

認知負荷理論之外在認知負荷影響學習障礙學生 有效學習之初探

卓曉園*

國立臺南大學

特殊教育學系博士候選人

詹士宜

國立臺南大學

特殊教育學系副教授

楊智全

國立臺南大學

特殊教育學系博士候選人

認知負荷理論致力於探討教學設計對於有效學習之影響，而學習障礙學生之學習特質更需要教學者善加規劃教學設計，以讓學習障礙學生之學習更有效率。本文就認知負荷理論之外在認知負荷的部分探討外在處理過度負荷對於學習障礙學生之學習阻礙，以及有效減少外在過度負荷之方法，期能藉由教學內容之呈現方式減少學習障礙學生之學習負荷，讓學習障礙學生有限之認知資源發揮最大之學習效益。

關鍵詞：學習障礙、認知負荷理論、外在處理過度負荷

*本文以卓曉園 (josie0301@gmail.com) 為通訊作者。

緒論

認知負荷理論(Cognitive Load Theory)是當前心理與教育研究領域的重要議題之一，在國內外已累積有許多文獻，國外甚至已在 2010 年與 2011 年發展認知負荷理論的專書，探討認知負荷理論發展現況與未來發展方向（涂金堂，2012；Bannert, 2002）。認知負荷理論的基本主張是基於工作記憶的容量是有限制性與短暫性的（詹士宜，2012），因此當學習者同一時間內必須處理超越工作記憶的認知作業，就易造成認知處理過度負荷而阻礙學生的效果。認知負荷理論將認知負荷類型分為三種，分別是內在認知負荷（intrinsic cognitive load）、外在認知負荷（extraneous cognitive load），以及適切的認知負荷（germane cognitive load）等三類。其中內在認知負荷指的是學習內容的概念與結構的難易程度，當學習者面對較困難的學習內容時，必須花費較多的認知資源；外在認知負荷指的則是學習內容的呈現方式，當學習者面對呈現不佳的訊息，必須花費認知資源進行與學習無關的處理，降低學習效能；適切認知負荷則指學習者面對適當設計的教材，或善用長期記憶中的基模，及使用適當的策略，即可專注於學習內容的認知處理及基模建構，提升學習效能（沈碩彬，2008；詹士宜，2012；Bannert, 2002；Sweller, 1998；Sweller, 2007；Sweller, 2010）。因此外在認知負荷指的是學習內容的呈現方式對學習者所產生的影響，而外在處理過度負荷（extraneous processing overload）所指稱為教材的呈現不當，使學習者必須耗費認知資源進行與學習無關的認知處理而無法專注於有效處理學習內容，導致認知負荷的增加，降低學習的成效。

學習障礙學生之學習特質較為不同，因此更需要教學者善加規劃學習內容的呈現方式，將外在認知負荷減至最低，避免外在處理過度負荷所造成的學習挫折。以下就外在處理過度負荷對於學習障礙學生之學習阻礙，以及有效減少外在過度負荷之方法等兩部分論述之。

外在處理過度負荷對於學習障礙學生之學習阻礙

認知負荷理論的基調建立在工作記憶的有限性與短暫性，而學習障礙學生經實徵研究（Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent, & Chattavee, 2007；Geary et al., 2009）證實其工作記憶的缺陷，意即學習障礙學生之工作記憶相較於一般學生更為有限與短暫。馬穎、余毅震、潘初、楊寧、王禮桂與吳漢榮（2009）以磁共振成像研究學習障礙學生的大腦，發現前額葉激發強度低於正常兒童，推測這可能是造成學習障礙學生在工作記憶的編碼、儲存、提取等過程缺陷的原因。此外，學習障礙學生在注意力方面亦有缺陷的問題，包含注意力的短暫、分心與固執（周台傑，2007）。綜上所述，學習障礙學生工作記憶與注意力的缺陷是容易造成外在認知處理過度負荷的主因。

同一時間內過多的訊息被放入工作記憶，就容易造成學生工作記憶上的過度認知負荷，而阻礙學生的效果（詹士宜，2012）。Mayer 與 Moreno（2003）提出當學習作業的處理要求超越認知系統的容量時，這種情形即為認知過度負荷（cognitive overload），並分析出五種認知過度負荷的類型，其中三種類型為外在處理過度負荷（extraneous processing overload），筆者將三種外在處理過度負荷對學習障礙學生所造成的學習阻礙分述如下：

