單元二	對照組	20	66.92	15.00	78.08	11.71
	後設認知組	23	66.05	11.58	71.07	11.65
單元三	對照組	20	52.81	14.12	71.56	14.41
	後設認知組	23	52.72	13.95	60.33	15.15
延後測	對照組	20	51.63	17.44	70.25	16.34
	後設認知組	23	50.54	13.77	65.54	14.26

因本研究的學習內容不在受試者當學期的學習範圍且本研究已採隨機分派，針對學習成效直接進行二因子多變量變異數分析。共變量矩陣等式的 BOX 檢定及 Levene 的變異同質性檢定皆未違反基本假設。推論統計結果顯示，多變量整體考驗「工作範例模式」的 Wilk's $\lambda = .95$ ， $p = .28$ ，「能力」的 Wilk's $\lambda = .75$ ， $p < .001$ ，「工作範例模式」與「能力」交互作用之 Wilk's $\lambda = .95$ ， $p = .29$ 。亦即整體而言，「工作範例模式」和「能力」在本研究中沒有顯著的交互作用效果，「工作範例模式」沒有顯著的主效果，「能力」主效果達顯著水準。單變量 F 考驗的統計結果顯示，「能力」變項在三個測驗皆顯著，單元二 $F(1,82) = 8.95$ ， $p = .004$ ， $\eta_p^2 = .10$ ；單元三 $F(1,82) = 17.86$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = .18$ ；延後測 $F(1,82) = 25.43$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = .24$ 。意即研究的結果除了能力間存在預期的差異外，結果不支持「工作範例模式」與「能力」有交互作用（研究假設 1），且高能力組的表現與預測的方向相反，即「對照組」的測驗成績略優於「後設認知組」之趨勢，但未達到統計上的顯著差異。

二、學習時間分析

本研究的學習時間是指受試者開始進入學習內容起算，停留在範例與練習頁面的時間總和，本研究共蒐集單元二、單元三的學習時間。結果分析如下：

表 7 為單元二、三學習時間的描述性統計表。二因子多變量變異數分析結果顯示，共變量矩陣等式的 BOX 檢定及 Levene 的變異同質性檢定皆未違反基本假設，整體效果的多變量考驗顯示，「工作範例模式」的 Wilk's $\lambda = .84$ ， $p = .001$ ，能力的 Wilk's $\lambda = .93$ ， $p = .053$ ，「工作範例模式」與「能力」交互作用的 $\lambda = .96$ ， $p = .19$ 。亦即整體而言，「工作範例模式」和「能力」在本研究中沒有顯著的交互作用效果，「工作範例模式」和「能力」皆有顯著整體效果。單變量 F 考驗的統計結果顯示，「工作範例模式」變項的主效果在二個單元皆達統計上的顯著差異，單元二 $F(1,82) = 11.59$ ， $p = .001$ ， $\eta_p^2 = .12$ ；單元三 $F(1,82) = 7.78$ ， $p = .007$ ， $\eta_p^2 = .09$ ，「後設認知組」在二個單元的學習時間皆顯著的高於「對照組」。「能力」變項主效果在單元二不顯著， $F(1,82) = 1.87$ ， $p = .18$ ， $\eta_p^2 = .02$ ；但在單元三時達顯著差異， $F(1,82) = 5.47$ ， $p = .02$ ， $\eta_p^2 = .06$ ，低能力群的學習時間多於高能力群。

表 7

學習時間之描述性統計（單位：秒）

	組別	<i>n</i>	低能力		高能力	
			<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
單元二學習時間	對照組	20	1382.47	171.90	1357.30	108.45
	後設認知組	23	1497.81	134.94	1442.48	123.73
單元三學習時間	對照組	20	1812.38	135.53	1794.48	163.80
	後設認知組	23	1985.82	212.76	1829.17	163.38

