

空間短期記憶、空間工作記憶與空間能力 對圖學表現的影響

林漢裕* 李玉琇**

* 國立高雄師範大學工業設計學系
hanyu@nkn.edu.tw

**國立中正大學心理學系
psysl@ccu.edu.tw

摘要

圖學是工業設計科系必備的能力之一，圖學能力的好壞攸關設計表現，影響圖學表現的因素很多，空間能力可能是其中的因素之一。其次，工作記憶或許也和圖學表現有關，許多研究發現工作記憶能有效預測複雜作業表現，而學者認為工作記憶不會受到學習的影響，是屬於先天的能力（Baddeley, 2000）。探討工作記憶是否會影響圖學表現的深層意涵，所代表的是圖學表現是否會受先天能力的影響。在本研究中，工作記憶主要是以空間工作記憶為主，同時也納入空間短期記憶，作為影響圖學表現的變項。因此，本研究利用結構方程模式的統計方法，來同時看空間工作記憶、空間短期記憶與空間能力對圖學表現的影響。在實驗中，每個變項都是由 3 項作業所形成，因此參與者共進行 12 項作業。從結構模式中發現，空間能力直接影響圖學表現，空間工作記憶和空間短期記憶並沒有直接對圖學表現產生影響。因此，從本研究的結果來看，空間能力是影響圖學表現的重要因素，如果在設計訓練的過程中，能加強對空間能力訓練的話，對圖學表現就會產生影響。

關鍵詞：工作記憶、空間能力、圖學表現、結構方程模式

論文引用：林漢裕、李玉琇（2010）。空間短期記憶、空間工作記憶與空間能力對圖學表現的影響。

設計學報，15（4），1-18。

一、前言

對設計領域而言，在入學測驗或徵才的過程中，大部分都會加考和設計表現有關的測驗，測驗中有時會有些圖學的問題，例如三視圖或尺寸圖等，圖學能力是設計師與業者溝通的重要且基礎的能力之一，因為圖學能力的好壞，攸關製圖與識圖的表現。影響圖學表現的因素有很多，空間能力或許是其中的一項因素，因為在 Magin 和 Churches（1996）的研究中發現，圖學表現的好壞，空間能力扮演著重要的關鍵。其次，工作記憶或許也和圖學表現有關，有許多研究發現，工作記憶會影響複雜作業的表現，例如

工作記憶廣度和閱讀理解表現有高相關 (Daneman & Merikle, 1996)，也就是高工作記憶廣度的人，其閱讀理解的表現會比低工作記憶廣度的人好；對於國家考試的成績表現而言，工作記憶和 7 歲兒童的英文及數學成績有關，同時也與 11 歲兒童的數學及科學成績有高相關 (Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004)。可見，工作記憶和複雜作業表現有密不可分的關係。

因此，本研究主要目的是探討空間能力和工作記憶對圖學表現的影響，其重要性除了進一步釐清空間能力與圖學表現之間的關係外，也同時看工作記憶是否會影響圖學表現。除此之外，有學者認為工作記憶不會受到學習的影響，是屬於先天的能力 (Baddeley, 2000)。所以，探討工作記憶是否會影響圖學表現的深層意涵，所代表的是圖學表現是否會受先天的影響。因此，本研究利用結構方程模式 (structural equation modeling) 來同時看空間能力和工作記憶對圖學表現的影響，在本研究中，工作記憶主要是以空間工作記憶為主，同時也納入空間短期記憶，作為影響圖學表現的變項，會將空間短期記憶納入影響圖學表現因素之一，是因為有研究發現空間短期記憶廣度對空間能力的預測，和空間工作記憶廣度的預測力是一樣的 (Shah & Miyake, 1996)，也有研究發現空間短期記憶和空間作業分數有高相關 (例如 Ichikawa, 1983; Juhel, 1991)。

二、文獻探討

2-1 空間能力與複雜作業表現

空間能力指的是對良好結構的視覺影像做產生、保留、提取和轉換的能力 (Lohman, 1988)。Lohman 指出，在藝術、數學和科學的領域中，高空間能力的人，通常具有高創造力。不同領域的科學家，如愛因斯坦、班哲明、瓦特都曾表示，大部分創造力的來源，空間能力扮演著重要的角色。由此可見，空間能力對成就表現具有重要的指標意義。

許多研究空間能力的學者都認為，空間能力並不是單一的技能，而是由許多因素組成 (Linn & Peterson, 1985; McGee, 1979)。McGee (1979) 認為：空間能力至少有兩個主要的成分，包括空間想像 (spatial visualization) 和空間方位 (spatial orientation) 的能力；Carroll (1993) 在其研究中將空間能力區分為五個因素，分別為空間想像、空間關連 (spatial relation)、視覺空間感知速度 (visuospatial perceptual speed)、完形速度 (closure speed) 和形狀變通 (closure flexibility) 等因素。

既然空間能力是由許多因素組成，空間能力的測量也就包含許多不同面向的作業，這些測量空間的作業，也是以學者對空間能力因素的定義所制訂。以 Miyake、Friedman、Rettinger、Shah 和 Hegarty (2001) 檢驗空間能力為例，Miyake 等人根據 Carroll (1993) 所提的空間能力因素，整理出三種最常提到的因素 (空間想像、空間關連和視覺空間感知速度) 作為空間能力高低的指標。Carroll 認為：空間想像因素反應的是對空間形態的理解、編碼和內心操弄，測量這項因素的作業如摺紙作業 (paper folding; Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976) 和空間關連作業 (space relations; Bennet, Seashore, & Wesman, 1972) 等；空間關連因素和空間想像因素很類似，同樣需要做心理轉換，但不同的是空間關連測驗通常是處理 2D 的圖形，而且是在一個步驟就可以完成，測驗所強調的是速度，測量這項因素的作業如卡片旋轉作業 (card rotation; Ekstrom et al., 1976) 和旗子旋轉作業 (flags; Thurstone & Thurstone, 1941)；視覺空間知覺速度反應的是速度或效率的個別差異，測驗中參與者不需作空間的轉換，而是快速對視覺圖形作配對的判斷，測量這項因素的作業如同圖形判斷作業 (identical pictures) 和隱藏圖形判斷作業 (hidden patterns; Ekstrom et al., 1976)。

在瞭解空間能力的組成因素和相關的測驗作業後，研究者普遍關心的問題是：空間能力是否能促進和空間有關的作業表現？在建築設計的表現上，空間想像能力是重要的，Gobert（1999）的研究發現，空間想像能力與建築平面訊息的獲得、理解和發展 3D 表徵有關連，同時空間想像能力和空間方位能力對高階建築知識的提取也會產生影響，這樣的結果說明了，空間能力對建築表現的影響是明顯的。

從工程領域來看，對工程科系的學生而言，圖學表現的好壞，空間能力也扮演著重要的關鍵角色（Magin & Churches, 1996）。Burton 和 Dowling（2009）的研究發現，空間能力對於工科學生的課業表現會有影響，因此認為學生如果在就學的初期缺乏空間能力，必須要能有機會加以訓練，如此才能增進學業表現。Medina、Gerson 和 Sorby（1998）研究也發現，區分性向測驗（differential aptitude tests; Bennet et al., 1972）的測驗分數，能有效預測工程圖學的課程表現。在機械科系領域中，Hegarty 和 Sims（1994）研究空間能力和機械推理表現的關係，結果發現空間想像作業表現越好的參與者，機械推理的表現也就越好。空間想像能力對從事機械設計工作時的構想想像，或是將設計構想轉換成草圖的描繪，扮演著重要的架橋工作（Bertoline, Wiebe, Miller, & Nasman, 1995），缺乏空間想像能力的經驗，在機械工程繪圖的學習上會產生困難（Potter & Merwe, 2001）。由此可見，空間能力和工程圖學的學習與表現具有某種程度的關連。