一、學習內容所附帶的認知處理所引起的認知過度負荷

在學習內容呈現時附帶呈現了與內容不相關或非直接相關的刺激，例如背景音樂、動畫等，以致於學生使用有限的認知資源在不相關或非直接相關的刺激，留下較少的認知資源處理學習內容（即內在認知負荷）。而學習障礙學生之工作記憶與注意力的缺陷，致使學習內容所附帶的不相關或非直接相關的刺激吸引學習障礙學生的注意力以及花費原就貧乏的工作記憶容量，讓學習障礙學生將多數認知資源耗費於處理這些與內容不相關或非直接相關的刺激，而難以專注處理學習內容，導致學習障礙學生外在處理過度負荷，而產生學習阻礙。

二、學習內容呈現方式所引起的認知過度負荷

學習內容呈現的方式因分散呈現（separated presentation）或重覆呈現（redundant presentation）而造成學生學習的困惑。分散呈現指的是將學習

內容中參照或相關的文字與多媒體素材分別放置不同位置，例如分別放在同一頁面的頁首與頁尾，或是呈現在不同的頁面等。而學習障礙學生除了工作記憶缺陷而難以處理分散呈現的教材以外，學習障礙學生亦有視覺空間整合的問題（Pieters, Desoete, Roeyers, Vanderswalmen, & Waelvelde, 2012），導致學習障礙學生在判斷分散的視覺空間的訊息更加困難，無法整合成有效的學習，而造成學習阻礙。

在教材重覆呈現的部分指的是以不同呈現管道呈現相同的訊息，例如同時呈現文字與動畫或同時呈現旁白與文字等。而學習障礙學生在面對重覆呈現的教材時必須分散工作記憶去處理多重訊息來源，而多重訊息來源所呈現的卻是相同的訊息，反而讓學習障礙學生的工作記憶耗費在多重來源，而降低能處理訊息內容本身的認知資源，導致外在處理過度負荷而造成學習阻礙。

三、工作記憶必須保留的訊息量所引起的認知過度負荷

學習內容的訊息在呈現時若非同步呈現，則學生必須先保留部分訊息再與另一部分較晚呈現的訊息作整合，對於工作記憶處理缺陷的學習障礙學生而言，能接收與保留的工作記憶容量原就較少，非同步呈現的教材呈現會加劇學習障礙學生統整先後呈現訊息的困難，造成學習阻礙。

教學時如果呈現的訊息量超過學生的工作記憶負荷量，就會降低學習的效能（Sweller, 2007）。而學習障礙學生在工作記憶方面的缺陷，導致學習障礙學生在接收學習內容的訊息量較少，也較易分心，難以整合訊息。若教學者未善加規劃學習內容的呈現方式，對於學習障礙學生而言容易造成外在處理過度負荷而造成學習阻礙。

有效減少外在過度負荷之方法

由於學習障礙學生之有效學習深受外在認知負荷之影響，因此學習材料的呈現方式最佳化是降低外在認知負荷的一個重要途徑，又因外在認知負荷是可以藉由教學設計者修正教材及呈現方式來降低的，故此為認知負荷研究的重點之一（沈碩彬，2008）。對於減少外在過度負荷，Sweller（1998；2007；2010）就認知負荷理論本身以及 Mayer(2008；2009)就認知負荷理論

應用於多媒體教學均提出一些教學效應與原則，且落實實徵本位（evidence-based）的精神提出實徵研究之證據，期能讓教學者在規劃教材呈現時有所依據。雖然目前以學習障礙為對象之實徵研究很少，但這些有效減少外在負荷的方式對於學習障礙學生之教學設計仍具有相當程度之參考價值。

Sweller（1998；2007；2010）依據認知負荷理論提出多種教學效應，其中開放目標效應、示例效應、完成問題效應、分散注意力效應、冗餘效應，以及管道效應等六種教學效應是可有效減少外在處理過度負荷的方法：

一、開放目標效應（goal-free effect）

透過手段—目的策略(means-ends strategy)搜尋解決問題的方法，採取開放目標的方式，讓學習者多方地表達自己的思考，在不受限制的狀況之下，使學習效果和基模之間產生關聯，以減少外在的認知負荷。毛淑蕙(2010)進行開放目標效應應用於數學學習困難學生數學文字題解題表現之研究，結果發現受試者於開放目標效應教學介入後的數學文字題整體解題正確率比教學介入前有顯著的進步成效，且於結束教學介入的一週後，整體研究對象的學習成效仍持續維持。由此可得知開放目標效應確實能減少學習者之外在認知負荷，避免外在認知處理過度負荷。