從表面看，上述的結果吻合研究假設 2 的預期，從整體學習時間來看，「後設認知組」的學習時間都明顯大於「對照組」，但此差異可能來自於教材版本造成之系統性差異，即後設認知問題的提問與等待時間。在本研究中兩種教材在設計上最大的區別在於有後設認知問題的頁面之後半段，也就是從「後設認知組」的提問開始，經過 3 秒等待時間到最後答案講述，「後設認知組」多了提問及等待的時間，「對照組」則直接進到講述答案。在單元二有 18 個後設認知問題，二組的基本時間差異是 99.63 秒，單元三有 15 個後設認知問題，二組的基本時間差異是 89.96 秒。因此，本研究進一步計算從「後設認知組」提問開始到講述答案的時間這過程，各組的時間。從表 8 中可以看出，如果扣除這些秒數後，組別之間的學習時間已沒有顯著的差異，二個單元皆是 $F(1, 82) < 1$ ，表示「後設認知組」除了基本三秒等待時間，並沒有多花思考時間，且由表 8 發現，隨著課程難度的增加，低能力群中在「後設認知組」的時間略多於「對照組」，但在高能力群則正好相反，「對照組」的學習時間反而略多於「後設認知組」。

表 8

後設認知問題頁扣除系統性差異後，各組的平均學習時間差（單位：秒）

能力	組別	原始 平均數	系統 時間差	扣除 系統時間差	二組 時間差異
單元二	對照組	513.45		513.45	
	低 後設認知組	615.11	99.63	515.48	2.03
	Total	567.83			
	對照組	495.01		495.01	
	高 後設認知組	596.72	99.63	497.09	2.08
	Total	549.41			
單元三	對照組	491.02		491.02	
	低 後設認知組	589.60	89.96	499.64	8.62
	Total	543.75			
	對照組	490.07		490.07	
	高 後設認知組	572.61	89.96	482.65	-7.42
	Total	534.22			

三、認知負荷分析

本研究在二個時間點測量學習者的認知負荷感受，一為在完成單元學習之後，另一為在完成測驗之後。本研究完整的認知負荷包含五個指標，即「內容困難度」、「理解費力度」、「信心度」、「投入努力」及「學習意願」，前二者為傳統的認知負荷測量指標，後三者在本研究中為認知負荷的動機指標。為避免重覆測量造成學習者的厭煩，因此在完成單元學習後的認知負荷，僅以「費力度」做為學習時認知負荷指標。

各階段認知負荷分析如下：

（一）學習階段

表 9 是學習者在完成學習單元時針對學習教材費力度的描述統計，整體效果的多變量考驗顯示，「工作範例模式」與「能力」交互作用的 Wilk's $\lambda = .93$, $p = .05$ ，「工作範例模式」的 Wilk's $\lambda = .90$, $p = .01$ ，「能力」的 Wilk's $\lambda = .95$, $p = .11$ 。亦即整體而言，「工作範例模式」和「能力」的交互作用及「能力」達到顯著差異。後續的單變量 F 考驗的統計結果顯示，「能力」與「工作範例模式」的交互作用在單元二為 $F(1,82) = 4.12$, $p = .046$, $\eta_p^2 = .05$ ，在單元三為 $F(1,82) = 5.52$, $p = .02$, $\eta_p^2 = .06$ ，皆達到統計上的顯著差異。單純主要效果顯示，低能力群的二種工作範例模式在單元二的費力度感受未達統計上的差異， $F(1,41) = 2.90$, $p = .10$, $\eta_p^2 = .07$ ，但在單元三時