既然空間能力和某些領域的表現有關，那空間能力是否可以透過適度的訓練而增加？Wanzel、Hamstra、Anastakis、Matsumoto 和 Cusimano（2002）研究特定外科手術程序和視覺空間能力，結果發現心像旋轉（mental rotation）的測驗分數和學習開刀機器（如 Z-plasties）的表現有關，高心像旋轉測驗分數的醫師，會有較高的機器操作表現分數。低心像旋轉能力的醫師，經由練習和回饋，對開刀機器的操作就會產生和高心像旋轉能力的醫師接近。Wanzel 等人認為，經由學習，當醫師具有高空間分數時，能遷移他們的技能，使複雜的機器變得較容易，同時也會有較好的表現。這種效果指的是習得的空間能力，能轉化到和空間有關的作業表現上。

從學校的長時間訓練來看，更能清楚看到空間訓練和經驗的效果。以土木工程系學生接受結構設計（structural design）課為例，Alias、Black 和 Gray（2002）針對這門課施以不同的訓練方式，一組要參與者用空間想像的方式去建構建築體，同時將想像的建築體繪出，另一組則是用傳統講授的上課方式，結果發現接受空間想像能力教學的同學，空間想像能力測驗的結果，優於傳統上課方式的同學。因此，Alias 等人認為，空間活動的經驗，能增強學生的空間想像能力。另外，Potter 和 Merwe（2001）的研究也發現，空間能力和視覺想像（visual imagery）能力，會影響工科學生的學業表現，這樣的能力可以透過適當的訓練而增加。

從職業的角度來看，同樣也可看到經驗對空間能力產生效果。以飛行員為例，飛行員在訓練的過程中，往往需要仰賴不同的空間能力，例如心像旋轉能力，當飛機做翻轉時，心像旋轉能力就顯的重要，飛行員必須用心像判斷飛機翻轉時的方向，作為操控判斷的依據。從 Dror、Kosslyn 和 Waag（1993）的研究發現，飛行員在心像旋轉能力和尺標空間關連（metric spatial relation）能力，都較一般人優秀，反應的速度也較快。由此可見，許多空間能力因素，經過學校長時間訓練或工作經驗，會影響複雜作業的表現。

2-2 短期記憶、工作記憶和複雜作業表現

在探討記憶如何影響複雜作業表現之前，首先先要釐清短期記憶和工作記憶的關係，短期記憶最大的特徵是訊息保存的時間相當有限，在沒有經過複誦或處於干擾的情況下，訊息很容易遺忘，最常見的

就是當友人告訴我們一組電話號碼，電話撥通之後，號碼也隨之忘記，這就是短期記憶的特性。短期記憶最為人熟知的就是神奇數字 7 ± 2 (Miller, 1956)，它所代表的意涵是短期記憶的記憶廣度，一般人在沒有經過訓練之下，能夠記住 7 個數字、7 件事或 7 個串集 (chunks)。

在記憶系統中，除了短期記憶外，工作記憶也是記憶系統的一環。所謂的工作記憶，Baddeley (1992) 舉了一個購物找錢的例子來說明工作記憶的運作，例如當你進到超商買了三瓶礦泉水，每瓶售價 \$ 1.8 元，給了 \$ 10 元，請問店員該找多少錢？為了完成找錢的工作，店員必須保留先前計算的結果 (例如 3×1.8)，直到下一個計算完成。這種儲存過渡期間的計算數值，到完成整個找零的作業，就需要工作記憶來做訊息的維持和即時的處理，這也是工作記憶的基本概念。

為了更清楚瞭解什麼是工作記憶，許多學者曾在其研究中提到對工作記憶的敘述，例如 Baddeley 和 Logie (1999) 認為工作記憶是由一些認知功能所組成，能讓人保留刺激的訊息、做理解、支援新知識的獲得、解決問題和對目標作規劃及行動；Cowan (1999) 認為工作記憶和認知處理有關，它能維持訊息在一個可提取的狀態，讓人能適當地完成許多作業，這些作業包括語文理解、語文產出、問題解決和做決定等等，上述這些作業都必須將訊息保留在心中。

工作記憶的測量，目前常用的方法是雙重作業 (dual-task) 的方式，也就是作業的內容包括處理作業和短期記憶作業，這種方式首先用在閱讀廣度作業 (reading span) 的測量上 (Daneman & Carpenter, 1980)。閱讀廣度的作法是：首先參與者必須大聲將呈現的句字唸出來，並對該句的句意作判斷，同時要記住句子的最後一個字，最後將記住的字，按照順序回憶出來。例如呈現句子 1：長頸鹿的脖子很短。句子 2：大象比螞蟻大。這兩個句子會依序在不同的時間呈現出來，當呈現句子 1 時，參與者必須大聲唸出，同時回答「錯誤」，並記住「短」字，之後呈現句子 2，參與者同樣大聲唸出該句，同時回答「正確」，並記住「大」字。當螢幕出現要參與者回答的記號時，參與者要依序回答出「短」、「大」。近年來，有學者對閱讀廣度的操弄有點不同，例如 Engle、Kane 和 Tuholski (1999) 的作法也是讓參與者念一個句子，在句子後面同時伴隨有一個不相關的字，參與者要將該字唸出來同時記住。這種作法的改變是回憶不相關的字，而不是最後一個字，這樣的好處是避免參與者利用句意來產生字的記憶。

從工作記憶的測量來看，工作記憶包含了短期記憶在其中，Engle 等人 (1999) 認為工作記憶是短期記憶加注意力控制 (working memory = short-term memory + controlled attention)，並認為注意力控制是整個工作記憶的核心。Engle 等人 (1999) 認為工作記憶和短期記憶有密切關連，但兩者是不同的，也認為工作記憶和短期記憶的差異是控制的處理。在他們的研究中，曾探討工作記憶和短期記憶對流體智力的影響，從驗證性因素分析 (confirmatory factor analysis) 和結構方程模式的結果顯示，工作記憶和短期記憶分成兩個因素的模式，明顯比單一因素 (工作記憶加短期記憶) 模式有較好的適配度。因此，即使工作記憶和短期記憶有高相關，也要將這兩者視為不同。另外，這兩個因素是否和流體智力有關？研究的結果顯示，工作記憶和流體智力有強的關連，短期記憶則和流體智力無關。由這兩項結果可以看出，工作記憶和短期記憶兩者是不同的。

從工作記憶和短期記憶與複雜作業表現的研究中，也可以看到工作記憶和短期記憶不同的證據，例如在複雜語文作業中，工作記憶比短期記憶有較好的預測力 (Daneman & Carpenter, 1980; Turner & Engle, 1989)；在一個後設分析 (meta-analysis) 的研究顯示，對於閱讀理解的表現而言，工作記憶優於短期記憶 (Daneman & Merikle, 1996)；在流體智力的表現上，用結構方程模式來探討工作記憶、短期記憶對流體智力的影響，結果也發現工作記憶有較好的預測能力 (Conway, Cowan, Bunting, Theriault & Minkoff, 2002)；用驗證性因素分析的方法，也發現工作記憶和短期記憶分開成兩個因素比一個因素的模式更適配 (Kail & Hall, 2001)，這意味著工作記憶和短期記憶要視為兩個不同的因素會比較好。