二、示例效應（worked example effect）

示例效應是認知負荷理論效應中最被熟知且廣為應用的教學效應（Sweller, 2006）。教學者在教學過程提供適當的範例，呈現完整的步驟，使學習者對於問題的狀態能全面瞭解並建構解決問題的基模，可以降低學習障礙學習者外在認知負荷。Schwonke、Renkl、Krieg、Wittwer、Aleven 與 Salden,等人（2009）研究發現經由示例教學後的學習者可獲得較深層的概念理解，且花費較少時間即可習得程序型的技能與概念的瞭解。而 Gerven 等人（2002）研究發現示例效應應用於複雜技能的問題情境較解決慣例性（conventional）的問題有效，且運用於較年長的受試者比運用於年幼的受試者更為有效。

國內涂金堂（2012）則以國小學生為研究對象，研究結果發現接受示例教學的實驗組學習者在接受示例教學介入後，數學成就測驗成績顯著高於控制組接受傳統教學法的學習者，換言之，示例效應能有效提升學習者的數學

解題表現。

三、完成問題效應 (problem completion effect)

教學者提供一半的示例，留下一半的問題，讓學習者自己完成，一方面可以使學習者進行較精緻化的研讀與判斷，一方面亦可降低外在負荷的認知處理。丁儀馨（2012）提出教導照樣造句時，應用完成問題效應鼓勵學習者自由聯想，待熟練後再逐漸褪除提示，除了可增進學習者學習效果之外，尚能增進學習障礙學習者信心，培養獨立造句的能力。

四、分散注意力效應 (split attention effect)

學習者在面對多元的訊息來源，須將注意力分散，分別參照後再加以整合才能獲取資訊，會增加大量的外在認知負荷。因此在學習內容呈現時，宜掌握同時間與同空間的原則作整合，以降低學習者的外在認知負荷。在 Kalyuga、Chandler 與 Sweller（1999）以及 Rosen、Fullwood、Henley 與 King（2012）的研究中，都以實徵研究驗證分散注意力效應能有效降低學習者的外在認知負荷，提升學習成效。

五、冗餘效應 (redundancy effect)

當學習內容的訊息單一呈現可傳達完整且明確的意義時，可獨立呈現，學習者無須互相參照整合，避免多重訊息來源呈現相同資訊，可有效降低學習者的外在認知負荷。Liu、Lin 與 Paas（2012）以小學生為研究對象作行動學習的冗餘教學效應實驗，研究結果發現提供「文字加圖片」及「文字加實物」組的表現均顯著優於提供「文字、圖片加實物」組。此外，Jamet 與 Bohec（2007）以大學生為研究對象，將受試者分為三組，給予相同的口語說明，第一組螢幕不呈現任何文字，第二組以句為單位累積呈現在螢幕上，第三組則是全文呈現在螢幕上。研究結果發現無論在學習保留或學習遷移的測驗表現，未呈現任何文字的組別(第一組)均顯著優於呈現文字的組別(第二組與第三組)，而呈現文字的兩組之間則無顯著差異。由上述之研究可驗證多重訊息來源的相同資訊反而干擾學習之冗餘效應，將訊息管道單純化方能降低外在認知負荷。

六、管道效應 (modality principle)

由於工作記憶可以同時處理不同知覺型態（形碼與聲碼）這兩種型態的

訊息，在教學過程中可運用同時或不同的知覺型態，取代單一型態呈現的訊息，將可有效增加工作記憶區的容量，降低學習者的外在認知負荷，提高認知處理的空間與能力。Kalyuga 等人（1999）研究發現雙管道（視覺加聽覺）呈現教材的組別其學習成果表現明顯優於單一管道呈現教材的組別，Rosen 等人（2012）也有類似的研究發現。Cierniak、Scheiter 與 Gerjets（2009）則以大學生為研究對象，分別給予圖文整合版本的教材與圖文分散呈現的教材，研究結果發現閱讀圖文整合版本的組別學習表現較佳。並進一步以統計分析的方式測量三種認知負荷對於分散注意力效應之貢獻，結果外在負荷與適切負荷均有貢獻，意即分散注意力效應確實降低外在負荷，且伴隨增加適切負荷。