「後設認知組」的費力度感受明顯高於「對照組」， $F(1,41) = 15.26$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = .27$ ；在高能力群則皆不顯著，單元二 $F(1,41) = 1.30$ ， $p = .26$ ， $\eta_p^2 = .03$ ；單元三 $F(1,41) < 1$ 。在「對照組」，不同能力群學習者的費力度感受在單元二 $F(1,38) < 1$ 、單元三 $F(1,38) = 2.40$ ， $p = .13$ ， $\eta_p^2 = .06$ 皆不顯著，但在「後設認知組」，低能力群的認知負荷感大於高能力群，在單元二達到統計上的顯著差異， $F(1,44) = 9.68$ ， $p = .003$ ， $\eta_p^2 = .18$ ；但單元三未達統計上的顯著差異， $F(1,44) = 3.29$ ， $p = .08$ ， $\eta_p^2 = .07$ ，但依據 Cohen 的說法 η^2 值 .01，.06，.14 分別對應小、中、大的效果量（引自 Yockey, 2011/2012，頁 143），因此「後設認知組」中不同能力的學習者之費力度差異達中等程度的效果量。

本研究預期增加後設認知問題會增加學習者的負向認知負荷感，低能力群的負向認知負荷感會高於高能力群，但研究結果僅低能力群中的「後設認知問題組」的反應與預期的方向相符，高能力群則與研究假設的預期不符。

表 9

學習階段教材理解費力度描述統計

			低能力		高能力	
	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
單元二費力度	對照組	20	1.83	0.79	1.83	0.83
	後設認知組	23	2.26	0.85	1.58	0.62
單元三費力度	對照組	20	1.70	1.13	2.25	1.12
	後設認知組	23	3.13	1.25	2.39	1.50

（二）測驗階段

在每單元的立即後測之後，學習者填寫完整認知負荷的問卷，表 10 是各組在三個測驗完成後所填答的認知負荷描述統計表。

表 10

測驗階段認知負荷描述統計

	對照組				後設認知組			
	低能力	<i>n</i> = 20	高能力	<i>n</i> = 20	低能力	<i>n</i> = 23	高能力	<i>n</i> = 23
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
單元二困難度	2.50	1.47	2.15	1.09	2.78	1.20	2.70	1.33
單元三困難度	2.30	1.26	2.91	1.20	2.40	0.99	2.52	1.16
延後測困難度	2.90	0.97	2.60	1.05	2.91	1.08	2.91	1.00
單元二費力度	2.25	1.29	2.25	1.02	2.74	1.32	2.43	1.24
單元三費力度	2.85	1.31	2.50	1.05	3.13	1.32	2.70	1.22
延後測費力度	2.75	1.12	2.65	1.27	2.91	0.95	2.87	1.25
單元二意願	3.50	1.50	3.95	1.23	3.43	1.16	3.26	1.36
單元三意願	3.80	1.36	3.50	1.36	3.35	1.34	3.13	1.69
延後測意願	3.80	1.06	4.05	1.00	3.43	1.12	3.13	1.46
單元二信心	3.65	1.46	3.85	1.09	3.57	1.08	3.57	1.24
單元三信心	4.15	0.93	4.20	0.77	3.43	1.24	3.30	1.18
延後測信心	3.25	0.97	3.35	1.31	3.13	1.22	3.00	1.24
單元二投入努力	3.75	1.16	3.40	1.47	3.43	1.20	3.17	1.23
單元三投入努力	3.85	1.35	3.10	1.41	3.61	1.08	2.91	1.20
延後測投入努力	3.85	0.88	3.70	1.30	3.70	0.97	3.48	1.12

二因子多變量變異數分析結果顯示，除了投入努力的指標外，認知負荷各指標的共變量矩陣等式的 BOX 檢定及 Levene 的變異同質性檢定皆未違反基本假設。負向認知負荷指標（費力度與困難度）的整體效果多變量檢驗與單變量檢驗在「工作範例模式」（費力度 Wilk's $\lambda = .98$ ， $p = .62$ ；困難度 Wilk's $\lambda = .96$ ， $p = .41$ ）、「能力」（費力度 Wilk's $\lambda = .97$ ， $p = .55$ ；困難度 Wilk's $\lambda = .99$ ， $p = .85$ ）及其交互作用（費力度 Wilk's $\lambda = .99$ ， $p = .91$ ；困難度 Wilk's $\lambda = .70$ ， $p = .46$ ）皆不顯著。即學習者在測驗時所感知的困難度和費力度並沒有因能力或使用的「工作範例模式」而有顯著的差異。

