

工作記憶對學業表現的預測力：臺灣樣本 的後設分析

許崇憲*



摘要

本研究採用後設分析，檢驗工作記憶對學業表現的預測力，並探討此預測力是否有發展及學科差異。以在臺灣發表的學位論文及期刊論文為樣本蒐集對象，計有12篇期刊論文、34篇碩士論文與7篇碩士在職專班論文及5篇博士論文符合篩選標準，共獲得到250筆效果量。先採用固定效果模式計算平均效果量，若未能通過同質性檢定，再以隨機效果模式計算效果量。以 z 考驗檢定不同條件下效果量的差異顯著性。本研究發現，工作記憶及短期記憶皆能顯著預測學業表現，但納入本研究分析的效果量具有出版偏差，博士論文的平均效果量未達顯著，期刊論文、碩士論文及碩士在職專班論文的平均效果量則達顯著。其次，區隔出僅有儲存功能的短期記憶，以及具有儲存及處理功能的工作記憶。在小學階段，短期記憶的預測力顯著低於工作記憶，特別是低年級樣本；在中學階段，短期記憶顯著高於工作記憶。工作記憶的視覺空間模板可顯著預測數學表現，但對國語文表現則無顯著預測力；工作記憶的語音迴圈及執行功能對國語文及數學表現皆有顯

* 許崇憲：長榮大學健康心理學系副教授

電子郵件：bluefree@mail.cjcu.edu.tw

收件日期：2018.11.25；修改日期：2018.12.16；接受日期：2019.03.14

著預測力。此結果意味視覺空間模板的預測力具有領域特定性，語音迴圈及執行功能的預測力具有領域一般性。最後討論本研究限制並提出未來研究方向之建議。

關鍵字：工作記憶、後設分析、短期記憶、領域特定性、學業表現

The Prediction of Working Memory on Academic Performance: A Meta-Analysis of Taiwanese Samples

Chong-Shiann Hsu*

Abstract

This study examined the relationship of working memory and academic performance by means of meta-analysis. The researches published in Taiwan journals and the dissertations finished by the Taiwanese graduates were collected. Two hundred and fifty effect sizes were identified from 12 journal papers, 41 master theses, and 5 doctoral dissertations. Fixed-effect model and random-effect model were conducted. We performed z tests to examine the statistical significance of the difference between two average effect sizes. It was found working memory and short-term memory were significantly predictive of academic performance. However there was publication bias, that is, the mean of the effect sizes from journal papers was significantly higher than those from Masters' theses. Those from doctoral dissertations were not significant. The difference between short-term memory and working memory was recognized. Information is stored in these two memory systems, but is processed only in working memory. It was found that in elementary schooling, the prediction of short-term memory was lower than the one of working memory, especially in the first and the second grades. In high schooling, short-term memory was more predictive than working memory. Working memory has four elements: the central executive, phonological loop, the visuospatial sketchpad, and the episodic buffer. We found that the

* Chong-Shiann Hsu: Associate Professor, Department of Health Psychology, Chang Jung Christian University

E-mail: bluefree@mail.cjcu.edu.tw

Manuscript received: 2018.11.25; Revised: 2018.12.16; Accepted: 2019.03.14



visuospatial sketchpad was predictive of math performance, not Chinese; the central executive and the phonological loop were predictive of Chinese and math performance. It was implied that the prediction of the visuospatial sketchpad was domain specific and the one of the central executive and the phonological loop was domain general. Finally the implication and suggestions were discussed.

Keywords: working memory, meta-analysis, short-term memory, domain-specificity, academic performance

壹、緒論

工作記憶 (working memory, WM) 是一種暫時儲存及處理訊息以利於執行複雜作業的認知活動 (Baddeley, Allen, & Hitch, 2011)。Baddeley與Hitch (1974) 確立WM組成元素之後，學者們即產出無限研究，不限於實驗心理學及神經心理學 (Christophel, Klink, Spitzer, Roelfsema, & Haynes, 2017)，還包括動機 (張憲卿、程炳林，2010)、人因工程 (李玉琇，2000)、學習 (Ginns, 2005; Kalyuga & Singh, 2016)、臨床心理學 (王瑋瀚等，2008)、職能治療 (林恭宏、陳明輝、黃小玲、李士捷、謝清麟，2015) 及其他高階認知能力 (Unsworth & Engle, 2007)。

多位學者採用後設分析，統整WM與學業表現的關係。Daneman與Merikle (1996) 蒐集77篇研究，發現口語及數學的WM能顯著預測參與者的語言理解表現，特別是同時涉及訊息儲存與操弄的測驗工具比僅涉及儲存的測量工具，具有較高的預測力。然而，此篇研究並未包括WM的所有元素，也未比較哪一種元素對語言理解較具預測力。Friso-van den Bos、van der Ven、Kroesbergen與van Luit (2013) 檢驗WM各元素與國小學童數學表現之間的關係，發現各元素與數學表現之間具有顯著關聯性，但並未納入其他年齡層的學生。Peng、Namkung、Barnes與Sun (2016) 蒐集110篇研究，參與者有一般學生、數學困難學生，以及數學困難合併其他認知缺陷學生，發現無論哪一類學生，WM與數學表現都有顯著關聯性。以上三篇後設分析僅涉及語言理解或數學表現，未涉及其他學科領域。此外，中文是象形文字，英語是拼音文字，上述研究未特別討論WM與中文學習表現的關聯性。

本研究以Baddeley的WM模式為基礎，蒐集在臺灣發表的期刊論文及學位論文，探討WM與學業表現的關係，並進一步檢驗WM各成分的



預測力是否具有學科差異，討論WM預測力的領域一般性（Kane et al., 2004）。期許本研究有助於指出在WM與學科表現之關係此議題方面，國內學者未來還有哪些可努力的方向。

貳、文獻探討

一、Baddeley的WM模式

Baddeley（Baddeley, 2000; Baddeley & Hitch, 1974）確認WM具有四種成分，分別為中央執行系統（the central executive）、語音迴圈（phonological loop）、視覺空間模板（the visuospatial sketchpad）及事件緩衝器（the episodic buffer）。

Baddeley（2012）認為中央執行系統進行注意力分配，協調並處理從語音迴路、視覺空間模板及事件緩衝器所輸送進來的訊息，或從長期記憶中提取出相關訊息，一併協調處理以利做出決策，可能是行動反應，也可能是將訊息輸送回長期記憶。

語音迴圈負責儲存與口語或語音有關的訊息，包含兩個模件系統（modular system），一個是短期的語音儲存庫，另一個是藉由發出聲音或者默讀而對訊息進行複誦的記憶歷程（Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998）。Baddeley（2012）指出語音相似效應（the phonological similarity effect，一串發音相似的字或者字母比起發音不同者較難被記住，但視覺或者語意相似者較無此效果）、字長效應（the word length effect，較長的單字因為需要較長的發音或者默讀時間，所以造成記憶軌跡容易消褪）、發音壓抑效應（the effect of articulatory suppression，禁止複誦或默讀將被測試記憶量的單字或者字母，則稍後的記憶表現的確會較差，不過此壓抑效果能夠移除字長效應）等，皆

為語音迴圈存在的證據。

中文字強調字音、字形、字義，語音迴圈亦能儲存及處理語意性刺激。陳湘淳、高于涵與李玉琇（2015）先要求參與者記憶中文雙字名詞，此為儲存作業，之後呈現處理作業，測量參與者於處理作業上的記憶廣度，儲存作業與處理作業的材料有可能語意相關聯，也有可能語意不相關。結果發現，語意相關的儲存作業有助於參與者在處理作業上的表現，證明語音迴圈也會儲存語意性刺激。

視覺空間模板負責儲存視覺、空間及身體運動等種類的訊息。若干實驗發現支持視覺空間模板的存在，例如，參與者同時進行兩個視覺作業或者同時進行兩個空間作業，作業表現都會受到干擾，但若同時進行一個視覺作業及一項空間作業，則作業表現不受干擾（周育如、樂可天，2013）。

事件緩衝器能接收來自視覺空間模板及語音迴圈的訊息，等待進入中央執行器接受處理，從中央執行器接收並暫存經過處理的訊息有四項特徵（Baddeley, 2000, 2012）。第一個是以多種符碼並行的方式，保存整合後的事件樣貌，或者以串節（**chunk**）形式保存對事件的記憶。第二，緩衝儲存庫不只是儲存來自中央執行器、語音迴圈及視覺空間模板的訊息，也連結WM、知覺及長期記憶，故事件緩衝器也可被視為是各種次系統及各種訊息符碼之間的介面。第三，容量有限。第四，由中央執行器所控制。

中央執行器具有執行功能（**executive functions**），Miyake與他的研究夥伴（Friedman et al., 2007; Miyake et al., 2000）將執行功能再細分為三項：注意力轉移（**shifting**）、訊息內容更新（**updating**）及反應抑制（**inhibiting**）。轉移是指注意力能在不同作業或思考方式之間轉換，更新是指能監控並登錄與當下活動有關的新訊息並隨時更換舊訊息或無相關訊息，抑制是指克制與當下活動目標無關的自發性反應。此三