而認知負荷應用於多媒體教學方面，Mayer（2014）提出教學設計的方法之一為「少即是多」（Less is more），意即運用教學設計的特性減少外在認知負荷，學習者會獲得更多的學習成效。而相關文獻（Kirschner, 2002；Mayer & Moreno, 2002；Mayer & Moreno, 2003；Mayer, 2008；Mayer, 2009）提出一致性原則、信號原則、冗餘原則、空間接近原則，及時間接近原則等五項教學原則可減少外在過度負荷。依據 Mayer（2009）之主張，上述所提及之三種外在處理過度負荷之類型分別可以運用這五種教學原則作因應。一致性原則與信號原則可因應學習內容所附帶的認知處理所引起的認知過度負荷，冗餘原則與空間接近原則可因應學習內容呈現方式所引起的認知過度負荷，時間接近原則則可因應工作記憶必須保留的訊息量所引起的認知過度負荷。

下列分別介紹五種減少外在認知負荷之教學原則，其中冗餘原則之要義同於 Swller 所提出之冗餘效應，在此不再贅述，其餘四項教學原則分述如下：

一、一致性原則（coherence principle）

當學習者進行多媒體學習時，若內容中加入有趣卻無關的文字、圖畫或聲音，反而會妨礙學習者的學習，因此在教學者在呈現學習內容時應盡量排除內容中不需要的訊息，方能有益於學習。Mayer、DeLeeuw 與 Ayres（2007）以大學生為研究對象，將受試者分成四組，分別給予簡潔（concise）版的電腦化教材、擴大版（expanded）的電腦化教材、簡潔版的

紙本教材，以及擴大版的紙本教材。研究結果發現，無論是電腦化教材或是紙本教材，給予簡潔版的組別其學習保留與學習遷移的表現都較佳，驗證了一致性原則能有效降低外在負荷，促進學習者的學習。而 Mayer (2008) 進行 13 項一致性原則的實驗研究之後設分析，得到一致性原則的效果值為 0.97，顯示一致性之介入效果是明顯的(大效果值)。

Mayer (2014) 進一步提出多媒體課程結合裝飾的插圖可以提高受試者的學習興趣，但研究結果顯示並不會提高學習表現，對於近端或遠端的學習遷移亦都沒有助益。更重要的是，這些裝飾的插圖對於先備知識較低的學習者是特別不利的，反而造成這些學習者的認知過度負荷，再次對於一致性原則作教學應用之提醒。

二、信號原則 (signaling principle)

學習者在學習多媒體教材時，教材中如果有包含提示可以用來強調基礎教材的組織時，學習者會學得更好，尤其是當學習者的閱讀技能較弱、多媒體教材未經良好組織，或是教材本身包含了與概念無關聯的內容。Stull 與 Mayer (2007) 進行實驗研究，結果發現無論多媒體教材內容的難易程序高低，信號原則都能提升學習者對於內容的理解，降低外在認知負荷，提高學習效果。

三、空間接近原則 (spatial contiguity principle)

空間接近原則之意義類似於 Sweller 的分散注意力效應。空間接近原則是指當學習者進行相關的文字與圖畫之學習時，兩者出現在螢幕中的距離近優於遠，以避免學習者的耗費認知資源搜尋與相互參照。Mayer (2008) 分析 5 項空間接近原則實驗研究之後設分析，得到空間接近原則的效果值為 1.12，顯示介入處理效果顯著(大效果值)。而 Harter 與 Ku (2008) 以電腦化教學進行空間接近原則效果之實驗研究，結果顯示接受空間接近原則訊息呈現之實驗組，其後測成績顯著高於非空間接近原則訊息呈現之對照組，且值得注意的是，空間接近原則應用於能力較低的學習者之效果明顯高於能力較高的學習者。由上述研究結果可知空間接近原則可有效降低外在認知負荷，且運用在能力較低之學習者更能顯示其效果。

四、時間接近原則 (temporary contiguity principle)

時間接近原則之意義亦類似於 Sweller 的分散注意力效應。學習者進行相關文字與圖畫時，出現於螢幕中的時間以同步優於非同步，因此當學習者進行多媒體學習時，相關的多媒體物件以同時出現較佳，減少學習者的工作記憶負擔，也降低注意力分散而干擾學習。Mayer (2008) 分析 8 項關於時間接近原則之實驗研究，得到時間接近原則的介入效果值為 1.31，顯示時間接近原則能明顯降低外在認知負荷，提升學習的成效。

以上所述減少外在認知負荷之效應與原則均提供教材設計具體且良善的建議，以更有效率的方式協助學生的學習，避免設計不佳之教材呈現造成學習者之外在處理過度負荷。

結論

認知負荷理論提供教學設計呈現方式頗為完善的思考與規劃，對於工作記憶缺陷之學習障礙學生，適切地呈現學習內容更是重要與迫切。隨著資訊科技的發達、資訊教育的推廣，以及資訊融入教學的政策要求，多媒體應用與數位學習也成爲近年來熱門的教育議題，學習者可應用之資訊設備與行動載具亦更多元，資訊呈現之方式亦隨之日益豐富與即時。教學者宜保持實徵本位的取向，以既有之理論與實徵研究結果爲依據，審慎規劃與應用資訊之素材與設備，讓學習障礙學生有限之認知資源發揮最大之學習效益。

