

《測驗學刊》
第七十一輯第四期 2024 年 12 月 479~510 頁

平板處理速度作業發展暨本土常模建置： 8 至 27 歲的發展軌跡

郭郡羽¹ 陳珮臻² 陳志洪³ 陳學志⁴

摘要

處理速度作為認知能力之基礎，有效地評估處理速度成為相當重要的議題。本研究選用過往文獻中用以評估處理速度的經典作業：簡單反應時間作業、選擇反應時間作業來評估處理速度。研究者利用平板易用性高的優勢，將處理速度作業配置於平板上執行，並將其處理歷程細緻化為偵測歷程與動作歷程，分別產生速度指標及穩定性指標。本研究蒐集了 1,058 位年齡介於 8 至 27 歲的健康參與者，依序執行簡單反應時間作業及選擇反應時間作業。結果發現此二種處理速度作業的再測信度良好；以學習成效、更新能力作為效標，其效標關聯效度良好。據此資料，本研究建立了本土化常模亦繪製其發展軌跡，發現處理速度隨著年齡上升漸趨穩定，而簡單反應時間作業與選擇反應時間作業在發展階段上略有差異；兩者間的穩定度發展趨勢大致相同。本研究之發現將有助於實務或臨床工作者更了解受測者的狀況，提供後續訓練計畫或協助之參考。

關鍵詞：處理速度、發展軌跡、選擇反應時間、簡單反應時間

1. 郭郡羽，國立臺灣師範大學社會教育學系副教授
 2. 陳珮臻，國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系博士後研究員
 3. 陳志洪，國立臺灣師範大學資訊教育研究所教授
 4. 陳學志，國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系教授；國立臺灣師範大學學習科學跨國頂尖研究中心共同主持人；國立臺灣師範大學華語文與科技研究中心共同主持人；國立臺灣師範大學社會情緒教育與發展研究中心主任
- 收件日期：2023.08.07；完成修改：2024.01.18；正式接受：2024.01.23
通訊作者：陳學志；Email：chcjh@ntnu.edu.tw
地址：106308 臺北市大安區和平東路一段 162 號
國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系

The Measurement and Developmental Trajectories of Processing Speed from 8-27 Years Old

Chun-Yu Kuo¹ Pei-Zhen Chen²
Zhi-Hong Chen³ Hsueh-Chih Chen⁴

Abstract

In the field of cognitive psychology, processing speed serves as a fundamental cognitive ability, and its effective assessment has become a significantly important issue. In this study, we selected classic tasks from previous literature to assess processing speed, namely, the simple reaction time task and the choice reaction time task. Leveraging the advantages of high usability offered by tablets, we administered these processing speed tasks on tablets, and further refined the process into detection processes and psychological action processes, generating speed and stability indices, respectively. The study collected data from 1,058 healthy participants aged between 8 and 27 years old, who sequentially performed the simple reaction time task and the choice reaction time task. The results indicated good test-retest reliability for both processing speed tasks. Furthermore, the criterion-related validity was found to be satisfactory when using learning outcomes and updating abilities as criteria. Based on these data, this study established a localized norm and depicted its developmental trajectory. It was observed that processing speed gradually stabilized with age, with slight differences in developmental patterns between the simple reaction time task and the choice reaction time task. However, the stability trends between the two tasks were generally similar. The findings of this research are valuable in enhancing the understanding of the participants' conditions for practitioners and clinical professionals, providing references for subsequent training programs or assistance plans.