項次功能彼此之間有區別，但又具有顯著相關（Miyake et al., 2000）。Miyake與Friedman（2012）評閱與執行功能有關的實證研究後，認為轉移能力是由共通執行能力與特定轉換能力所組成，更新能力是由共通執行能力與特定更新能力所組成，抑制能力的變異量僅由共通執行能力所解釋，無特定的抑制能力。亦即執行功能各次能力之間有共通部分，但轉換及更新有其特定的能力表現。

由上述的說明可知，WM的運作廣泛地出現在日常生活之中，此是第一項特點。第二項特點是WM的容量有限且時間短暫，Gathercole、李玉琇與王馨敏（2011）指出，在以下三種情況下特別容易流失：受到打擾時，容易因為分心而遺失記憶內容；需要記憶的內容太多，且可留住的訊息有限；處理過程有些複雜，如心算三位數的乘法。第三項特點是個人的WM廣度長時間而言是穩定的，但彼此之間的個別差異大。最後，個體可以利用串節策略（chunking），將大量訊息組織成幾個有意義的片段，降低訊息單位數，有利於記憶大量訊息並輸入長期記憶中（李玉琇，2000）。

二、WM與學業表現之關係

課堂中任何領域的學習都會運用WM系統，學生一方面接收並儲存新的學習材料，另一方面理解新學習材料各段落之間的連結，並與長期記憶中相關資訊進行連結。因此，對於低WM容量的學生而言，課堂學習活動構成認知挑戰，可能在接收新材料過程中遺漏關鍵性訊息；可能未能完整接收教師的指導語，無法完成課堂作業；也可能無法從長期記憶中順利提取相關材料，或者能夠順利提取，卻無法與新材料進行整合（Gathercole等，2011）。Schneider、Beege、Nebel與Rey（2018）的研究經後設分析後發現，教師強調課程內容組織結構，能顯著降低學生的認知負載，使WM專注於學習內容上，有助於學習保留

及遷移。李茂能與楊德清（2015）比較國小高年級一般兒童與注意力缺陷過動症兒童的數字常識（number sense）發展路徑，發現無論哪一類型的兒童，WM經由後設認知而影響數字常識的發展。

上述學者皆強調WM對學業表現的助益，但兩者如何關聯？WM各種成分與學業表現的關係是一致的嗎？以下從三方面討論WM與學業表現的關係。

（一）訊息的儲存與處理

Baddeley的WM模式含括短期記憶（short-term memory, STM）概念，STM只是簡單地儲存訊息，WM概念則是加入訊息處理的元素。前者屬於簡單廣度作業，後者屬於複雜廣度作業（蔣文祈，2011）。理論上可區隔出這兩種記憶，實證研究結果亦支持兩者的不同（Ackerman, Beier, & Boyle, 2005; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002）。

學生在學習過程不只要儲存新訊息，更要理解新訊息中不同部分之間的邏輯關係，並整合新舊訊息，故可合理推論WM對學業表現的預測力會高於STM。Carretti、Borella、Cornoldi與De Beni（2009）經由後設分析發現，閱讀能力較佳及較差者在簡單廣度作業上的差異，小於在複雜廣度作業及執行功能作業上的差異，亦即複雜廣度作業比簡單廣度作業更能預測學業表現。Swanson、Jerman與Zheng（2008）分別於參與者小學一、二、三年級時測量STM及WM，以潛在成長變項模式分析WM對數學解題表現的預測力，發現STM、執行功能及視覺空間模板的初始水準與成長幅度都是正值，三者的初始水準都正向預測數學解題表現，STM及執行功能的成長幅度卻負向預測數學解題。不過，Unsworth與Engle（2007）發現在控制智力g因素之後，WM及STM對學術性向測驗表現的預測力沒有太大差異。綜合理論推論及實證證據，研究假設1：WM對學業表現的預測力高於STM。



(二) 發展差異

不同年齡階段於WM各項作業上有不同表現，這些年齡差異可能源於處理速度及自我調控能力。首先是處理速度的影響，McAuley與White（2011）招募147位6~24歲的研究參與者，橫斷比較處理速度、反應抑制及WM上的年齡差異。結果發現，此三項能力在不同年齡之間有顯著差異，在童年早期及晚期差距最大，之後雖持續發展，但因發展速度降低，在童年晚期、青少年期及成人前期之間差距縮小；反應抑制及WM的年齡差距，是由處理速度所中介，且控制處理速度之後，僅WM仍具有年齡上的差距。

其次是自我調控能力。陳湘淳與蔣文祈（2011）對6~11歲國小學童進行閱讀數字廣度測驗並測量注意力控制能力，發現整體學生的閱讀廣度分數與抑制反應傾向能力有關，但控制年齡效果後，抑制反應傾向能力則無顯著預測力；對於中高年級學童，閱讀廣度測驗表現與注意力轉換能力有關，國小學童的自我調控力並不穩定。Dirk與Schmiedek（2016）連續31天對小學三、四年級學生施測執行功能的更新成分作業，結果發現，學生的執行更新能力並不穩定，每日之間、同一日不同時間點、且不同測試作業之間有顯著變異，個別差異有66%到79%由此個人內在波動來解釋，且每日之間有極大波動的學生不見得在一日之間不同時間點之間也有大波動。Dirk與Schmiedek也發現三年級學生執行更新功能波動幅度大於四年級學生，且波動程度大的學生有較差的數學及閱讀表現。

由於WM有年齡差異，所以WM各成分對學業表現的預測力可能有年齡差異，目前此類實證文獻以數學表現居多。Raghubar、Barnes與Hecht（2010）評閱文獻之後，認為WM各成分與數學表現的關係，年齡具有關鍵性影響。對於年紀小的學童，視覺空間模板具有較顯著的影響，但對年紀較大學童，語音迴圈較具影響力。Gathercole、

Pickering、Knight與Stegmann（2004）進行橫斷比較，發現7歲學童的數學表現與執行功能有關，14歲學童的數學表現則與執行功能、語音迴圈有關；7歲學童的科學表現與WM無顯著關係，但14歲學童則與執行功能與語音迴圈有關。然而，其他研究有不同的發現，Meyer、Salimpoor、Wu、Geary與Menon（2010）的研究發現，對於國小二年級學生視覺空間模板則不具預測力，中央執行器（以counting recall為測量工具）及語音迴圈（以digit recall為測量工具）具有顯著預測力；對於國小三年級學生，視覺空間模板（以block recall作為測量工具）可顯著預測數字操作及數學推理表現，其他WM成分不具預測力。然而，Meyer等人採用的WM各成分測量工具與其他學者不相同，例如，counting recall常被用來測量語音迴圈表現，但Meyer等人以它來測量執行功能表現。

前述研究隱含WM對數學表現的預測力並非穩定不變，蔣文祈（2011）認為可能有兩項原因。第一，各研究並非選用相同的WM及數學表現測量工具；其次，隨著年齡增加，數學學習經驗大大不同，數學表現的變異性也增加。這兩項原因應該也適用於解釋其他學業表現與WM之間的關係。本研究認為還有第三項原因，如前兩段所陳述，WM各成分發展速度具有不小的差異，所以WM與學業表現之間的關係可能因此沒有穩定的發展趨勢。

有些學者檢驗WM與語文表現關係的發展性差異，如Gathercole、Pickering、Knight等人（2004）進行橫斷比較，發現英國7歲學生的英語能力分別與執行功能、語音迴圈有顯著正相關，但於14歲學童樣本上未發現顯著關係。Dirk與Schmiedek（2016）發現執行更新功能波動程度大的小學生有較差的閱讀表現。

基於上述研究，對於WM與學業表現之關係的發展差異，研究假設2：WM與學業表現之關係於不同年齡層之間，有不同強度。



（三）領域一般性及領域特定性

領域一般性（domain-general）是指某項認知活動廣泛地影響多種或者所有行為表現（蔣文祈，2011；Kane et al., 2004），例如，在進行解題或者學習新材料過程，學習者必須調控自己的注意力，分配認知資源於各種作業之上。因此，WM中央執行器執行功能可能擔負領域一般性的功能。領域特定性（domain-specificity）是指某項認知活動僅影響性質相近的行為表現，例如，語音迴圈可能僅與口語表現有關。

WM的中央執行器對各學業領域的表現具有廣泛影響力，甚至扮演主導角色（周育如、樂可天，2013）。Blankson與Blair（2016）控制流動智力、晶體智力及執行功能，分別與教室環境交互作用之後，發現執行功能愈佳的幼稚園學童，數學能力表現也較佳。Carretti等人（2009）經由後設分析發現，在WM訊息內容更新的能力上，閱讀能力較佳者顯著優於閱讀能力有缺陷者。Blair、McKinnon與Family Life Project Investigators（2016）對1,292位幼兒進行縱貫性研究，發現幼兒48個月大時的執行功能顯著預測60個月大時的數學能力，特別是對於48個月大時數學能力低於同儕一個標準差的幼兒，執行功能的預測力高於其他幼兒。Bindman、Pomerantz與Roisman（2015）發現參與者54個月大時的執行功能能顯著預測國小及中學時的學業成就。

有些學者認為WM對學業表現的預測力具有領域特定性。Baddeley等人（1998）認為語音迴路可再細分為語音短期儲存庫及默讀複誦歷程兩個成分，語音短期儲存庫對於語言學習居於較為關鍵的地位，原因在於默讀複誦的能力在7歲之後才發展出來，在此之前人類便已開始學習語言。他們根據多份研究發現，3~13歲學生字彙知識與非字語音重複能力（nonword repetition）的相關顯著性普遍程度高於數字記憶廣度（auditory digit span）。然而，從相反角度而言，語音迴路記憶容量有限，但現有知識可彌補短暫且容易流失的語意訊息，也就是說長期