然而，上述探討工作記憶和短期記憶是否有不同的研究，是以語文領域為主。這樣的結論是否能類推到空間領域，或在空間領域中，空間工作記憶對於空間表現的預測，是否能優於空間短期記憶？這個答案似乎是否定的。例如在空間短期記憶、空間工作記憶與空間能力關係的研究中發現，空間短期記憶和空間工作記憶對於空間作業的表現，有著相同的預測力 (Shah & Miyake, 1996)。另外，Miyake 等人 (2001) 也針對空間工作記憶、空間短期記憶、中央執行和空間能力之間的關係進行探討，從驗證性因素分析的結果顯示，空間工作記憶和中央執行的相關係數，與空間短期記憶和中央執行的相關係數是相近的 (.56 與 .55)，同時空間工作記憶和空間短期記憶有高相關 (.86)，這顯示了空間工作記憶和空間短期記憶兩者是不容易加以區分的。在其他的研究中也發現，空間短期記憶和空間作業分數有高相關 (例如 Ichikawa, 1983; Juhel, 1991)。

從探討短期記憶和工作記憶文獻中可以看出，在語言領域的研究中，語文工作記憶和語文短期記憶是有不同的，但在空間領域的研究中，空間工作記憶和空間短期記憶有高相關，兩者並不容易區分。然而，探討短期記憶和工作記憶之異同，雖不是本研究的重點，不過從整理工作記憶和短期記憶的異同研究中，可以看見工作記憶能有效的預測複雜作業表現。

目前有關影響複雜作業表現的研究中，大部分都是單一因素對表現的影響，例如閱讀廣度對閱讀理解表現的影響 (Daneman & Carpenter, 1980)，或是專門知識的多寡能有效預測棒球表現的回憶內容 (Spilich, Vesonder, Chiesi, & Voss, 1979)。至於同時處理兩個以上的變項並不多見，例如 Hambrick 和 Engle (2002) 曾探討棒球專門知識和工作記憶對棒球記憶表現的影響，結果發現專門知識是主要影響的因素，而工作記憶對表現也有顯著的效果。值得注意的是，如果把工作記憶這個潛在變項從結構模式中移除，則模式的適配度就會變得非常不好。可見，除了專門知識以外，工作記憶對複雜作業的表現，也是一項重要的影響因素。相似的結果也在 Dixon、LeFevre 和 Twilley (1988) 的研究中看到，也就是字詞知識和工作記憶對閱讀表現會有幫助。值得注意的是，Dixon 等人 (1988) 指出先前學者在知識或工作記憶對複雜作業表現的研究有一個共同的問題，就是大部分的研究都是用單一的測量來表示，這樣的結果容易產生偏差，例如字詞知識可能需要包含許多面向的測量。因此，在他們的研究中將閱讀表現、字詞知識和記憶容量等因素，分別用三個不同面向的測驗來進行，例如閱讀表現的因素包括閱讀理解測驗、推論測驗和閱讀速度測驗等。利用迴歸方程式建立一個因果模式，從因果模式中發現，工作記憶能預測閱讀理解作業，字詞知識中的字彙測驗，能預測所有的閱讀表現作業。

綜合以上文獻探討，可以發現和總結以下幾點：(1) 空間能力能有效預測複雜作業表現；(2) 工作記憶在大部分的研究中也同樣能有效預測複雜作業表現，不過這類的研究多集中在語文領域，對於空間工作記憶的研究較為少見；(3) 空間工作記憶和空間短期記憶在部分的研究中，有看到兩者對作業表現具有同樣的預測力；(4) 有關變項的問題，目前多數的研究都是用單一測量，也就是用一個測驗就來代表該變項，例如用閱讀廣度測驗來代表工作記憶，用單一測量就代表該變項，在研究上容易產生偏誤。基於上述結論，本研究目的即是以空間短期記憶、空間工作記憶和空間能力作為獨變項，圖學表現作為依變項，探討三個依變項對圖學表現的影響。在實驗設計上是以潛在變項的概念來進行，因此每個變項都有三個測驗，目的是對每個變項進行更完整的測量。

所謂潛在變項，指的是不能直接測量的變項，例如焦慮或智力等抽象的構念。一個潛在變項可以由多個觀察變項來反映形成，例如焦慮是一個不可直接測量的變項，但可以利用心跳速度、失眠頻率等可觀察的變項來反映焦慮的程度，這時焦慮就是一個潛在變項。同樣地，工作記憶也是一個抽象的構念，必須藉由一些觀察變項，來反映形成工作記憶這個潛在變項，例如算數廣度 (counting span)、運算廣度和閱讀廣度都是在測量工作記憶的廣度，這些測量廣度的作業，研究者將它們形成一個工作記憶廣度

的潛在變項 (Conway et al., 2002; Kane, Hambrick, Tuholski, Payne, & Engle, 2004)。潛在變項的優點，除了比單一的測量變項能更完整地測量到工作記憶的構念外，更重要的是潛在變項的分析具有穩定性 (Conway et al., 2005)。

其次，本研究利用結構方程模式的統計方法，而不採用相關的原因，主要是因為相關會有幾項問題：(1) 樣本數會影響相關的結果，當樣本數越大的時候，即便是相關的數值很小都有可能達到顯著，同樣地，當相關很高時，有時會因為樣本數少，而沒有達到顯著；(2) 相關是個別變項和個別變項間的關係，而本研究看的是三個因素同時對圖學表現的影響，若採個別變項對個別變項的相關來看，很有可能 A 對 C 有相關，B 對 C 有相關，但是 A 和 B 一起對 C 來看的話，可能就會產生抑制效果；(3) 相關是平行的在看兩者之間的關係，中介變項的問題並沒辦法處理，中介變項雖可用路徑分析來進行，但路徑分析又將變項的信度視為 1.0，也就是會忽略測量誤差的問題。因此，綜合上述的分析，結構方程模式能同時看多個變項因果的關係，也能處理中介變項的問題，並將測量誤差排除，使結果更具精確性，考量這些因素，本研究選擇以結構方程模式來進行，而不以相關來作分析。結構方程模式的另一項特色就是能同時檢驗幾個潛在變項對某個潛在變項的影響，這樣的統計方法，能符合本研究的目的，也就是同時看空間短期記憶、空間工作記憶和空間能力對圖學表現的影響，藉由各個變項對某個變項的因素負荷量，來判定影響效果。

三、研究方法

3-1 參與者

本研究的參與者共 152 人，男生 131 人，女生 21 人，年齡分佈從 18 歲到 29 歲之間，平均年齡 21.14 歲，標準差為 1.81。在 152 個參與者中，工業設計系 122 人，非工業設計系 30 人。工業設計系的參與者分別受過 1 至 8 年不等的工業設計訓練，分佈範圍從大一新生到研究所，人數分別為：大一 24 人、大二 33 人、大三 24 人、大四 25 人和研究所 16 人。在非工業設計系的參與者方面，主要是以機械系為主，少數電機系的同學，這些參與者都具備有基礎的圖學觀念。所有參與者都是透過課堂的宣傳或同學相互招募而來，參與者完成所有測驗後，可獲得 1000 元酬勞。