在動機指標方面的整體效果考驗，「信心度」在「工作範例模式」與「能力」交互作用的整體考驗（Wilk's $\lambda = 1.00$ ， $p = .95$ ）及「能力」（Wilk's $\lambda = 1.00$ ， $p = .97$ ）皆不顯著，但在「工作範例模式」（Wilk's $\lambda = .87$ ， $p = .01$ ）的整體效果顯著。單變量 F 考驗的統計結果顯示，在單元三時，「對照組」的信心度顯著高於「後設認知組」， $F(1,82) = 12.34$ ， $p = .001$ ， $\eta_p^2 = .13$ 。直接講述的工作範例比在工作範例中以後設認知問題提問讓學習者更有信心。

「意願」的整體效果考驗，「工作範例模式」Wilk's $\lambda = .93$, $p = .11$ ，「能力」Wilk's $\lambda = .98$, $p = .58$ ，及其交互作用 Wilk's $\lambda = .97$, $p = .43$ ，皆不顯著，但單變量 F 考驗的統計結果卻顯示「工作範例模式」在延後測時 $F(1,82) = 6.33$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .07$ ，達 $p < .0167$ （因有三個水準，所以 $0.05/3 = .0167$ ）的顯著水準，「對照組」對繼續類似活動的意願高於「後設認知組」，後設認知思考降低學習者後續的學習意願。

「投入努力」整體效果考驗，違反 BOX 共變數同質考驗，「工作範例模式」Wilk's $\lambda = .98$, $p = .72$ ，「能力」的 Wilk's $\lambda = .92$, $p = .08$ ，其交互作用 Wilk's $\lambda = .999$ ，皆未達統計上的顯著，但「能力」的單變量 F 考驗的統計結果仍顯示在單元三 $F(1,82) = 7.07$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .08$ 達統計上的顯著差異，因此再以無母數 Mann-Whitney Test 檢驗，結果 $U = 636.5$, $p = .01$ ，在單元三時，能力的差異達顯著差異，低能力組較高能力組投入較多努力，這是預期的方向。

綜合認知負荷的結果，後設認知問題增加低能群學習階段的負向認知負荷（費力度）感，但對高能力群則無影響，但對後測解題時的負向認知負荷感，則無統計上顯著的「能力」或「工作範例模式」的差異，且後設認知問題負向地影響學習者的信心和後續活動的意願。測驗階段的認知負荷，除了單元二在各面向皆不顯著，吻合研究假設的預期，整體而言，是在預期的相反方向。此現象可能表示本研究在工作範例中所加入的後設認知問題不是促進有效認知負荷的設計，而是增加外在認知負荷的設計，因此對學習成效沒有顯著的幫助，還負面的影響學習者的信心和意願。另外，測驗階段的認知負荷感受雖與預期的方向相反，但對照學習成效的結果是可以理解的，對照組有較佳的學習效果，因此在動機指標也有較佳的感受（信心和學習意願）。

四、認知負荷與學習表現的關係

在本研究中採用左台益等人（2011）的認知負荷量表，該量表包含五個指標，包括：「困難度」、「費力度」、「信心」、「投入努力」與「意願」。傳統認知負荷研究大都以一題困難度或費力度做為認知負荷的指標，左台益等人的量表考量動機因素對心智努力的影響，信心與意願會影響投入努力程度，但該研究沒有呈現此五個指標的關係，及其與學習成效的關係，因此本研究附帶檢驗此五個認知負荷指標與學習表現的關係，相關分析如表 11。由表可看出費力度和困難度在三次的測量皆呈現中高度相關，顯示此二指標測量共同的概念，即認知負荷的指標，且此二指標與成績在三次的測量皆是中低度的顯著負相關。信心和意願在三次的測量都是顯著的正相關（但相關系數不高），投入努力和意願在二次的立即後測時都是顯著的中度相關，但在延後測時則僅是顯著的低相關；投入努力與信心在單元二（任務較簡單）還有顯著的低相關，但在單元三和延後測時（任務較難）則不相關，成績和投入努力與意願無關，成績和信心則除了單元三（任務較難），皆有顯著中低度的負相關。