記憶中的字彙知識有利於語音迴圈內的訊息儲存。

實證證據支持領域特定的WM預測力。Kane等人（2004）發現雖然執行注意力分別顯著預測參與者於口語及空間的推理作業表現，但還是比不上口語儲存能力及空間儲存能力分別對口語推理及空間推理的預測力。對於設計表現的預測，空間記憶能力達顯著，語文WM則否（林漢裕，2011）。Carretti等人（2009）經由後設分析發現，閱讀能力較佳者在口語及視覺空間的複雜廣度作業上，顯著優於閱讀能力有缺陷者，且在口語複雜廣度作業上的優勢大於視覺空間作業。Friso-van den Bos等人（2013）的后設分析發現，口語形式更新能力與數學表現之間的相關程度，顯著高於空間視覺模板及空間形式更新能力，後兩者又顯著高於語音迴圈、抑制能力及轉換能力。

除了上述不同學者的觀點與研究外，若干學者認為WM與學業表現的關係同時具有領域特定性及領域一般性。蔣文祈（2011）認為與語文有關的學習固然可能較涉及語音迴圈及中央執行器語言處理部分，但數學的學習可能同時運用到語音迴圈、視覺空間模板及中央執行器任何一部分。例如，於多位數運算過程，在語音迴圈儲存中間步驟所得出的暫時性結果，若算式採垂直排列，則學習者以視覺空間模板儲存訊息；若採水平排列，則是以語音迴圈儲存訊息。Fuhs、Farran與Nesbitt（2015）以圖像材料測量平均54個月大參與者的WM各成分與STM，以口語及圖像材料測量語彙及數學能力，結果發現，STM及注意力集中與轉換顯著預測語彙及數學能力。Swanson等人（2008）發現語音迴圈、視覺空間模板及執行功能正向預測小學生數學文字題、計算題及文字題解題歷程知識的表現，但控制閱讀能力之後，僅視覺空間模板及執行功能具顯著預測力，意味語音迴圈對數學解題表現的預測力是經由閱讀能力所中介。

根據以上說明，多數研究似乎較支持WM對學業表現的預測力具



有不同程度的領域一般性及特定性。現行研究針對國語文及數學為多數，所以領域特定性研究假設的敘述以此二者為主。

在領域一般性預測力方面：

研究假設3：執行功能／注意力控制對學業表現具有顯著預測力。

研究假設4：語音迴圈對各類學業表現具有預測力。

研究假設5：視覺空間模板對各類學業表現具有預測力。

在領域特定性預測力方面：

研究假設6：語音迴圈對語文學習表現的預測力，高於視覺空間模板。

研究假設7：語音迴圈對語文學習表現的預測力，顯著高於對數理表現的預測力。

研究假設8：視覺空間模板對數學學習表現的預測力，顯著高於語音迴圈。

研究假設9：視覺空間模板對數學學習表現的預測力，顯著高於對語文表現。

參、研究方法

一、樣本

本研究以在國內發表的實證性學術研究為取樣範圍，但僅涵蓋碩博士學位論文以及期刊論文。於華藝線上圖書館及臺灣期刊論文索引系統，搜尋期刊論文；於臺灣碩博士知識加值系統，搜尋學位論文。搜尋關鍵字為：工作記憶、注意力控制、執行功能、短期記憶、空間訊息處理、語音訊息處理，一次僅輸入一個關鍵字進行搜尋，以2016年12月31日為發表或出版最後日期。於華藝線上圖書館及臺灣期刊論

文索引系統，計蒐集2,782筆期刊論文（尚未刪除重複）；於臺灣碩博士知識加值系統，蒐集1,505篇學位論文。另外，由於早年碩博士論文被送至國立政治大學社會科學資料中心收藏，所以本研究亦至該校圖書館進行搜尋，蒐集到11篇相關主題論文。

針對上述搜尋結果，根據以下條件，篩選出本研究所需的后設分析樣本。第一，必須是實證性研究，但排除病例報告、單一受試者設計研究、WM訓練及學業知識的STM訓練。第二，必須提供能轉換為效果量的統計數值，包含積差相關係數、平均數及標準差、人數、 t 值、 F 值（自由度等於1的one-way ANOVA）、 χ^2 值。第三，研究變項必須包括學業表現，除了中小學各學科的表現外，亦包括創意表現及資訊能力，因為這兩者是當前教育環境及未來社會所重視。第四，必須能在2016年12月31日之前取得電子檔或紙本。若干研究生設定上述日期之後才開放閱覽，基於研究時程，必須捨棄這些論文。第五，研究對象必須是一般學生及學業表現不佳但沒有相關生、心理缺陷的學習困難學生。以精神疾患或接受上癮治療者、學習障礙、情緒障礙、智能不足、身心症狀及肢體特定障礙為對象的研究，不納入本后設分析，僅有資優學生作為研究對象的研究亦不納入。經此篩選後，得到12篇期刊論文、34篇碩士論文及7篇碩士在職專班論文與5篇博士論文（受限於篇幅，納入樣本的論文出處及資料檔請洽研究者）。

若干研究採納多次學業表現的成績，如多次月考成績（李東霖，2001）。有些研究將同一類型的表現區隔出不同作業，如劉蓓蓓（2007）的研究，將高層次科學推理區隔出推論實驗目的、因果關係及三段論式推理；林漢裕（2006）測量學生在三種設計作業上的表現，包括三視轉立體、立體轉三視、立體旋轉。這些研究呈現WM分別與這些表現的關聯性，本研究合併這些效果量，以達到一種WM測量方式與一種學業表現之間只有一個效果量。另外，有些研究將參與者區



分高、中、低學業表現者（或WM表現者），如簡馨瑩、趙子揚與王繼伶（2014）將幼兒參與者區分為高、中、低詞彙理解組，分別呈現這三組參與者的平均數、標準差及人數。本研究採用O'Mara、Marsh、Craven與Debus（2006）的方法，計算高理解組及中理解組分別對照低理解組之下的效果量，之後再合併這兩個效果量，但計算過程中將低理解組的人數除以二，避免低理解組的人數被重複計算。經上述各種合併之後，共得到250個效果量。

二、登錄

在基本資料部分，登錄每篇研究的作者與年代、論文類型、研究對象的教育層級。在WM的測量部分，登錄各研究所採用的名稱、測驗來源、測驗內容。對於學業測驗，登錄科目名稱、測驗名稱、測驗來源、測驗內容。本研究亦登錄記憶測驗及學業測驗其他資訊，由於未列入本研究分析範疇，故省略說明。

根據測驗內容，採用林漢裕（2006）的架構，對WM進行分類。區分出STM、WM及執行功能等三種記憶形式，STM及WM又分別區分為語音及視覺空間，每一類型記憶有三種測量工具，共有15種測量工具。除了這15種工具外，其他研究亦採用其他測量工具，根據這些工具的內容進行歸類。視覺空間STM的測量工具有：方塊位置作業、箭頭方向作業、點的記憶作業、圖形廣度作業。語音STM的測量工具有：數字廣度作業、數字及字詞廣度作業、字音廣度作業、字母／注音符號廣度作業、字詞廣度作業、句意廣度作業。視覺空間WM的測量工具有：同異圖形作業、文字旋轉作業、點矩陣作業、空間追蹤作業，以及其他。語音WM測量工具有：運算廣度作業、計算廣度作業、數字逆序複誦作業、數字比較廣度作業、閱讀廣度作業、句意運作廣度作業及其他。執行功能測量工具有：威斯康辛卡片作業、連線作

業、Stroop作業、提取引發遺忘作業、go/no-go作業、數字加減作業、數字保留作業、數字更新作業、數字圖形轉換／對應作業。另外，有些研究結合語音WM及視覺空間WM，成為WM單一變項；亦有些研究將WM及STM結合成單一變項。

三、程序

於2017年1月31日前，搜尋所有可能的研究樣本，並根據各研究之摘要進行初步篩除。其次，閱讀論文電子檔或紙本，進行第二階段篩選及資訊登錄。於2017年5月31日前完成全部樣本的登錄，間隔兩週後，檢查是否有登錄錯誤以及遺漏（於原始檔案中以紅色標示出錯誤或遺漏者，有需求的讀者可連絡作者索取此一步驟的檢查結果）。

確認最後的后設分析原始資料檔之後，將所有的原始數據轉換為標準化相關係數。其次，根據前述「一、樣本」第三段的敘述，合併部分效果量，得到最後的后設分析檔。最後，依下列順序，針對WM與學業表現之間的關係，分別計算不同條件要求下的平均效果量，並進行統計考驗。

（一）一項研究通常是一筆樣本，但若該研究呈現不同年齡層的統計數值，則各年齡層視為不同樣本。每一筆樣本得出一個效果量。若該筆樣本呈現多種WM測量方式與學業表現之間的關聯性，則予以合併。