3-2 材料

本研究總共有四個潛在變項，包括空間短期記憶、空間工作記憶、空間能力與圖學表現，每個潛在變項各有三個測驗，以下將分別說明。

3-2.1 空間短期記憶

空間短期記憶是指以圖形做為材料，在呈現完圖形後，參與者回憶出呈現材料的內容。在本研究中，以方塊位置作業 (corsi block task; Milner, 1971)、箭頭方向作業 (arrow span task; Shah & Miyake, 1996) 和點的記憶作業 (dot memory task; Ichikawa, 1983) 來形成空間短期記憶的潛在變項 (三項作業的範例如圖 1)。

方塊位置作業：在作業中參與者會在螢幕上看到一群 10 個大小相同的小方塊所組成的圖，其中有一個黑色的小方塊，參與者要記住黑色小方塊出現的位置。這項作業進行的方式是先出現一群 10 個小方塊

的圖，該圖出現的時間是 1 秒，參與者要在 1 秒內將黑色小方塊的位置記住，之後會出現一個「+」的圖形，該圖形出現的時間是 500 毫秒，之後下一群 10 個小方塊的圖會再次出現，同樣記住黑色小方塊的位置。如此，直到電腦螢幕上出現「??」的符號時，參與者隨即在答案紙上，按照順序用阿拉伯數字寫下黑色小方塊的位置。本作業的回憶內容是以題為單位，每題回憶小方塊的數量從 3 個到 8 個，每題都有 3 個嘗試次，因此共有 18 題，參與者必須完成所有的題目。分數的計算是以參與者正確回憶出黑色小方塊出現的順序與位置為主，順序和位置都對就給 1 分，如果回憶出的位置正確，但順序錯誤，則給 .5 分，方塊位置作業的分數是將每題回憶出來的分數加總，總分為 99 分。

箭頭方向作業：這個作業的進行方式與計分方法都和方塊位置作業一樣，不同的地方是將呈現的材料換成箭頭出現的角度，參與者要回憶箭頭出現的角度和順序。

點的記憶作業：這個作業的進行方式與計分方法都和方塊位置作業一樣，不同的地方是將呈現的材料換成 4×4 的矩陣圖，參與者要記住矩陣圖中黑色小圓點出現的位置和順序。

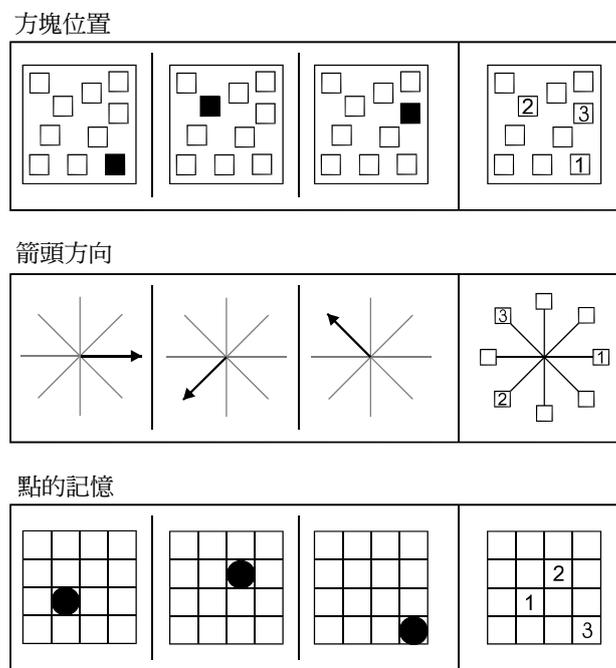


圖 1. 空間短期記憶的三項作業

3-2.2 空間工作記憶作業

空間工作記憶指的是以圖形做為材料，作業內容包括處理作業與短期記憶作業，也就是參與者先處理呈現的問題，然後記住某些東西，最後將記住的内容依序回憶出來。在本研究中以文字旋轉作業 (letter rotation task; Miyake et al., 2001)、點矩陣作業 (dot matrix task; Miyake et al., 2001) 和同異圖形作業 (odd-one-out task; Jarvis & Gathercole, 2003) 來形成空間工作記憶的潛在變項 (三項作業範例如圖 2)。

同異圖形作業：在這個作業中，參與者必須對出現的三個圖形作判斷，判斷完後會出現和方塊位置記憶作業一樣的圖，參與者要記住黑色小方塊的位置，最後回憶出黑色小方塊。這個作業進行的方式是：電腦螢幕上會先出現由三個方框所組成的圖，每個方框下面都有一個圖號，在方框內的三個圖當中，有一個圖和另外兩個圖不同，參與者必須在 7 秒內作判斷，並大聲說出不同圖的圖號。當參與者大聲說出圖號後，主試者便按下按鍵，讓帶有黑色小方塊的圖出現，這個圖出現的時間是 1.5 秒，此時參與者必

須將黑色小方塊的位置記住，之後下一個不同的三個方框圖就會再出現，參與者判斷完之後，隨即又會出現帶有黑色小方塊的圖。如此，直到螢幕上出現「??」的符號時，參與者隨即在紙本的答案卷上，按照順序將黑色小方塊出現的位置回憶出來。這個作業的回憶內容，是以題為單位，每題回憶黑色小方塊的數量從 2 個到 7 個，每題都有 3 個嘗試次，因此共有 18 題，參與者必須完成所有的題目。分數的計算是以正確回憶出黑色小方塊出現的順序和位置為主，順序和位置都對就給 1 分，如果回憶出的位置對但順序錯則給 .5 分。同異圖形作業的分數是將每題回憶出來的分數加總，總分為 81 分。

文字旋轉作業：這個作業的進行方式與計分方法都和同異圖形作業一樣，不同的地方包括：（1）處理作業換成判斷英文字母（例如 F、J 或 R）是正向或鏡像，參與者必須在 5 秒內作判斷；（2）記憶作業換成箭頭呈現的方向，參與者要依序回憶出呈現的箭頭方向。

點矩陣作業：這個作業的進行方式與計分方法也和同異圖形作業一樣，不同的地方包括：（1）處理作業換成判斷線段加減是對或錯，參與者必須在 7 秒內作判斷。（2）記憶作業換成記 4×4 矩陣圖中黑色小圓點的位置，參與者要依序回憶出呈現的黑色小圓點位置。