綜合五個指標與學習表現的關係，在本研究中成績與傳統認知負荷指標（困難度與費力度）

有一致性的相關性，認知負荷感愈重，成績表現愈不佳。但成績與動機指標似乎沒有穩定的關係，成績與信心較有關，但和投入努力及意願無關；投入努力與意願呈正相關，但和信心較無關。

表 11

認知負荷與成績相關表

	單元二 成績	單元二 活動意願	單元二 困難度	單元二 費力度	單元二 信心	單元二 投入努力
單元二成績	1					
單元二活動意願	.027	1				
單元二困難度	-.331**	-.074	1			
單元二費力度	-.347**	-.141	.742**	1		
單元二信心	.309**	.272*	-.088	-.104	1	
單元二投入努力	-.022	.458**	-.016	.107	.270*	1
	單元三 成績	單元三 活動意願	單元三 困難度	單元三 費力度	單元三 信心	單元三 投入努力
單元三成績	1					
單元三活動意願	.041	1				
單元三困難度	-.306**	-.344**	1			
單元三費力度	-.423**	-.051	.616**	1		
單元三信心	.091	.295**	-.361**	-.148	1	
單元三投入努力	-.115	.559**	-.093	.193	.122	1
	延後測 成績	延後測 活動意願	延後測 困難度	延後測 費力度	延後測 信心	延後測 投入努力
延後測	1					
延後測活動意願	-.033	1				
延後測困難度	-.304**	-.343**	1			
延後測費力度	-.286**	-.198	.757**	1		
延後測信心	.376**	.265*	-.594**	-.650**	1	
延後測投入努力	-.006	.221*	-.071	-.005	.046	1

陸、結果與討論

本研究探討在工作範例中加入後設認知問題對不同數學能力（高、低）學生學習平行四邊形面積的學習成效、學習時間、認知負荷的影響，並檢驗透過本研究所使用之認知負荷自評量表所測得之認知負荷與學習成效的關係。本研究的認知負荷測量是依據左台益等人（2011）的認知負荷量表，並將指標分為負向的認知負荷指標（困難度與費力度），和正向認知負荷或動機指標（意願、信心和投入努力）。本研究預期後設認知問題會加重學習階段的負向認知負荷感和學習時間，但如果本研究的後設認知問題設計確實能激發學習者的思考，會減少測驗階段的負向認知負荷感、提昇學習表現，和提昇測驗階段的正向認知負荷感或動機指標。此外，後設認知問題需要學生理解、綜合、比較、和連結新舊知識，因此對學習能力較弱或缺乏相關基模的學習者，可能無法立即受益，因此本研究預期「工作範例模式」和「能力」會有交互作用，即後設認知問題的設計對高能力者有較佳的效益，而對低能力群的幫助有限或不明顯。

研究結果顯示，在學習成效上，「工作範例模式」和「能力」在立即後測與延後測並沒有顯著的交互作用，「工作範例模式」主效果也不顯著，僅有「能力」變項在任務較困難時（單元三）達顯著是預期的結果，意即本研究結果不支持研究假設一「工作範例模式」和「能力」在學習成效會有交互作用，且高能力組的表現與預期方向有相反的趨勢，即「對照組」比「後設認知組」在測驗成績略優，但未達到統計上的顯著差異。

在學習時間上，本研究的學習時間資料顯示，「後設認知組」與「對照組」的整體學習時間確如預期達統計上的顯著差異，但扣除系統的基本時間差異後，二組之間沒有顯著的差異，亦即本研究所觀察到的時間差異主要可以由來自系統的時間差異說明，且在難度較高的單元三時，低能力群中的「後設認知組」的學習時間略多於「對照組」，而高能力群相反的「對照組」的學習時間多於「後設認知組」的趨勢，意即高能力群並沒有如預期的較有能力從事後設認知思考而投入時間思考，反而比「對照組」投入更少的時間。