（二）根據前一步驟的資料檔，進一步計算不同學業階段的效果量。

（三）重新整編資料，計算不同記憶類型與各學科表現之間關係的效果量。同樣地，來自相同樣本的效果量先被整併。



四、統計

本研究採用Hedges與其同僚（Hedges & Olkin, 1985; Hedges & Vevea, 1998）提出的方式，計算STM及WM與學業表現之間關係的效果量。首先，所有統計數值皆轉換為積差相關係數 r ，再轉換為標準化相關係數 z_r ，以進行效果量合併，並計算固定效果模式下的平均值，以 z 考驗進行顯著性檢定，最後將平均效果量還原為積差相關係數。

固定效果模式假定各個效果量來自相同母群，彼此之間僅有測量誤差。但各效果量也有可能是來自不同母群，因此，本研究針對固定效果模式的平均效果量進行同質性考驗，主要指標有Cochran Q 及 I^2 （李茂能，2015）。當每個研究的樣本夠大（ $n > 30$ ）時， Q 分配逼近於 χ^2 分配（ $df = k - 1$ ），但由於 Q 統計考驗力較低，所以採用 $\alpha = .10$ ，判定顯著異質性。 I^2 指標與Cochran Q 有關，當 $Q \leq k - 1$ ， $I^2 = 0$ ，效果量之間的變異起因於抽樣誤差，無異質性問題。當 $Q > k - 1$ ， $I^2 = \{[Q - (k - 1)]/Q\} \times 100\%$ ，低於25%，可視為無異質性；介於25%~50%之間，為小異質性；介於50%~75%之間，為中異質性；高於75%，為高異質性。Cochran Q 及 I^2 任一指標顯示效果量有異質性，則進一步計算 τ^2 ，以利計算隨機效果模式下的效果量平均值。李茂能（2015）指出 τ^2 值亦可作為同質性指標， τ^2 值等於0，是指隨機效果模式結果等同於固定效果模式； τ^2 值小於.04，為低異質性； τ^2 值介於.04~.14之間，為中度異質性； τ^2 值大於或等於.40，為高異質性。

未得到顯著結果的研究可能未被出版，原因可能在於研究者不願意發表統計沒有顯著的結果，導致出版偏差（Franco, Malhotra, & Simonovits, 2014）。有多種方法檢驗出版偏差程度，但這些方法各有其限制（Banks, Keps, & Banks, 2012）。因此，本研究將不檢驗出版偏差程度，而是直接比較已出版論文及未出版論文的效果量差異，未出

版論文以學位論文為代表 (Ferguson & Brannick, 2012)。

以 z 考驗檢驗不同條件下標準化相關係數值是否具有顯著性差異，分母採計各效果量所包括的參與者數目，非效果量個數。顯著水準依每次比較個數而定，例如，表4對角線呈現各教育階段STM與WM對學業表現的預測力差異檢定結果，若每次比較都採用 .05顯著水準，則整體上STM與WM的預測力差異第一類型錯誤會被放大至 .15 ($.05 \times 3$)，因此必須採用 .017顯著水準，以控制STM及WM預測力差異所有比較的第一類型錯誤加總後約在 .05左右。

肆、研究結果

一、WM/STM與學業表現之關係：整體分析

首先，每筆樣本貢獻一個效果量，得到68個效果量，共7,876位參與者，標準化相關係數平均值是 .44 ($z = 38.11, p < .001, r = .41$)， Q 是615.79 ($p < .001$)， I^2 是89.12% (高度異質性)，這68個效果量不是來自相同母群。計算隨機模式的平均效果量， τ^2 是0.075，標準化相關係數平均值為 .37 ($z = 9.97, p < .001, r = .35$)。

本研究比較來自於不同類型論文的效果量，呈現如表1所示。在固定效果模式之下，期刊論文的平均效果量達顯著 (標準化相關係數平均值為 .61, $p < .001$)，但未通過同質性考驗 ($Q = 333.64, I^2 = .96$)；碩士學位論文及在職專班碩士論文的平均效果量亦達顯著，未通過同質性考驗；博士學位論文的平均效果量未達顯著，但五筆效果量具有同質性。因此，計算期刊論文、碩士學位論文及在職專班碩士論文在隨機效果模式下的平均效果量，三者皆達 .001顯著水準。比較這些平均效果量的差異顯著性，期刊論文及碩士論文之間的差異達 .017



(.05/3 = .017) 顯著水準 ($z = 4.83$)，其他比較未達 .017 顯著水準 (期刊論文及在職專班碩士論文之間的差異 $z = 1.92$ ，碩士論文及在職專班碩士論文之間的差異 $z = -1.00$)。

表 1 STM/WM 與學業表現之相關：不同論文類型

	N	k	固定效果模式			同質性考驗			隨機效果模式		
			\bar{z}_r	z	\bar{r}	Q	I ²	τ^2	\bar{z}_r	z	\bar{r}
期刊	2669	14	.61	31.16***	.54	333.64	.96	.15	.48	4.50***	.45
碩論	4106	42	.37	23.14***	.35	87.15	.53	.01	.36	13.56***	.35
博論	362	5	.08	1.57	.08	1.32	.00				
碩專	739	7	.35	9.41***	.34	48.94	.88	.08	.40	3.57***	.38

*** $p < .001$

其次，計算不同學業階段的平均效果量，結果如表2所示，所有標準化相關係數皆達 .001 顯著水準。由於有3筆資料含括非正式教育體系的成人或橫跨不同教育階段，故未列入表2。學前階段有4筆效果量，大學階段有14筆效果量，皆通過同質性考驗。學前階段的固定效果模式平均效果量為 .29 ($p < .001$)，大學階段的固定效果模式平均效果量為 .17 ($p < .001$)，兩者之間的差異未達 .008 (.05/6 = .008) 顯著水準 ($\bar{z} = 1.74$)。小學階段及中學階段的平均效果量未通過同質性考驗，故計算隨機效果模式下的平均效果量，小學階段為 .41 ($p < .001$)，中學階段為 .48 ($p < .001$)，兩者差異達 .008 顯著水準 ($z = -2.49$)。小學階段還可再細分，一及二年級屬於低年級，三及四年級為中年級，五及六年級為高年級。部分研究的樣本橫跨低、中或高年級，獨立為一類。結果顯示各年級的隨機效果模式效果量皆達顯著，各年級之間平均效果量差異未達 .008 顯著水準。

表 2 STM/WM與學業表現之相關：不同學業階段

	N	k	固定效果模式			同質性考驗			隨機效果模式		
			\bar{z}_r	z	\bar{r}	Q	I ²	τ^2	\bar{z}_r	z	\bar{r}
學前	282	4	.29	4.76***	.28	.36	0				
小學	4536	36	.38	25.58***	.37	119.53	70.72%	.02	.41	12.43***	.39
低	797	9	.36	9.94***	.34	58.20	86.25%	.09	.36	3.05**	.34
中	569	8	.42	9.89***	.40	18.64	62.45%	.03	.39	5.06***	.37
高	1496	11	.39	15.01***	.37	17.77	43.72%	.01	.42	9.90***	.40
未	1674	8	.38	15.30***	.36	23.38	70.06%	.01	.44	8.95***	.42
中學	1764	11	.72	30.14***	.62	253.69	96.06%	.18	.48	3.59***	.44
大學	857	14	.17	4.76***	.17	12.43	0				

** $p < .01$ *** $p < .001$

二、STM與WM對學業表現效果量的比較

表3呈現STM對學業表現的預測力。在小學階段，固定效果模式之下STM與學業表現之間的效果量皆達顯著（低、中、高、未分年級及全部樣本的標準化相關係數平均值分別為 .13、.31、.40、.31、.32），但高年級樣本、未分年級樣本及整體樣本未通過同質性考驗，以隨機效果模式計算其效果量，標準化相關係數平均值分別為 .43、.35及 .33，皆達 .001顯著水準。在中學及大學階段，固定效果模式之下STM與學業表現之間的效果量皆達顯著，但兩者未通過同質性考驗，計算隨機效果模式下標準化相關係數平均值，中學及大學分別為 .72及 .22，大學生樣本的效果量未達顯著。

WM對學業表現的預測力如表3所示。WM對學前兒童學業表現的預測力，標準化相關係數平均值為 .29，達 .001顯著水準。在小學階段，固定效果模式之下STM與學業表現之間的效果量皆達顯著，但皆未通過同質性考驗，故以隨機效果模式計算效果量，低、中、高、未分年級及全部樣本的標準化相關係數平均值分別為 .40、.43、.42、.37



及 .56，皆達 .001 顯著水準。在中學及大學階段，固定效果模式之下 STM 與學業表現之間的效果量皆達顯著，標準化相關係數平均值分別為 .40 及 .15，皆達 .001 顯著水準。但中學樣本的效果量未通過同質性考驗，隨機效果模式下標準化相關係數平均值為 .37，達 .001 顯著水準。