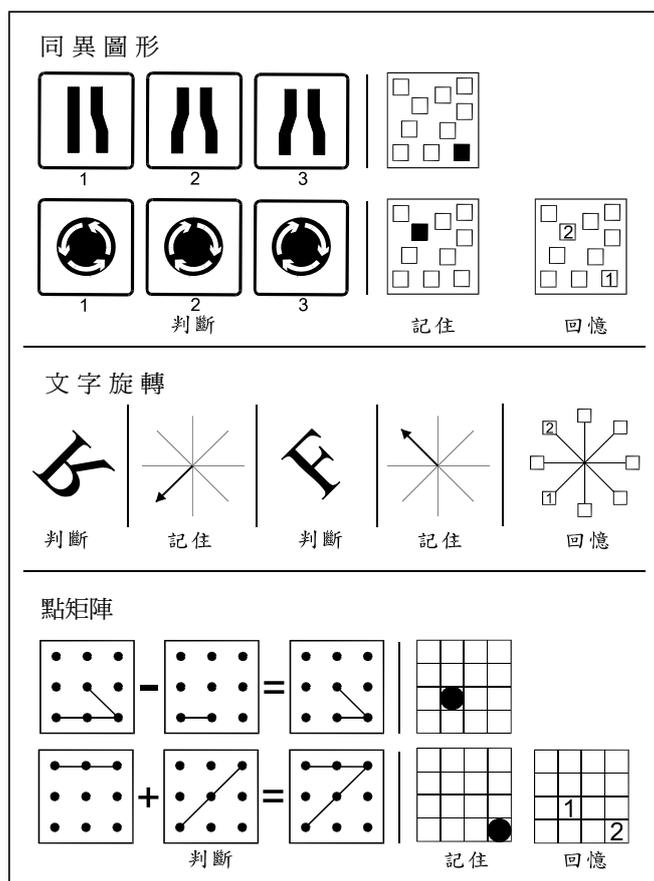


圖 2. 空間工作記憶的三項作業

3-2.3 空間能力作業

空間能力作業主要是依據 Miyake 等人 (2001) 在實驗中所使用的空間關連作業、卡片旋轉作業和隱藏圖形作業來進行。

空間關連作業：空間關連作業的材料是來自於區分性向測驗（differential aptitude tests; Bennet et al., 1972）。在這個作業中，參與者要針對左邊的平面展開圖，想像折成後的立體圖，並從右邊的四個立體圖選項中，圈選出一個正確的圖形。這個作業的測驗時間共 12 分鐘，參與者被要求在正確的前提下快速作答。分數的計算是依據 Miyake 等人（2001）的算法，以答對的題數減掉答錯的題數乘.33。例如參與者答對 28 題，答錯 1 題，分數為： $28-1 \times .33=27.67$ 。

卡片旋轉作業：卡片旋轉作業材料是因素參照的認知測驗（kit of factor-referenced cognitive tests; Ekstrom et al., 1976）中的一項測驗。在這項測驗中，參與者要根據左邊的目標圖，來判斷右邊所呈現的各種角度的圖形和目標圖是相同或鏡像的關係。如果參與者認為右邊的圖和目標圖是相同的，就在該圖下方的「同」、「異」兩個方框選項中，勾選「同」的方框，如果認為是鏡像的關係，則勾選「異」的方框，整個測驗過程共 6 分鐘。卡片旋轉作業分數，是以參與者勾選的正確題數減掉錯誤題數。

隱藏圖形作業：隱藏圖形作業（Ekstrom et al., 1976）的材料同樣是取自認知相關因素測驗群組。在這個作業中，會有一個基準圖和一些比基準圖稍微複雜一點的圖形，參與者要判斷所呈現的圖形是否有基準圖隱藏在其中。如果有，就在圖形下邊的括弧中劃上「+」號，如果沒有，就劃上「-」號。測驗時間為 1.5 分鐘。當判斷結束後，會再給予一份相同基準圖，因此，隱藏圖形作業的分數是將兩次判斷正確的題數相加，減掉兩次錯誤判斷的題數。

3-2.4 圖學表現作業

在設計學系的入學考試中，幾乎所有的學校都會加考術科，目的是要看考生設計表現的能力。在設計表現的評量上，設計構想、設計表現圖和工程圖是三項重要的評量指標。這些評量指標中，設計構想和設計表現具有主觀的成分，容易有喜好上的問題。工程圖的表現，可看出設計者對立體空間的知識和觀念，同時也有明確的標準。因此，本研究在選用評量圖學表現作業的材料時，是以圖學中的三視圖轉立體圖，立體圖轉三視圖以及立體圖旋轉作業為主，如圖 3 所示。這些作業的共同特徵是測參與者在立體空間的知識和掌握能力，同時也測參與者手繪圖形產出的能力。這兩種能力對設計師而言是重要的，如果不具備基本的工程圖知識，設計師很難將構想表達成可以溝通和生產的圖面。其次，如果手繪產出的能力很差，設計師也很難將設計構想轉換成圖面。在三個作業中，參與者必須將平面或立體圖的訊息，透過手繪的方式，將大腦中的圖形徒手畫出，這種作法更接近實際的設計方式，同時也能反應出參與者基本的設計能力。

三視轉立體作業：這個作業是呈現一個立體圖的三面視圖，包括正視圖、上視圖和右側視圖，參與者根據三個視圖，徒手畫出它的立體圖。作業時間為 20 分鐘。分數的計算是以參與者正確畫出立體圖的題數為準，每題 1 分，如果參與者畫出的立體圖，大部分都正確，僅有一個小地方錯誤（例如少畫一條線），則給.5 分，如果錯誤超過兩個或兩個以上，該題不給分，三視轉立體作業的總分為 24 分。

立體轉三視作業：這個作業是呈現一個立體圖，參與者根據立體圖，徒手畫出三面視圖（正視圖、上視圖和右側視圖）。作答時間為 20 分鐘。分數的計算是以參與者正確畫出三視圖的題數為準，每題 1 分，如果參與者畫對三視圖中的一個，給.33 分，如果畫對兩個視圖，給.67 分，立體轉三視作業的總分為 24 分。

立體旋轉作業：立體旋轉作業是呈現一個立體圖，參與者根據所指定的旋轉角度，徒手畫出旋轉後的立體圖。在演練的過程中，提醒參與者立體圖中粗黑斷線的位置，以及要參與者依據粗黑斷線的旋轉方向，將原始立體圖中其他的線段畫出來。這個作業共進行 20 分鐘，在分數的計算方面，以參與者正確畫出旋轉後的立體圖為準，每題 1 分，如果參與者畫出旋轉後的立體圖，大部分都正確，僅有一個小地

方錯誤，例如某一條線沒畫到，則給.5分，如果超過兩個或兩個以上的錯誤，該題不給分，立體旋轉作業的總分為25分。

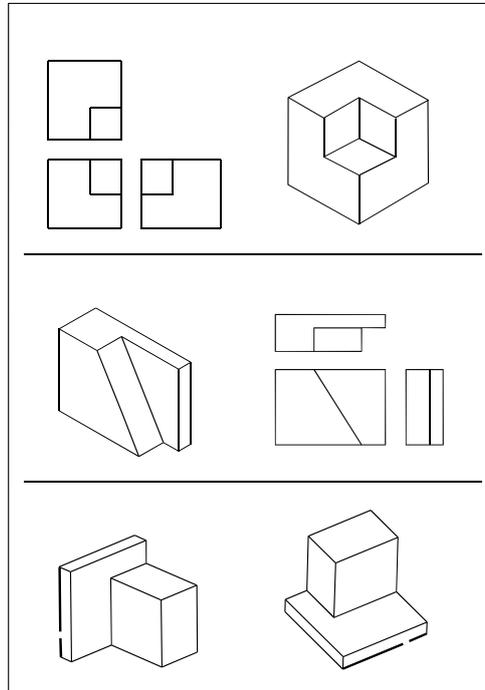


圖 3. 三項圖學表現作業

3-3 儀器

本研究所使用的儀器包括一台 IBM 筆記型電腦、一台 15 吋 LCD 螢幕、一隻光學滑鼠和一個碼錶。筆記型電腦外接螢幕和滑鼠，放置在兩張並排成 L 型的桌子上，參與者坐在 L 型桌子裡面，面對 LCD 螢幕，參與者距離螢幕的位置大約 60 公分。主試者則是坐在 L 型桌子外面（主試者和參與者各用一張桌子），主試者透過筆記型電腦來控制 LCD 螢幕上出現的內容。螢幕的解析度是 1024×768，螢幕上所呈現的內容是白底黑字或黑圖。主試者能同時看到筆記型電腦和外接螢幕所出現的內容，同時也能看到參與者的任何反應。本研究中的空間短期記憶、空間工作記憶都是透過電腦螢幕呈現。記憶測驗的控制程式由 E-prime 撰寫而成，空間能力和圖學表現作業，是以紙本的方式進行。