在認知負荷的測量上，本研究分別在學習階段測量負向認知負荷指標，及測驗階段測量負向認知負荷和動機指標。結果顯示，在學習階段所測得負向認知指標與預期的不同，對高能力的學習者，有無後設認知問題不影響其負向認知負荷感知，但在低能力群中，「後設認知組」的負向認知負荷感高於「對照組」。低能力組的負荷感（費力度）增加，表示低能力組可能確實思考了後設認知問題，再對照其學習時間，低能力群中的「後設認知組」之學習時間，在扣除系統差異後，亦都是較多，但因為能力的限制而無法受益，因此後設認知問題只是增加其認知負荷感和學習時間，但對學習無益。但對高能力，有無後設認知問題對其認知負荷感並沒有影響，對照其扣除系統差異後的學習時間及學習成效皆無顯著差異，顯示本研究的高能力群可能並沒有確實的思考本研究中的後設認知問題，因此高能力群的表現（學習成效、認知負荷與時間）

皆與研究假設的預期不吻合。

在測驗階段測得的負向認知負荷感則皆不顯著，但在動機指標方面，整體而言，「對照組」比「後設認知組」有較佳的意願和信心。

亦即整體而言，後設認知問題加重低能力群學生的認知負荷感，但對高能力群則無影響，且後設認知問題同時降低高能力群和低能力群的正向認知負荷感或動機。

綜合學習成效、學習時間、認知負荷與動機的資料，本研究結果顯示，在工作範例中加入後設認知問題，對本研究的五年級學習者沒有立即的學習效益，相反的，後設認知問題要求學習者思考，反而降低學習者的學習意願與信心，也負面地增加低能力群的認知負荷感。在本研究中，高能力群並未如預期的，比低能力群更有後設思考的能力，可以從後設認知問題提醒思考中獲益，相反的，從各方面的資料顯示，在本研究「後設認知組」的高能力群學習者的學習表現與預期的方向相反，且後設認知問題思考的設計反而降低他們的學習意願和信心。另一方面，「後設認知組」的低能力群學習者，因本身能力的限制，無法從後設認知問題的提醒中受益，從認知負荷理論的觀點，學習的目標在改變長期記憶的基模結構，教學設計雖可以誘導學習者投入更多努力、花更多時間，但對長記憶的基模結構沒有幫助時，便是無效率的學習。在本研究中，在工作範例中加入後設認知問題對我們的五年級學習者，並沒有正向的學習表現，相反的，增加整體學習歷程的時間和降低其信心與意願。

本研究結果未發現工作範例中加入後設認知問題能提升立即的學習成效，甚至阻礙學習，此結果與先前的研究（如 Mevarech & Kramarski, 2003）結果不同，也與預期方向不同。在 Mevarech 與 Kramarski（2003）的研究中，後設認知問題訓練組優於工作範例組，且低成就的學生比高成就學生更有顯著的效益，本研究的結果未發現在工作範例中加後設認知問題有立即的學習成效，本研究推論造成此差異結果的可能原因有三：

- 1.研究對象的差異：Mevarech 與 Kramarski 的研究對象是八年級，本研究的研究對象的是五年級，兩者之間在年齡、心智成熟度均有差別，因此推論在工作範例中加入需要後設認知思考的後設認知問題比較不適合年紀較小的初學者。對本研究的學習者初進入學習主題時，缺乏穩固的基模，在這初學習階段加入後設認知問題，其實不是增加促進基模建構的有效認知負荷，而是增加無助於學習的外在認知負荷，直接教學反而可以讓學習者以較低的負向認知負荷達到相同，甚至略佳的學習成效。
- 2.場域不同：Mevarech 與 Kramarski 採用班級的合作式學習進行教學，而本研究的場域是個別化電腦學習，因此推論後設認知問題較適合於合作式學習，以擴充個人基模與工作記憶的限制，促進學習。