表 3 STM 與 WM 分別對學業表現之預測力

	N	k	固定效果模式			同質性考驗			隨機效果模式		
			\bar{z}_r	z	\bar{r}	Q	I ²	τ^2	\bar{z}_r	z	\bar{r}
STM 對學業表現的預測											
學前	22	1	.23		.23						
小學	3669	24	.32	19.25***	.31	571.07	95.10%	.12	.33	4.32***	.32
低	409	5	.13	2.61**	.13	1.63	0				
中	344	5	.31	5.56***	.30	3.18	0				
高	1310	7	.40	14.21***	.38	30.77	80.50%	.03	.43	5.67***	.41
未	1606	7	.31	12.35***	.30	10.74	44.11%	.01	.35	7.83***	.33
中學	1123	3	.92	30.54***	.72	106.50	98.12%	.29	.72	2.85**	.62
大學	152	2	.35	4.25***	.34	5.35	81.30%	.04	.22	1.44	.22
WM 對學業表現的預測											
學前	178	3	.29	3.82***	.29	.37	0				
小學	3829	25	.42	25.60***	.40	75.87	68.37%	.02	.44	12.79***	.42
低	444	5	.55	11.45***	.50	20.80	80.77%	.09	.56	3.58***	.50
中	435	5	.46	9.37***	.43	15.14	73.58%	.04	.40	3.83***	.38
高	1344	8	.36	13.03***	.34	19.93	64.88%	.01	.43	7.47***	.41
未	1606	7	.40	15.81***	.38	10.59	43.35%	.005	.42	9.59***	.40
中學	963	9	.40	12.09***	.38	31.69	74.76%	.03	.37	5.46***	.36
大學	759	13	.15	4.02***	.15	11.43	0				

** $p < .01$ *** $p < .001$

本研究比較表 3 各效果量之間的差異，通過同質性檢驗者，採用固定效果模式下的效果量，未通過者，採用隨機效果模式效果量，比較

結果如表4所示。在STM對學業表現的預測力方面，中學樣本的平均效果量顯著大於小學及大學樣本（ z 考驗結果分別為-11.42及5.73），小學及大學樣本之間無顯著差異，但大學樣本僅有2筆效果量、152位參與者，數量過少，此結果需謹慎推論。在WM對學業表現的預測力方面，小學及中學樣本的平均效果量顯著高於大學樣本（ z 考驗結果分別為7.29及4.52），小學及中學樣本之間無顯著差異。

國小各年級的差異比較結果如表5所示。在STM的預測力方面，低年級顯著低於中、高及未分年級的樣本（ $p < .008$ ）；在WM的預測力方面，低年級顯著高於未分年級樣本（ $p < .008$ ）。

本研究亦比較STM與WM對學業表現的預測力，結果如表4及表5對角線數值所示。在小學樣本，STM的預測力顯著小於WM（ $z = -4.76$ ）；在中學樣本，STM的預測力顯著大於WM（ $z = 7.96$ ）；在大學樣本，則無顯著差異。在小學各年級樣本，僅於低年級STM預測力顯著小於WM（ $z = -6.25$ ）。

表 4 不同教育階段效果量差異的 z 考驗結果

	學前	小學	中學	大學
學前		-1.94	-.97	1.67
小學		-4.76***	1.94	7.29***
中學		-11.42***	7.96***	4.52***
大學		1.32	5.73***	.78

註：對角線上是同一教育階段STM效果量減去WM效果量的差異比較，共有3個比較，顯著水準訂在 .017 (.05/3)。對角線以外為低教育階段效果量減去高教育階段效果量之差異比較。對角線以下是STM對學業表現預測力各階段的差異比較，由於學前階段僅有一份研究提供STM與學業表現之間的效果量，故此部分僅有3個比較值，顯著水準訂在 .017 (.05/3)；對角線以上的WM效果共有6個比較，顯著水準訂在 .008 (.05/6)。

*** $p < .001$



表 5 國小不同年級效果量差異的z考驗結果

	低年級	中年級	高年級	未分年級
低年級	6.25***	2.36	2.37	2.60**
中年級	2.45**	1.24	-.54	-.37
高年級	5.28***	1.97	0	.27
未分年級	3.96***	.67	2.14	-1.98

註：對角線上是同一教育階段STM效果量減去WM效果量的比較結果，顯著水準訂在 .0125 (.05/4)。對角線以外為較低年級的效果量減去較高年級的效果量之比較結果。對角線以下是STM對學業表現預測力各階段的差異比較，對角線以上的WM效果比較，各有6個，對角線以外的顯著水準訂在 .008 (.05/6)。

** $p < .01$ *** $p < .001$

三、STM及WM分別與各學科學業表現之關係

表6呈現STM與各學科表現之間的關係。在固定效果模式下，空間STM與國語文、數學的平均效果量皆達顯著，但與數學的平均效果量具有高度異質性，故計算隨機效果模式下的平均效果量，標準化相關係數平均值為 .45，達 .001顯著水準。在固定效果模式下，語音STM與國語文、數學的平均效果量皆達顯著，但這兩個平均效果量具有小異質性，計算隨機效果模式下標準化相關係數平均值分別為 .33及 .31，達 .001顯著水準。進一步對空間、語音STM及國語文、數學之間的標準化相關係數進行兩兩比較，顯著水準設定於 .008 (.05/6)，z值必須大於2.41。空間STM分別與數學、國語文的標準化相關係數為 .45與 .19，兩者的差異達顯著 ($z = 6.38$)；空間STM及語音STM分別與國語文的標準化相關係數為 .19 與 .33，兩者的差異達顯著 ($z = -3.29$)；語音STM與數學、國語文的標準化相關係數分別為 .31與 .33，兩者差異未達顯著 ($z = -.40$)；空間STM及語音STM分別與數學的標準化相關係數為 .45與 .31，兩者差異達顯著 ($z = 2.90$)。

另有些研究結合WM與STM，測量對學業表現的預測力，雖然平均效果量達顯著，但由於數量少，所得到的顯著結果可能不穩定。

表7呈現WM與各學科表現之間的關係，其中以國語及數學的效果量數目較多。在固定模式下，空間WM與國語、數學的標準化相關係數達顯著，但具有異質性，計算隨機效果模式下的標準化相關係數，僅空間WM對數學表現的預測力達到顯著水準。其次，在固定模式下，語音WM與國語、數學的標準化相關係數達顯著，但具有異質性，計算隨機效果模式下的效果量，同樣得到顯著結果。再其次，於固定模式下，執行功能與國語、數學的標準化相關係數達顯著，但具有異質性，計算隨機效果模式下的效果量，同樣得到顯著結果。

比較表7空間WM、語音WM及國語文、數學之間的標準化相關係數，顯著水準設定於 .008 (.05/6)，結果呈現如表8所示。空間STM及語音STM對國語文表現的標準化相關係數分別為 .19及 .33，兩者差異達顯著 ($z = -3.29$)。空間STM及語音STM對數學表現的標準化相關係數分別為 .45及 .31，兩者差異達顯著 ($z = 2.90$)。空間STM分別對數學及國語文表現的預測力為 .45及 .19，兩者差異達顯著 ($z = 6.38$)。語音WM對國語文及數學表現的標準化相關係數分別為 .37與 .44，兩者差異達顯著 ($z = -2.60$)。語音WM、空間WM對數學表現的標準化相關係數分別為 .44及 .31，兩者差異達顯著 ($z = 3.58$)。

伍、討論

已有多篇后設分析研究蒐集英文期刊文章及學位論文，檢驗WM與學業表現間的關係。本研究蒐集國內的期刊論文及博碩士學位論文作為樣本，採用相關係數作為效果量，進行固定效果模式及隨機效果模式分析，檢驗學生學業表現與WM的關聯性，比較WM與STM對學業表



表 6 STM與各學科表現之間的關係

記憶類型	學科	N	k	固定效果模式			同質性考驗			隨機效果模式				
				\bar{z}_r	z	\bar{r}	Q	I ²	τ^2	\bar{z}_r	z	\bar{r}		
STM空間	國語文	761	10	.19	4.92***	.18	5.39	0						
	數學	2919	15	.58	31.16***	.52	339.18	95.87%	.13	.45	4.50***	.42		
	設計表現	152	1	.14		.14								
STM語音	國語文	2058	18	.31	13.84***	.30	30.34	43.97%	.01	.33	8.38***	.32		
	數學	505	7	.36	7.93***	.35	8.62	30.42%	.01	.31	4.56***	.30		
	英文	98	1	.27		.26								
STM + WM	設計表現	152	1	.21		.20								
	國語文	362	4	.57	10.67***	.52	11.78	74.52%	.03	.59	5.51***	.53		
	數學	305	4	.58	9.87***	.52	7.00	57.16%	.02	.58	6.42***	.52		
	英文	27	1	.31		.30								
	資訊能力	99	2	.71	6.80***	.61	4.97	79.87%	.09	.75	3.16***	.63		

***p < .001

表 7 WM與各學科表現之間的關係

記憶類型	學科	N	k	固定效果模式				同質性考驗				隨機效果模式		
				\bar{z}_r	z	\bar{r}	Q	I ²	τ^2	\bar{z}_r	z	\bar{r}		
WM空間	國語文	278	3	.27	4.35***	.26	23.19	91.38%	.12	.32	1.50	.31		
	數學	1051	5	.30	9.66***	.29	13.54	70.45%	.02	.31	4.14***	.30		
	英文	112	1	-.02		-.02								
	自然	112	1	.08		.08								
	社會	112	1	-.09		-.09								
	資訊能力	120	3	.14	1.51	.14	1.24	0						
WM語音	設計表現	152	1	.26		.25								
	創造力	60	1	.13		.12								
	國語文	2795	25	.37	19.26***	.35	80.93	70.35%	.02	.37	8.99***	.35		
	數學	2770	16	.43	22.32***	.40	56.85	73.61%	.02	.44	10.68***	.41		
	英文	258	3	.13	2.03*	.13	.05	0						
	自然	409	8	.17	3.42***	.17	5.43	0						
執行功能	社會	112	1	.09		.09								
	資訊能力	159	4	.47	5.70***	.44	3.85	22.02%	.01					
	設計表現	152	1	.18		.18								
	創造力	115	2	.14	1.48	.14	1.73	42.05%	.01	.14	1.11	.14		
	國語文	221	3	.42	6.14***	.40	11.66	82.84%	.07	.42	2.46**	.40		
	數學	1910	10	.43	18.83***	.41	33.40	73.06%	.02	.44	9.03***	.42		
自然	設計表現	55	1	.02		.02								
	設計表現	152	1	-.04		-.04								
	創造力	173	3	-.07	-9.1	-.07	4.35	53.87%	.02	-.07	-6.4	-.07		