3-4 程序

本研究共有 12 項作業，分成兩階段進行，第一階段為空間短期記憶和空間工作記憶等 6 項作業，透過電腦呈現採個別施測，作業測驗的順序為空間短期記憶 3 項作業先進行，之後才進行空間工作記憶，如此能讓參與者在測驗工作記憶作業時能夠更容易進行（Kane et al., 2004）。第二階段為空間能力和圖學表現作業，採團體施測的方式進行。

第一階段的實驗是在一個安靜且獨立的空間進行，參與者進到實驗室後，主試者告訴他整個實驗的過程，並請他填上基本資料後開始進行空間短期記憶作業，當完成空間短期記憶的 3 項作業後，會有 5 分鐘的休息，之後才進行空間工作記憶的 3 項作業。第一階段完成後，主試者再跟參與者約第二階段的空間能力和圖學表現作業的團體施測時間。參與者從第一階段開始到團體施測完成，中間間隔的時間不超過 4 個星期。

四、結果

本研究用結構方程模式的統計方法，同時看空間短期記憶、空間工作記憶和空間能力對圖學表現的影響，使用軟體為 LISREL，使用估計方法為最大似法。由於結構方程模式對偏離值很敏感，需小心處理偏離值的問題 (Kline, 1998)。因此，本研究在進行統計分析之前，用兩個步驟來檢驗偏離值。首先針對每位參與者所測驗的每項作業，檢驗其得分是否有超過 3.5 個標準差。在 12 項作業中，隱藏圖形作業有 1 個參與者的數值超過。Kline (1998) 建議，對於偏離值的處理有兩種方式，一個是刪除該筆參與者的資料，另一個是將偏離值做修正。本研究是將該參與者的該項作業數值修正為 3.5 個標準差。將數值作修正後，接下來進行 Cook's D 數值的檢驗，Cook's D 反應的是刪除某個參與者數值後，迴歸係數的改變量。Cook's D 的數值要超過 1，才會被考慮為偏離值 (Cook, 1977)，在第二個步驟的檢驗中，並沒發現有數值超過 1。

處理完偏離值之後，進行描述統計，統計結果如表 1。從表 1 的平均數來看，並沒有產生天花板或地板效應，例如圖學表現中三視轉立體作業的總分為 24 分，受測者平均得分為 14.84 分，由此來看，作業試題的難易度適中。另外，結構方程模式的基本假設是觀察變項必須符合常態分配，偏態和峰度可以用來判斷變項是否符合常態分配，當偏態值如果小於 3，峰度值如果小於 10 (Kline, 1998)，則可視為常態分配。表 1 中的偏態和峰度都符合這個標準，因此每項作業上的分數分佈都是常態分配。另外，從表 1 中的信度來看，Cronbach α 係數都相當高 (超過 .70)，顯示這些作業具足夠的信度。

表 1. 描述統計

變項	平均數	標準差	偏態	峰度	得分範圍	分數範圍	信度
sw1	57.63	12.65	-.53	-.13	22-80	0-81	.89
sw2	64.65	9.03	-.95	.85	34-80.5	0-81	.84
sw3	46.27	13.11	-.02	-.55	18.5-79	0-81	.88
sst1	81.68	7.24	-.29	.03	60-98	0-99	.71
sst2	80.19	7.62	-.45	.22	55-98.5	0-99	.70
sst3	73.18	9.80	-.22	-.49	48.5-93	0-99	.80
SRL	31.03	8.77	.02	-.56	8.67-50	0-50	.92
SRT	120.95	32.10	.47	.05	34-211	0-240	.86
SHT	145.66	25.49	-.26	1.60	58-234	0-400	.83
V3D	14.84	5.09	-.17	-.62	2-24	0-24	.90
3DV	15.83	4.74	-.55	-.44	3-23.3	0-24	.92
3DRT	13.53	5.68	.14	-.71	1-25	0-25	.89

註：參與者共 152 人，sw1=同異圖形作業，sw2=文字旋轉作業，sw3=點矩陣作業，sst1=方塊位置作業，sst2=箭頭方向作業，sst3=點的記憶作業，SRL=空間關連作業，SRT=卡片旋轉作業，SHT=隱藏圖形作業，V3D=三視轉立體作業，3DV=立體轉三視作業，3DRT=立體旋轉作業。

接下來用結構方程模式同時來看空間短期記憶、空間工作記憶、空間能力對圖學表現的影響。在探討這個問題上，採用兩個步驟的方式 (two-step approach) 來進行 (Anderson & Gerbing, 1988)。首先用驗證性因素分析，來看各觀察變項所形成潛在變項的標準化因素負荷量，之後再進行結構方程模式。驗證性因素分析的結果如圖 4，圖 4 中的數值為標準化係數。結構方程模式主要是檢驗理論所建構的模式和收集資料間的符合程度，因此要檢驗這個模式是否能夠被接受，需要從多個指標來看，最常最常用的

指標包括 χ^2 、CFI、NNFI、RMSEA 和 SRMR 等， χ^2 為一種差異性適配指標，模式要能夠被接受， χ^2 必須不顯著，但 χ^2 值對樣本數相當敏感，當樣本數越大時， χ^2 就容易達到顯著，導致模式遭到拒絕，因此，需有另外的指標來作為模式評估的參考。CFI 和 NNFI，值介於 0 到 1 之間，值越大就表示模式的適配越好，判斷模式是否被接受時，其值通常需大於 0.9；SRMR 值的範圍也是介於 0 到 1 之間，值小於等於 0.8，代表模式能夠被接受（Hu & Bentler, 1998）；RMSEA 值越小代表適配度越好，值小於 0.1，代表模式能夠被接受（MacCallum, Browne, & Sugawara, 1996）。依據這些原則，驗證性因素分析的適配度指標除了 χ^2 以外，其他適配指標都通過，代表模式可以被接受，其數值分別為 χ^2 (80, N = 152) = 114.26, $p < .01$, CFI = .97, NNFI = .96, RMSEA = .05, SRMR = .06。

從標準化係數來看，所有觀察變項的標準化係數都達到顯著，例如空間工作記憶是由同異圖形、文字旋轉和點矩陣作業所形成，其標準化係數分別為 .82、.83 和 .80 都達到顯著，代表這三個觀察變項能有效的反映潛在變項。另外，標準化係數的大小，也可以作為判斷那個觀察變項較具影響力，係數越大代表觀察變項越能夠反映出潛在變項的特質。其次，結構方程模式的特點是可以檢定個別項目的測量誤差，並將測量誤差從項目的變異量中抽離出來，使因素負荷量具有較高的精確度，圖 4 中在觀察變項旁箭頭顯示的即是測量誤差，例如同異圖形的測量誤差是 .33，文字旋轉的測量誤差是 .32。另外，潛在變項和潛在變項間的數值代表的是相關，例如空間工作記憶和空間短期記憶的相關為 .82，空間短期記憶和圖學表現的相關為 .22。