參考文獻

- 丁儀馨 (2012)：從認知負荷理論談學習障礙學生之教學設計。《**國小特殊教育**》，54，41-48。
- 毛淑蕙 (2010)：示例效應教學和開放目標效應教學對數學學習困難學生在文字題解題之學習成效。國立臺南大學特殊教育學系碩士論文（未出版）。
- 沈碩彬 (2008)：從認知負荷理論談英語教學之實施。《**研習資訊**》，25 (2)，51-57。
- 周台傑 (2007)：學習障礙者的特徵。載於許天威主編：《**新特殊教育導論**》（第二版）。臺北：五南。

- 涂金堂(2012)：應用認知負荷理論的數學解題教學實驗。屏東教育大學學報-教育類，38，227-256。
- 馬穎、余毅震、潘初、楊寧、王禮桂、吳漢榮（2009）：學習障礙兒童工作記憶功能的磁共振研究。中國學校衛生期刊，30(2)，124-126。
- 詹士宜（2012）：以認知負荷取向分析數學學習困難學生在多媒體數學解題歷程之教學。載於中華民國特殊教育學會主編：2012 中華民國特殊教育學會年刊（117-156 頁）。臺南：編者。
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load—recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139-146.
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, 25(2), 315-324.
- Geary, David C., Bailey, Drew H., Littlefield, Andrew, Wood, Phillip, Hoard, Mary K., & Nugent, Lara. (2009). First-grade predictors of mathematical learning disability: A latent class trajectory analysis. *Cognitive Development*, 24(4), 411-429.
- Geary, David C., Hoard, Mary K., Byrd-Craven, Jennifer, Nugent, Lara, & Chattavee, Numtee. (2007). Cognitive Mechanisms Underlying Achievement Deficits in Children With Mathematical Learning Disability. *Child Development*, 78(4), 1343-1359.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L., & Numtee, C. (2007). Cognitive Mechanisms Underlying Achievement Deficits in Children With Mathematical Learning Disability. *Child Development*, 78(4), 1343-1359.
- Gerven, P. W. M., Paas, F., Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2006). Modality and variability as factors in training the elderly. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 311-320.
- Harter, C. A., & Ku, H. Y. (2008). The effects of spatial contiguity within computer-based instruction of group personalized two-step mathematics

- word problems. *Computers in Human Behavior*, 24(4), 1668-1685.
- Jamet, E. & Bohec, O. L. (2007). The effect of redundant text in multimedia instruction. *Contemporary Educational Psychology*, 32, 588-598.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351-371.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1-10.
- Liu, T.C., Lin, Y.C., Tsai, M.J., & Paas, F. (2012). Split-Attention and Redundancy Effects on Mobile Learning in Physical Environments. *Computers & Education*, 58(1), 172-180.
- Mayer, R. E. & Moreno, R.(2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Education psychologist*, 38(1), 43-52.
- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American psychologist*, 63(8),760-769.
- Mayer, R. E.(2009). *Multimedia Learning*(2nd ed.). New York, NY: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 171-173.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99.
- Mayer, R. E., DeLeeuw, K. E., & Ayres, P. (2007). Creating retroactive and proactive interference in multimedia learning. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 795-809.
- Pieters, S., Desoete, A., Roeyers, H., Vanderswalmen, R., & Waelvelde, H. V. (2012). Behind mathematical learning disabilities: What about visual perception and motor skills? *Learning and Individual Differences*, 22(4), 498-504.
- Rosen, T., Fullwood, H. L., Henley, T. B., & King, J. R. (2012). Dual Coding Theory and Split Attention in the Learning of Abstract Words. *International*

- Journal of Instructional Media*, 39(3), 181-186.
- Schwonke, R., Renkl, A., Krieg, C., Wittwer, J., Aleven, Vi., & Salden, R. (2009). The worked-example effect: Not an artefact of lousy control conditions. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 258-266.
- Stull, A., & Mayer, R. E. (2007). Learning by doing versus learning by viewing: Three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology*, 99, 808-820.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16(2), 165-169.
- Sweller, J. (2007). Cognitive load theory. 發表於認知負荷國際學術研討會。高雄：國立高雄師範大學。
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138.