*p < .05 **p < .01 ***p < .001



表 8 語音迴圈及視覺空間模板對學業表現的預測力比較

		語音迴圈		視覺空間版	
		國語文	數學	國語文	數學
語音迴圈	國語文		-2.60**+	0.79	1.66
	數學	-0.40		1.90	3.58***
視覺空間版	國語文	-3.29***	-2.09		0.15
	數學	4.17***	2.90**+	6.38***	

註：全為z值。對角線以下是不同類型STM預測力的比較結果，對角線以上是不同類型WM預測力比較結果。全部是左欄效果量減去上列效果量的差異比較結果，顯著水準訂在 .008 (.05/6)。

+ .001 < p < .008 *p < .001

現的預測力是否有顯著差異，並檢驗WM的預測力是否具有發展及學科領域差異。表3~表5的結果較為複雜，故簡化之後整理如表9所示。整體而言，STM/WM顯著預測學業表現，但博士論文的平均效果量未達顯著，期刊論文、碩士論文及碩士在職專班論文的平均效果量則達顯著，顯示本研究所分析的效果量具有出版偏差 (Franco et al., 2014)。其次，STM與WM對學業表現皆具有顯著預測力，但在小學階段，STM的預測力顯著低於WM，特別是低年級樣本；在中學階段，STM顯著高於WM。第三，本研究的學業表現主要是以國語文及數學為主，WM視覺空間模板顯著預測數學表現，但對國語文表現則無顯著預測力；WM語音迴圈及執行功能對國語文及數學表現皆有顯著預測力。顯示WM視覺空間模板的預測力具有領域特定性，語音迴圈及執行功能的預測力具有領域一般性。以下討論各研究假設是否獲得支持及可能之意涵。

一、STM及WM對學業表現的預測力及發展差異

Baddeley (Baddeley et al., 2011; Baddeley & Hitch, 1974) 主張WM是一種暫時儲存並處理訊息的認知活動，處理結果可能是完成當下

表 9 本後設分析統計結果摘要

		學前	小學	低	中	高	未分	中學	大學
對學業表現的預測力	STM		+	+	+	+	+	+	
	WM	+	+	+	+	+	+	+	+
預測力的教育階段比較	STM	$r_{小學} = r_{大學} < r_{中學}$; 小學內比較： $r_{低年級} < r_{中年級} = r_{高年級} = r_{未分}$							
	WM	$r_{小學} = r_{中學} > r_{大學}$; 小學內比較： $r_{低年級} > r_{未分}$							

複雜作業，或者輸入長期記憶中。WM的運作包含儲存及處理兩項元素，若只有儲存元素，便是傳統訊息處理理論所稱的STM（Atkinson & Shiffrin, 1968）。在學習過程中，學生不只要登錄並儲存新訊息，亦需要理解新訊息中各單元之間的邏輯關係，並整合新舊訊息，因此，本研究假設WM對學業表現的預測力顯著高於STM，Daneman與Merikle（1996）的后設分析結果便支持此預測。但本研究發現在小學階段，STM的預測力顯著低於WM；在中學階段，STM顯著高於WM；在大學階段，兩者則無顯著差異。研究假設1未獲得完全支持。本研究納入分析的58篇研究中，有9篇以國中生為參與者，2篇以高職生為參與者，故本研究在中學階段的發現幾乎代表國內12~15歲學生STM/WM與學業表現的關係。

本研究發現，除了在大學階段STM對學業表現無顯著預測力之外，STM及WM分別於每個教育階段對學業表現具有顯著預測力，但STM與WM的預測力並不相同。STM在小學階段對學業的預測力顯著小於WM。把小學區分出低、中、高年級，STM的預測力顯著小於WM的現象只出現在低年級，在中、高年級STM的預測力與WM無顯著差異。然而，在中學階段卻逆轉為STM對學業的預測力顯著高於WM，於大學階段又是無顯著差異。Carretti 等人（2009）發現WM比STM更能預測學業表現，但Unsworth與Engle（2007）發現控制智力g因素之後兩



者的預測力無顯著差異，對照本研究結果，可推論不同研究得到不同發現可能是因為他們未考慮到發展因素。

有三項可能原因解釋STM及WM的預測力差異。第一，STM及WM的成長趨勢不同，使得他們對學業表現的預測力亦不同。Swanson等人（2008）檢驗小學三年級之前STM與WM的潛在成長趨勢，發現STM、執行功能及視覺空間模板的初始水準正向預測數學表現，但STM及執行功能的成長斜率則具有負向預測力。執行功能及視覺空間模板的初始水準與成長斜率都為正值，且都高於STM；執行功能成長斜率對數學表現的預測力高於STM成長斜率。Swanson等人的發現可以解釋為何在國小階段，特別是低年級，STM對學業表現的預測力低於WM。第二，Gathercole、Pickering、Ambridge與Wearing（2004）針對不同年齡的學生於不同年級時測量STM及WM，發現4~15歲之間呈現成長趨勢，STM各作業表現的成長趨勢路徑有明顯的重疊，但WM各作業的成長趨勢在8歲之前及10歲之後一致性較低。顯示學生於STM各項作業之間的表現較具一致性，於WM各作業之間則否。在某一變項上範圍限定（range restriction）高的樣本，在此變項與另一變項的關聯性上他們可能表現較低（Sackett & Yang, 2000）。STM表現有較高的範圍限定，可能因此與學業表現的關聯性低於WM。第三個原因可能在於課程要求的不同，國內中、小學學習環境顯著的差異之一是中學具有強烈的升學壓力，學生為應付頻繁的考試及成績要求，容易傾向於以死背方式面對學習材料，凸顯出對中學生而言STM可能比WM更為重要。

從另一個角度觀之，本研究亦進行不同教育階段之間的比較，發現STM/WM在中學階段的預測力顯著高於小學階段，小學階段又高於學前及大學階段，研究假設2獲得支持。區別出STM及WM之後，亦發現教育階段間的差異。在STM對學業表現的預測力方面，中學階段顯著高於小學及大學，小學中年級及高年級顯著高於低年級；在WM的預

測力方面，小學及中學顯著高於大學。過去少有研究區別出STM及WM並比較在各教育階段之間的預測力差異，較多研究比較WM各元素對不同年齡學生學業表現預測力的差異（Gathercole, Pickering, Knight et al., 2004; Meyer et al., 2010; Raghubar et al., 2010），甚少檢驗整體WM預測力的教育階段差異。本研究填補這些不足。

STM對學業表現的預測力於中學階段最高，這可能與前述中學生面對頻繁考試與升學壓力有關。WM對小學與中學學生的學業表現有較高預測力，可能與WM、訊息處理速度及自我調控能力的發展有關。由於本研究中學階段樣本以國中生為主要多數，Gathercole、Pickering、Knight等人（2004）發現15歲之前WM為快速成長階段；McAuley與White（2011）發現訊息處理速度在童年階段成長速度較快，之後逐漸放緩。WM在中、小學階段成長快速，但個體內及個體之間變動程度也很大；Dirk與Schmiedek（2016）亦發現小學階段執行功能有很大的個別差異，在不同時間點間個體也有很大的變動且存在個別差異。Gathercole等人發現15歲之後STM及WM的發展呈現水平趨勢，隱含在大學之後STM及WM表現穩定，少有明顯增長。基於前述範圍限定對變項間相關程度的影響力說明，WM的成長變動及個別差異在中、小學階段對學業有較高預測力，在大學則較低。

二、領域一般性與特定性

本研究的學業表現廣泛含括學校教育中各學術領域，但以國語文及數學的研究量最多，故以下討論以這兩個領域為主。

空間STM、語音STM、語音WM及執行功能分別對學生的國語文及數學表現皆有顯著預測力，研究假設3及研究假設4獲得支持；空間WM僅對數學表現有顯著預測力，研究假設5獲得部分支持。這些結果類似於Daneman與Merikle（1996）、Friso-van den Bos等人（2013）的



發現。在領域特定性方面，除了語音STM對國語文表現的預測力與對數學表現的預測力無顯著差異外，STM對所有領域的表現具有顯著預測力，也對與STM測驗材料性質相同的學業領域表現，亦有較高的預測力，兼具領域一般性及特定性。但在WM上，研究假設6~9都未獲得支持，甚至發現語音迴圈對數學表現的預測力高於對國語文表現，也高於視覺空間模板對數學表現的預測力。