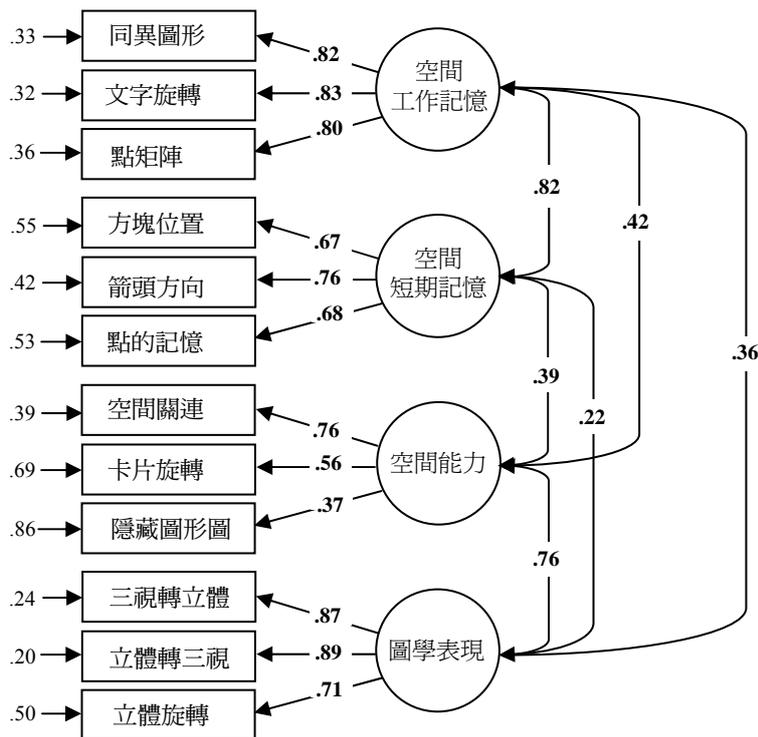


圖 4. 潛在變項的驗證性因素分析

結構方程模式的分析結果如圖 5，模式的適配度指標為： χ^2 (48, N = 152) = 80.83, $p < .01$, CFI = .97, NNFI = .96, RMSEA = .06, SRMR = .06，表示模式可以被接受。圖 5 所顯示的雙箭頭代表相關，單箭頭代表影響，呈現的數值為標準化係數，從係數來看，空間工作記憶和空間短期記憶的相關有顯著 (.82)，表示空間工作記憶和空間短期記憶有高相關；空間能力對圖學表現的影響是顯著的 (.74)，表示空間能

力會影響圖學表現；空間工作記憶對圖學表現 (.36)、空間短期記憶對圖學表現 (-.35) 的直接影響不顯著，表示空間工作記憶和空間短期記憶並不影響圖學表現，其中空間短期記憶對圖學表現為負值，代表空間短期記憶廣度越好，圖學表現越差，但由於該數值並沒有達到顯著，因此沒有任何意義；空間工作記憶影響圖學表現的總效果為 .55 (計算方式為直接效果加上透過空間能力影響圖學表現的間接效果 $.36 + .25 \times .74$)，空間短期記憶影響圖學表現的總效果為 -.22 (計算方式： $-.35 + .17 \times .74$)。因此，從空間工作記憶、空間短期記憶、空間能力與圖學表現的結構模式來看，影響圖學表現的主要因素是空間能力，空間工作記憶和空間短期記憶對圖學表現並沒有直接的影響效果。

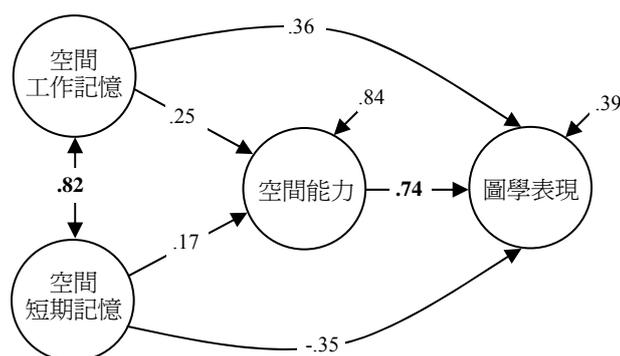


圖 5. 影響圖學表現因素的結構模式

五、結論與建議

本研究主要探討空間短期記憶、空間工作記憶、空間能力對圖學表現的影響，從結構模式中可以看到，空間能力會影響圖學表現，空間工作記憶和空間短期記憶對圖學表現沒有直接影響。這樣的結果支持了 Magin 和 Churches (1996) 的研究，也就是圖學表現好壞，空間能力扮演著重要的關鍵。許多研究都發現，空間能力可以經過適度的訓練而增加，例如 Wanzel 等人 (2002) 和 Alias 等人 (2002) 的研究發現，經過訓練空間能力會有進步；Burton 和 Dowling (2009) 的研究也發現，空間能力對於工科學生的課業表現會有影響，若加以訓練，會增進學業的表現。因此，從本研究的結果來看，如果適當的進行空間能力訓練，對於圖學表現就會產生影響。

其次，在本研究中並沒有看到空間工作記憶和空間短期記憶對圖學表現有直接影響，這樣的結果和許多研究有不一致的地方，因為大部分的研究都發現工作記憶會影響複雜作業表現，例如 Hambrick 和 Engle (2002) 的研究發現，工作記憶會影響球局回憶的表現；Turner 和 Engle (1989) 的研究也發現工作記憶能有效預測閱讀理解的表現。會造成工作記憶對圖學表現沒有影響的原因，可以從中介效果來解釋，Baron 和 Kenny (1986) 認為，要產生中介效果必須滿足三個條件：(1) 獨變項與中介變項有顯著關聯；(2) 中介變項與依變項有顯著關聯；(3) 當中介變項加入後，獨變項和依變項的關係不再顯著或顯著性減少。在本研究中，從圖 4 驗證性因素分析的結果可以看到，空間工作記憶和空間短期記憶都與空間能力的相關達顯著 (分別為 .42 和 .39)，空間能力和圖學表現的相關也達顯著 (.76)，當空間能力因素加入共同探討三個因素同時對圖學表現的影響時，空間能力因素掩蓋了空間工作記憶和空間短期記憶對圖學表現的影響。這樣的結果符合 Baron 和 Kenny (1986) 認為的中介效果，因此，從研究的結果來看，空間工作記憶和空間短期記憶對圖學表現沒有影響，主要在於空間能力介入所產生的結果。

在本研究中也發現空間工作記憶和空間短期記憶有高相關，這樣的結果支持了 Miyake 等人（2001）的研究。比較 Miyake 等人和本研究的結果，兩個研究在空間工作記憶和空間短期記憶的相關上很接近，分別為.86 和.82。既然在本研究中空間工作記憶和空間短期記憶有高相關，那兩者是否可以視為相同？要檢驗這兩個因素之間的相關，是否可以看成單一的因素，可用信賴區間來檢驗。從相關的信賴區間來看，兩個因素的 95%信賴區間介於 .92 至 .72，並未包含 1，表示空間工作記憶和空間短期記憶是不同的兩個因素，因此，空間工作記憶和空間短期記憶要視為兩個不同的因素會比較好，這樣的結果和 Kane 等人（2004）的研究是一致的。許多學者認為，造成空間工作記憶和空間短期記憶高相關的結果，是因為視覺空間模板和執行功能的關係很緊密的（例如 Baddeley, 1996；Quinn & McConnell, 1996）。Miyake 等人（2001）的研究也看到空間工作記憶和執行功能的相關，與空間短期記憶和執行功能的相關很接近（.55 和.56）。因此，Miyake 等人認為空間工作記憶和空間短期記憶的高相關，反應的是兩個因素和執行功能都有密切的關連。