3.研究時間長度不同：思考後設認知問題需要高階認知能力，且需要比較長的時間才能看到成效，Mevarech 與 Kramarski 的研究是經過一年的後設認知訓練學習，在本研究只進行兩週共二節課的訓練，尚不足以看到立即的顯著成效，或許經過長久的訓練會有不同的成果，值得後續研究者繼續研究。

另外，本研究的後設認知問題設計尚有改善的空間。因為考量學習者的打字及語言表達能力，因此在後設認知問題提問後，並沒有要求學習者輸入他們的想法，只是用問題引導學生思考，並設計最低的三秒思考等待時間後才出現可以看說明的按鈕，原以為如果學習者已開始思考，他們會在完成思考後按按鈕看說明，檢核自己的想法是否與說明一致，有可能按鈕的設計反而讓學習的誤以為思考時間已結束，因此轉移了學習者注意力的焦點，學習者一看到按鈕就按，以為思考時間已結束，不再進行思考。因此，本研究的後設認知問題設計可能增加外在認知負荷，而未能成功地透過後設認知問題的提問，激發學生較深度的思考，因此也沒有如預期的在學習成效產生立即的效益。

另一方面值得注意的是，在本研究中，加入後設認知問題明顯的降低學習者的信心與學習意願，在還沒有穩固的基模前，太多的思考挑戰徒增他們學習時無效的認知負荷感，反而降低他們的信心與意願，相對的，「對照組」有較低的認知負荷感，對學習較有信心和繼續學習或從事相關的解題活動意願。也許對國小階段的學習者，在初學階段不適合給予太多的思考任務，而思考的習慣可能需要更多先備知識及更長的訓練，才能看到效益，因此，在教學應用上，對初學者也許先以工作範例加直接教學解釋，建立學習者的基本基模後，再給予思考、解題的挑戰，可以增加學習者的信心與持續學習的意願。

致謝

本研究感謝國科會的經費補助（NSC 100-2511-S-431-003-MY3）、審查委員與責任編輯的細心評閱與建設性建議、及期刊助理的細心校閱。

參考文獻

- 左台益、呂鳳琳、曾世綺、吳慧敏、陳明璋、譚寧君（2011）。以分段方式降低任務複雜度對專家與生手閱讀幾何證明的影響。**教育心理學報**，43，閱讀專刊，291-314。
- 左台益、梁勇能（2001）。國二學生空間能力與 van Hiele 幾何思考層次相關性研究。**師大學報：科學教育類**，46（1, 2），1-20。
- 黃佑家（2013）。工作範例加反思問題對不同能力學生學習成效、認知負荷與動機影響之研究（未出版之碩士論文）。佛光大學，宜蘭縣。

- Yockey, R. D. (2012)。 **SPSS 就是這麼簡單** (陳正昌、簡清華譯)。臺北：心理。(原作出版於2011年)
- Brünken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61. doi: 10.1207/S15326985EP3801_7
- Chi, M. T. H., & Bassok, M. (1989). Learning from examples via self-explanations. In L. B. Resnik (Ed.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honour of R. Glaser* (pp. 251-283). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13(2), 145-182. doi: 10.1016/0364-0213(89)90002-5
- Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79(4), 347-362. doi: 10.1037//0022-0663.79.4.347
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-114. doi: 10.1017/S0140525X01003922
- Crippen, K. J., & Earl, B. L. (2007). The impact of web-based worked examples and self-explanation on performance, problem solving, and self-efficacy. *Computers & Education*, 49(3), 809-821. doi: 10.1016/j.compedu.2005.11.018
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102(2), 211-245. doi: 10.1037/0033-295X.102.2.211
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp.231-236). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kalyuga, S. (2009). *Managing cognitive load in adaptive multimedia learning*. Hershey, PA: Information Science Reference. doi:10.4018/978-1-60566-048-6
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J.(2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31. doi: 10.1207/S15326985EP3801_4
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351-371. doi: 10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6
- King, A. (1991). Effects of training in strategic questioning on children's problem-solving performance. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 307-317. doi: 10.1037/0022-0663.83.3.307
- Mevarech, Z. R., & Karmarski, B. (1997). Improve: A multidimensional method for teaching mathematics in heterogeneous classrooms. *American Educational Research Journal*, 34(2), 365-394. doi: 10.3102/00028312034002365
- 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(4), 449-471. doi: 10.1348/000709903322591181

- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2010). Techniques that increase generative processing in multimedia learning: Open questions for cognitive load research. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory* (pp. 153-178). New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511844744.010
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., & Foy, P. (2008). *TIMSS 2007 international mathematics report: Findings from IEA's trends in international mathematics and science study at the fourth and eighth grades*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., & Arora, A. (2012). *TIMSS 2011 international results in mathematics*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Paas, F. G. W. C., & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133. doi: 10.1037//0022-0663.86.1.122
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1-2), 1-8. doi: 10.1023/B:TRUC.0000021806.17516.d0
- 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
- Renkl, A. (2011). Instruction based on examples. In R. E. Mayer & P. A. Alexander (2011). *Handbook of research on learning and instruction* (pp. 272-295). New York, NY: Routledge.
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2002). Learning from examples: Fostering self-explanations in computer-based learning environments. *Interactive Learning Environments*, 10(2), 105-119. doi: 10.1076/ilee.10.2.105.7441
- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H., & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23(1), 90-108. doi: 10.1006/ceps.1997.0959
- Schworm, S., & Renkl, A. (2006). Computer-supported example-based learning: When instructional explanations reduce self-explanations. *Computers & Education*, 46(4), 426-445. doi: 10.1016/j.compedu.2004.08.011
- Stark, R., Kopp, V., & Fischer, M. R. (2011). Case-based learning with worked examples in complex domains: Two experimental studies in undergraduate medical education. *Learning and Instruction*, 21(1), 22-33. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.10.001
- Sternberg, R. J., & Sternberg, K. (2012). *Cognition* (6th ed.). Singapore: Cengage Learning.
- Sweller, J. (1998). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. doi: 10.1016/0364-0213(88)90023-7
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16(2), 165-169. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.02.005
- Sweller, J. (2007, October). Cognitive Load. In Y. K. Liao (Chair), *Cognitive Load: Theory and Applications*. Symposium conducted at the meeting of Fo Guang University, Yilan, Taiwan.

- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 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., & 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., & Sweller, S. (2006). Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology*, 4, 434-458.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296. doi: 10.1023/A:1022193728205
- van Gerven, P. W. M., Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., Hendriks, M., & Schmidt, H. G. (2003). The efficiency of multimedia learning into old age. *British Journal of Educational Psychology*, 73(4), 489-505. doi: 10.1348/000709903322591208
- van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26. doi: 10.1080/00461520701756248
- van Gog, T., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2004). Process-oriented worked examples: Improving transfer performance through enhanced understanding. *Instructional Science*, 32(1-2), 83-98. doi: 10.1023/B:TRUC.0000021810.70784.b0
- van Gog, T., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2006). Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance. *Learning and Instruction*, 16(2), 154-164. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.02.003
- van Gog, T., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2008). Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency. *Learning and Instruction*, 18(3), 211-222. doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.03.003
- Webb, N. M. (1991). Task-related verbal interaction and mathematics learning in small groups. *Journal for Research in Mathematics Education*, 22(5), 366-389. doi: 10.2307/749186
- Wittwer, J., & Renkl, A. (2010). How effective are instructional explanations in example-based Learning? A meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 22, 393-409. doi: 10.1007/s10648-010-9136-5
- Zhu, X., & Simon, H. A. (1987). Learning mathematics from examples and by doing. *Cognition and Instruction*, 4(3), 137-166. doi: 10.1207/s1532690xci0403_1