領域一般性是指某項認知活動廣泛地影響多種或者所有作業表現（蔣文祈，2011），記憶是主要的認知活動之一，故本研究推論無論STM或者WM，都會顯著預測學生的學業表現，本研究結果支持此項推論。特別是發揮執行功能的中央執行器，對數學及國語文表現的預測力沒有顯著差異。過去研究分別發現執行功能對數學（Blair et al., 2016; Blankson & Blair, 2016）、閱讀（Carretti et al., 2009）或整體學業表現（Bindman et al., 2015）具有顯著預測力，但未比較對不同學業領域的預測力是否有差異。本研究回答這項未解的問題，發現執行功能對國語文及數學表現具有相似的預測力。

即使某項認知活動對所有作業表現都有廣泛預測力，但仍可預期語音性質的STM或WM對語文學習表現的預測力高於視覺空間性質的STM或WM，亦高於對數學表現的預測力。此套邏輯應也適用於視覺空間性質的STM或WM對數學表現的預測力。然而，本研究發現這些原先的預期僅出現在STM，而WM的預測力方向未符合本研究原先預期，甚至發現語音WM對數學表現的預測力高於對語文表現，亦高於空間WM的預測力。本研究的發現與Friso-van den Bos等人（2013）類似，認為可依測量材料形式將執行功能區分出不同類型，發現語音形式的更新能力對數學表現的預測力，顯著高於視覺空間模板以及空間形式更新能力。此發現可能是因為數學學習同時涉及視覺空間模板與語音迴圈（蔣文祈，2011），學生需有較佳的數字記憶及處理能力，才能回應

數學課堂上教師的教學。其次，數學能力的測試題目除了計算題外還有應用題，若學生閱讀能力及語音WM能力不佳，可能造成題意理解的障礙，損害數學表現。Hecht（2001）對國小學童進行縱貫性研究，發現語音記憶（包含STM及WM）與口語能力可顯著預測數學計算能力。Zheng、Swanson與Marcoulides（2011）發現執行功能及語音迴圈顯著影響數學文字題解題正確性，且閱讀技巧及計算流暢度在此之間扮演關鍵的中介作用。所以語音WM對數學表現的重要性可能因此高於空間WM，也高於對國語文表現的重要性。

三、研究限制及建議

國外英文期刊已累積多篇後設分析研究，檢驗工作記憶與學業表現之間的關係。囿於語言限制，那些研究未納入國內進行的中文研究。本研究以國內研究為樣本，得到與英文期刊文章相似的結果，支持WM與學業表現的關係具有普世性。特別是WM與中文學習成果之間的關聯性，這是英文期刊文章不會特別著墨的。其次，針對本研究主題，現有研究多未比較STM與WM對學業表現的預測力高低，亦未探討此預測力是否具有領域一般性或者特定性，本研究回應這些議題。

雖然本研究獲得前述成果，但仍有幾項限制。首先，本研究僅涵括國內樣本，未包含國外的華人樣本。雖然本研究支持STM及WM對中文學習表現的預測力，但在華人文化圈，除了臺灣、香港與澳門使用正體字外，其他地區使用簡體字。WM對簡體字中文學習表現的預測力，是否與繁體字中文學習類似，還需其他研究加以驗證。其次，語文的學習包含字音、字形、字義及閱讀，數學包含代數、幾何、三角函數等領域，其他科目的學習也各自有其次要領域或不同層次，本研究未能分析STM及WM對這些次領域或層次的預測力。第三，STM及WM對學業表現的預測力隨教育階段而有所不同，本研究僅籠統地提出



可能原因。第四，某些效果量是整合少量研究所計算出來，雖然本研究採用隨機效果模式計算平均效果量，已考慮抽樣誤差及母群誤差，但由於篇數仍少，還需要謹慎看待本研究結果。最後，本研究所蒐集到的樣本可能存在出版偏差，因而高估STM或WM對學業表現的預測力，應謹慎運用本研究結果。

除了突破上述限制，進行後續研究外，本研究提供幾項未來研究以及實務建議。第一，國內學者對WM與學業表現之間關係的研究，並不全面，仍以傳統的語文及數學為主，對於社會科學、自然、藝文等其他學科表現的研究並不多，甚至是沒有，意味未來還有很多議題等待開發。其次，WM與學業表現有顯著關聯性，值得開闢其他研究蹊徑，探討各種WM訓練方案的促進效果，發展出有效方法，協助學生能更有效率地處理各式訊息，進而提升學業表現。第三，STM及WM對學業表現的預測力具有領域一般性，亦具有特定性，以特定性質的材料訓練學生WM能力，是否也提升在其他性質上的WM能力，值得探討。若是可行，在教學實務上，領域知識的教學是目的之一，從學習歷程中提升STM或WM也可以是教學目的之一，產生記憶能力的學習遷移。在其他教學實務方面，教師設計教學材料時，應適切安排以縮減新材料的串節數，並結合學生已有的知識基模，降低工作記憶負擔，提升學習效率及成效，此一策略從小學到大學都是適用的。

參考文獻

- 「*」為納入後設分析之樣本。
- Gathercole, S. E.、李玉琇、王馨敏（2011）。工作記憶在教室中的應用。《應用心理研究》，52，37-55。
- *丁婷芳（2007）。國小兒童短期記憶測驗編製及對特殊教育學生之應用（未出版之碩士論文）。國立彰化師範大學，彰化市。
- *于珮琪（2012）。國中生工作記憶及概數感與數學成就之關係（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- *毛雪慧（2003）。國中基本學力測驗與工作記憶（未出版之碩士論文）。國立中正大學，嘉義縣。
- 王瑋瀚、花茂琴、楊啟正、朱怡娟、鄭婷文、葉炳強…徐文俊（2008）。台灣 WAIS-III 中文版算數、記憶廣度測驗及其組合估算 WM 指數在臨床上之適用性：回溯性研究。《中華心理學刊》，50，187-199。
- *田意民、許麗絹、戴浩一、楊育芳（2014）。以工作記憶與創造力解析資優生的句法理解歷程。《中華心理學刊》，56，257-276。
- *白珊珊（2012）。注意力、工作記憶與先前知識對閱讀理解的影響效果研究（未出版之碩士論文）。國立新竹教育大學，新竹市。
- *利健微（2012）。前導組體與工作記憶廣度對閱讀者在認知負荷與學習成效之影響（未出版之碩士論文）。國立嘉義大學，嘉義市。
- *李月娥（2003）。閱讀障礙學生與一般學生在聽覺語言處理能力上之比較研究（未出版之碩士論文）。國立臺東大學，臺東縣。
- 李玉琇（2000）。工作記憶的限制在人因心理學中的意涵。《應用心理研究》，5，55-67。
- *李亞惠（2002）。國小三年級數學學習困難學生與普通學生工作記憶之研究（未出版之碩士論文）。國立彰化師範大學，彰化縣。



- *李東霖（2001）。國小三年級學生工作記憶與數學學習關係之探討（未出版之碩士論文）。國立臺南師範學院，臺南市。
- *李後昆（2006）。國小數學低成就學童工作記憶、數學概念、後設認知與問題表徵之相關研究（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。
- 李茂能（2015）。傳統整合分析理論與實務：ESS & EXCEL。臺北市：五南。
- *李茂能、楊德清（2015）。工作記憶力、後設認知能力對於國小高年級一般兒童與注意力缺陷過動症兒童之數常識發展的徑路結構分析。科學教育學刊，23，265-291。
- *李淑萍（2005）。探討九年級學生的科學寫作及其與性別、致力、語文工作記憶、學習成就之相關研究—以氧化還原為例（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- *李漢華（2014）。兒童注意力及智力發展和其與數學成就關係之縱貫性研究（未出版之博士論文）。國立中央大學，桃園市。
- *李慧慧（2006）。國小閱讀理解困難學生先備知識、詞彙量、工作記憶、推論能力與閱讀理解之關係（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。
- 周育如、樂可天（2013）。應用工作記憶理論促進學習成效之研究初探。慈濟大學教育研究學刊，9，33-68。
- *周裕欽（2002）。不同類型的工作記憶與中文閱讀理解的相關研究。花蓮師院學報，14，123-142。
- *林秀菁（2006）。解一次方程式困難學生之相關能力研究（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。
- *林迪意、莊明諺（2004）。年齡、工作記憶與電腦態度在電子郵件技能學習之預測效應。應用心理研究，22，105-120。
- 林恭宏、陳明輝、黃小玲、李士捷、謝清麟（2015）。常用於中風病人之工作記憶評估工具及其心理計量特性回顧。職能治療學會雜誌，33，71-97。
- *林健禾（2009）。注意力與過動特徵與數學學業表現的關係：以工作記憶為中介的模式（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。