最後，在後續研究的建議上，由於本研究探討的是空間工作記憶、空間短期記憶和空間能力對圖學表現的影響，會以圖學表現為依變項的主要原因是因為圖學是工業設計人員的基本能力，此基本能力具有客觀的標準，因此，選用該表現作為探討設計能力的第一階段。其實，本研究最終目標是將依變項改為設計表現，也就是研究影響設計表現的因素，但設計表現不容易定義，同時也缺乏一套客觀的標準，因此，後續有賴學者針對設計表現作更明確定義時，研究可以朝此方向發展。

參考文獻

1. Alias, M., Gray, D. E., & Black, T. R. (2002). Attitudes towards sketching and drawing and the relationship with spatial visualization ability in engineering students. *International Education Journal*, 3(3), 165-175.
2. Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103(3), 411-423.
3. Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
4. Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5-28.
5. Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
6. Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). *Working memory: The multiple-component model*. In P. Shaw II & A. I. Miyake (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp.28-61). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
7. Baron R. M., & Kenny D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173-1182.
8. Bennet, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1972). *Differential aptitude test: Spatial relations, form T*. New York: Psychological Corporation.
9. Bertoline, G. R., Wiebe, E. N., Miller, C., & Nasman, L. (1995). *Engineering graphics communications*. Chicago, IL: Richard D. Irwin.

10. Burton, L. J., & Dowling D. G. (2009). Key factors that influence engineering students academic success: A longitudinal study. *Proceedings of the 3rd Research in Engineering Education Symposium* (pp. 1-6). Cairns, Australia.
11. Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
12. Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Therriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), 163-183.
13. Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786.
14. Cowan, N. (1999). *An embedded process model of working memory*. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory* (pp. 62-101). New York: Cambridge University Press.
15. Cook, R. D. (1977). Detection of influential observations in linear regression. *Technometrics*, 19, 15-18.
16. Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
17. Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(4), 422-433.
18. Dixon, P., LeFevre, J. A., & Twilley, L. (1988). Word knowledge and working memory as predictors of reading skill. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 465-472.
19. Dror, I., Kosslyn, S. M., & Waag, W. (1993). Visual-spatial abilities of pilots. *Journal of Applied Psychology*, 78(5), 763-773.
20. Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Derman, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
21. Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex (pp. 102-131). In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory*. New York: Cambridge University Press.
22. Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from National Curriculum assessments at 7 and 14 years. *Applied Psychology*, 18(1), 1-16.
23. Gobert, J. (1999). Expertise in the comprehension of architectural plans: Contribution of representation and domain knowledge. In J. S. Gero, & B. Tversky (Eds.), *Visual and spatial reasoning* (pp. 185-205). Sydney, AU : University of Sydney.
24. Hambrick, D. Z., & Engle, R.W. (2002). Effects of domain knowledge, working memory capacity, and age on cognitive performance: An investigation of the knowledge-is-power hypothesis. *Cognitive Psychology*, 44(4), 339-387.
25. Hegarty, M., & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory and Cognition*, 22(4), 411-430.
26. Hu, L., & Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to under

- parameterization model misspecification. *Psychological Methods*, 3, 424-453.
27. Ichikawa, S. (1983). Verbal memory span, visual memory span, and their correlations with cognitive task. *Japanese Psychological Research*, 25, 173-180.
 28. Jarvis, H. L., & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and nonverbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 123-140.
 29. Juhel, J. (1991). Spatial abilities and individual differences in visual information processing. *Intelligence*, 15(1), 117-137.
 30. Kail, R., & Hall, L. K. (2001). Distinguishing short-term memory from working memory. *Memory & Cognition*, 29(1), 1-9.
 31. Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 189-217.
 32. Kline, R. B. (1998). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.
 33. Linn, M. C., & Peterson, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
 34. Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes and knowledge. In R. J. Sternberg (Eds.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181-248). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
 35. MacCallum, R., Browne, M., & Sugawara, H. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological methods*, 1(2), 130-149.
 36. Magin, D., & Churches, A. (1996). Gender differences in spatial abilities of entering first year students: What should be done? *Proceedings of the 8th AAEE Annual Convention and Conference. 8th AAEE Annual Convention and Conference* (pp. 95-99). Sydney, Australia: Australasian Association for Engineering Education.
 37. McGee, G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86, 899-918.
 38. Medina, A. C, Gerson, H. B. P., & Sorby, S. A. (1998). Identifying gender differences in the 3-D visualization skills of engineering students in Brazil and in the United States. *Proceedings of the International Conference for Engineering Education [CD ROM]*. Rio de Janeiro, Brazil: International Network for Engineering Education and Research.
 39. Miller, G. A. (1956). The magic number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *Psychological Review*, 63, 81-97.
 40. Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272-277.
 41. Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 621-640.
 42. Potter, C., & van der Merwe, E. (2001). Spatial ability, visual imagery and academic performance in engineering graphics. *International Conference on Engineering Education* (pp. 7B5-1-7). Oslo, Norway: International Network for Engineering Education and Research..

43. Quinn, J. G., & McConnell, J. (1996). Irrelevant pictures in visual working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 200-215.
44. Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(1), 4-27.
45. Spilich, G. J., Vesonder, G. T., Chiesi, H. L., & Voss, J. F. (1979). Text processing of domain related information for individuals with high and low domain knowledge. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 275-290.
46. Thurstone, L., & Thurstone T. (1941). *Factorial studies of intelligence*. Chicago: University of Chicago Press.
47. Turner, M. L., & Engle, R.W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28, 127-154.
48. Wanzel, K. R., Hamstra, S. J., Anastakis, D. J., Matsumoto E. D., & Cusimano M. D. (2002). Effect of visual-spatial ability on learning of spatially-complex surgical skills. *Lancet*, 359, 230-231.

The Effects of Spatial Short-term Memory, Spatial Working Memory and Spatial Ability on Performance in Engineering Graphics

Han-Yu Lin* Yuh-Shiow Lee**

* Department of Industrial Design, National Kaohsiung Normal University
hanyu@nknknu.edu.tw

** Department of Psychology, National Chung-Cheng University
psyysl@ccu.edu.tw

Abstract

Engineering graphics is an essential tool for industrial designers. There are many factors that would affect the performance in engineering graphics; spatial ability is probably one of them, and working memory is another. Many studies have found that spatial ability can effectively predict complex performance. In this study, working memory was based on spatial working memory as well as spatial short-term memory. Therefore, structural equation modeling was used to investigate which factors affect engineering graphics. In the experiment, each variable is made up of three tasks and totally each participant conducted twelve tasks. According to the structural model, spatial ability directly affected performance in engineering graphics, but spatial working memory and spatial short-term memory did not. Thus, from the results of this study, spatial ability is a major factor affecting performance in engineering graphics.

Keywords: Working Memory, Spatial Ability, Engineering Graphics, Structural Equation Modeling.