- *林漢裕 (2006)。工作記憶、空間能力與設計表現：潛在變項分析 (未出版之博士論文)。國立中正大學，嘉義縣。
- 林漢裕 (2011)。結構方程模式在工作記憶與認知表現上的應用。應用心理研究，52，129-148。
- *林慧芳 (2001)。國小六年級低閱讀能力學生工作記憶與推論能力之研究 (未出版之碩士論文)。國立彰化師範大學，彰化縣。
- *林慧芳 (2008)。以閱讀廣度作業探討不同工作記憶學生之閱讀理解表現。中臺學報，20，31-49。
- *林緯倫 (2006)。不同創造力運作與認知抑制、工作記憶廣度間關係之探討 (未出版之博士論文)。國立臺灣大學，臺北市。
- *林曉昀、徐芝君、陳學志、邱發忠 (2013)。工作記憶廣度與創造力表現之關聯性研究。創造學刊，4，31-55。
- *胡又仁 (2007)。臺灣幼稚園、國小一年級與二年級兒童語音覺識發展之研究 (未出版之碩士論文)。國立臺北教育大學，臺北市。
- *張菀芯 (2010)。大學生工作記憶、知識信念、對閱讀說明文標題、主題句的眼動模式與閱讀理解表現之影響 (未出版之碩士論文)。國立屏東教育大學，屏東縣。
- *張漢評 (2000)。國小二、三年級學童工作記憶與國語文學習關係之探討 (未出版之碩士論文)。國立臺南師範學院，臺南市。
- 張憲卿、程炳林 (2010)。成敗情境對行動與狀態導向者負向情感、自我效能與工作記憶容量之影響。教育心理學報，41，605-634。
- *梁玉旗 (2004)。工作記憶容量與網頁資料搜尋表現 (未出版之碩士論文)。國立中正大學，嘉義縣。
- *許家驊 (2010)。國小解題運作技藝表現作業之編製發展與實測分析研究。教育學刊，34，143-177。
- *許麗絹 (1997)。語法、語用和工作記憶對理解中文句子的影響 (未出版之碩士論文)。國立中正大學，嘉義縣。
- *郭怡伶 (2012)。國小學童工作記憶廣度與數學學習表現之研究 (未出版之



- 碩士論文)。國立臺東教育大學，臺東縣。
- *陳玉如（2011）。國小一年級學童視覺短期記憶能力測驗編製與寫字能力之相關研究（未出版之碩士論文）。國立臺中教育大學，臺中市。
- *陳如珍（2007）。工作記憶與分類學習中知識分化的現象（未出版之碩士論文）。國立中正大學，嘉義縣。
- *陳亮君（2006）。國中小學生數學胚騰覺察能力發展概況之探討（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。
- *陳姝葵（1998）。叫名速度、工作記憶與國語文能力相關研究（未出版之碩士論文）。國立臺東師範學院，臺東縣。
- *陳柏如（2006）。數學學習困難學生之工作記憶、數學問題表徵與數學解題表現之關係分析研究（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南市。
- 陳湘淳、高于涵、李玉琇（2015）。作業間的語意關聯性對工作記憶的影響。中華心理學刊，57，177-194。
- 陳湘淳、蔣文祈（2011）。注意力控制在工作記憶發展中的角色。應用心理研究，52，95-127。
- *陳慶順（2000）。識字困難學生與普通學生識字認知成分之比較研究（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- *黃玉君（2010）。高職資料處理科學生訊息處理能力與創造性問題解決能力之相關性研究（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- *黃秀霜（1999）。不同國語成就學生認字能力及與其他認知能力之關係。臺南師院學報，32，27-59。
- *黃靖淑（2001）。國小中高年級學生數字感發展概況之探討（未出版之碩士論文）。國立臺南師範學院，臺南市。
- *黃瀞瑤（2014）。字彙圖教學對台灣國中生單字學習之成效（未出版之碩士論文）。國立政治大學，臺北市。
- *楊秀文（2001）。不同語文理解類型學生之研究（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- *楊智凱（2013）。語音處理能力和學習經驗與英語口說流利度之間的關係

(未出版之碩士論文)。臺北市立教育大學，臺北市。

*劉蓓蓓(2007)。如何提升兒童的科學推理表現—探討練習時認知負荷量與工作記憶廣度的影響(未出版之碩士論文)。國立臺灣大學，臺北市。

*歐雅婷(2016)。工作記憶和英語為外語的閱讀兩者間的關係——以嘉義市一所國中為個案(未出版之碩士論文)。國立政治大學，臺北市。

*蔡佳錚(1997)。國小學生工作記憶與數學解題歷程關係之研究(未出版之碩士論文)。國立臺南師範學院，臺南市。

*蔡富雅(2005)。附加問題的位置和工作記憶容量對五年級生與八年級生敘述理解的影響(未出版之碩士論文)。國立中正大學，嘉義縣。

*蔡曜宇(2010)。國中學生的視覺空間工作記憶、幾何思考層次與數學學習表現之關係研究：以高雄市國中九年級學生為例。*教育研究*，18，57-76。

蔣文祈(2011)。工作記憶與兒童的數學學習。*應用心理研究*，52，57-93。

*鄭俐玲(2000)。工作記憶子成分與中文閱讀之相關研究(未出版之碩士論文)。國立臺東師範學院，臺東縣。

*簡馨瑩、趙子揚、王繼伶(2014)。「幼兒工作記憶測驗」之編製。*測驗學刊*，61，159-181。

*蘇復興、黃俐絲(2006)。年齡與非語文短期記憶對於英語音韻處理能力之預測效應。*語文與國際研究*，3，51-68。

*饒蓓蕙(2004)。兒童語音迴路與新字彙學習(未出版之碩士論文)。國立中正大學，嘉義縣。

Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30-60.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89-195.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.



- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63(1), 1-29.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (1st ed., pp. 47-89). New York, NY: Academic Press.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393-1400.
- Baddeley, A., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105(1), 158-173.
- Banks, G. C., Keps, S., & Banks, K. P. (2012). Publication bias: The antagonist of meta-analytic reviews and effective policymaking. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 34(3), 259-277.
- Bindman, S. W., Pomerantz, E. M., & Roisman, G. I. (2015). Do children's executive functions account for associations between early autonomy-supportive parenting and achievement through high school? *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 756-770.
- Blair, C., McKinnon, R. D., & Family Life Project Investigators. (2016). Moderating effects of executive functions and the teacher-child relationship on the development of mathematics ability in kindergarten. *Learning and Instruction*, 41, 85-93.
- Blankson, A. N., & Blair, C. (2016). Cognition and classroom quality as predictors of math achievement in the kindergarten year. *Learning and Instruction*, 41, 32-40.
- Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 246-251.
- Christophel, T. B., Klink, P. C., Spitzer, B., Roelfsema, P. R., & Haynes, J. D. (2017).

- The distributed nature of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(2), 111-124.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, 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.
- Daneman, M., & Merikle, P. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433.
- Dirk, J., & Schmiedek, F. (2016). Fluctuations in elementary school children's working memory performance in the school context. *Journal of Educational Psychology*, 108(5), 722-739.
- Ferguson, C. J., & Brannick, M. T. (2012). Publication bias in psychological science: Prevalence, methods for identifying and controlling, and implications for the use of meta-analyses. *Psychological Methods*, 17(1), 120-128.
- Franco, A., Malhotra, N., & Simonovits, G. (2014). Publication bias in the social sciences: Unlocking the file drawer. *Science*, 345(6203), 1502-1505.
- Friedman, N. P., Haberstick, B., Willcutt, E. G., Miyake, A., Young, S. E., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2007). Greater attention problems during childhood predict poorer executive functioning in late adolescence. *Psychological Science*, 18(10), 893-900.
- Friso-van den Bos, I., van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29-44.
- Fuhs, M. W., Farran, D. C., & Nesbitt, K. T. (2015). Prekindergarten children's executive functioning skills and achievement gains: The utility of direct assessments and teacher ratings. *Journal of Educational Psychology*, 107(1), 207-221.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The



- structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- 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 of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1-16.
- Gianns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction*, 15(4), 313-331.
- Hecht, S. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(2), 192-227.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Orlando, FL: Academic Press.
- Hedges, L. V., & Verea, J. L. (1998). Fixed- and random-effects models in meta-analysis. *Psychological Methods*, 3(4), 486-504.
- Kalyuga, S., & Singh, A. M. (2016). Rethinking the boundaries of cognitive load theory in complex learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 831-852.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & 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(2), 189-217.
- McAuley, T., & White, D. A. (2011). A latent variables examination of processing speed, response inhibition, and working memory during typical development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 453-468.
- Meyer, M. L., Salimpoor, V. N., Wu, S. S., Geary, D. C., & Menon, V. (2010). Differential contribution of specific working memory components to mathematics achievement in 2nd and 3rd graders. *Learning and Individual*

Differences, 20(2), 101-109.

- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- O’Mara, A. J., Marsh, H. W., Craven, R. G., & Debus, R. L. (2006). Do self-concept interventions make a difference? A synergistic blend of construct validation and meta-analysis. *Educational Psychologist*, 41(3), 181-206.
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455-473.
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110-122.
- Sackett, P. R., & Yang, H. (2000). Correction for range restriction: An expanded typology. *Journal of Applied Psychology*, 85(1), 112-118.
- Schneider, S., Beege, M., Nebel, S., & Rey, G. D. (2018). A meta-analysis of how signaling affects learning with media. *Educational Research Review*, 23, 1-24.
- Swanson, H. L., Jerman, O., & Zheng, X. (2008). Growth in working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 343-379.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin*, 133(6), 1038-1066.



*Yang, P.-L. (2015). Interaction of working memory capacity and foreign language proficiency. *Concentric: Studies in Linguistics*, 41(1), 95-115.

Zheng, X., Swanson, H. L., & Marcoulides, G. A. (2011). Working memory components as predictors of children's mathematical word problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 481-498.