Keywords: choice reaction time, developmental trajectory, processing speed, simple reaction time

1. Chun-Yu Kuo, Associate Professor, Department of Adult and Continuing Education, National Taiwan Normal University
2. Pei-Zhen Chen, Postdoctoral Researcher, Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University
3. Zhi-Hong Chen, Professor, Department of Graduate Institute of Information and Computer Education, National Taiwan Normal University
4. Hsueh-Chih Chen, Professor, Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University; Co-investigator, Institute for Research Excellence in Learning Sciences, National Taiwan Normal University; Co-investigator, Chinese Language and Technology Center, National Taiwan Normal University; Director, Social Emotional Education and Development Center, National Taiwan Normal University

Received: 2023.08.07; Revised: 2024.01.18; Accepted: 2024.01.23

Corresponding Author: Hsueh-Chih Chen; Email: chcjyh@ntnu.edu.tw

Address: No. 162, Sec. 1, Heping E. Rd., Da'an Dist., Taipei City 106308, Taiwan

Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University

壹、緒論

處理速度（processing speed）是指個體在進行各樣訊息處理或認知行為所需要的時間（Salthouse, 2000），具體來說，處理速度是指進行認知作業時，從接收刺激到做出反應的過程所需要的時間。處理速度在許多認知模型中均被視為不可或缺的一部分，例如：心理速度理論（mental speed theory）中將處理速度視為一個最基礎的認知能力，會直接影響其他高階認知功能的表現。Deary（1995）認為，早期知覺訊息的處理歷程將會對各樣認知功能產生影響，而這些影響的累積則會對最後的智力、語言或行為表現之發展產生影響。

處理速度之所以重要，源自於近期與執行功能（executive function）相關的研究。執行功能被認為是相對高階的認知功能，涉及組織訊息、問題解決、規劃等與任務目標相關的能力（詳見回顧 Diamond, 2013）。執行功能從童年早期至成年前期持續地發展（De Luca & Leventer, 2011），且與社交、行為、情緒及學業表現都有顯著的預測力（Ursache et al., 2012）。然而，在發展階段中，除了執行功能隨著年齡上升逐漸改變外，許多基礎的認知功能亦隨著年齡的增長而改變，例如：處理速度、精細動作能力或語言理解能力等，因此 Willoughby 等人（2018）具體建議在評估兒童執行功能時，同時測量並控制處理速度能增加對結果解釋的細緻程度。在臨床上，常使用的執行功能評估工具 CANTAB 中，亦納入了處理速度的評估作業；「魏氏智力量表」也納入符號數字取代作業來評估處理速度。評估基礎認知能力的另一個重要證據來自使用驗證性因素分析的研究，從多個涉及執行功能的作業中找出潛在變項，並觀察潛在變項涉及執行功能與否。Van der Sluis 等人（2007）的研究中就發現，在排除處理速度的影響後，會降低執行功能與效標（學業成就表現）的關聯，這也彰顯了評估處理速度的重要性。在 Deary 與 Der（2005b）的研究中，甚至發現處理速度比 Alice Heim 4 Test 所測出的智力更能有效預測平均餘命。

在上述文獻中可以發現，評估處理速度成為執行功能評估時不可或缺的步驟，但在每個研究中也使用了不盡相同的程序，例如：刺激出現間隔不等、刺激形式不同、反應形式差異、硬體設備不相同等，故造成難以直接比較的困境（Deary & Der, 2005a; Der & Deary, 2006）。因此，本研究的主要目

的即是要設計一個可供評估處理速度的標準化作業，藉以深化提供基礎研究及應用、臨床工作者一個便於評估處理速度的工具。此外，在回顧處理速度相關文獻中也令人驚訝地發現，目前有許多關於成年階段的處理速度評估的研究，甚至包含到成年晚期處理速度的變化也多有討論，相關文獻及參與者樣本年齡整理如表 1 所示。但是，對於兒童至青少年階段相關的研究則顯得相對較少。是故，本研究除了工具的發展外，同時建立發展階段中的本土化常模，透過完整學齡階段的常模資料，未來研究者及教育或臨床實務工作者得以將自身所獲得的資料與常模資料進行對照，以對資料有更清晰的詮釋。

表 1 處理速度作業參與者人數及年齡範圍摘要

文獻	樣本人數	樣本年齡區間
Adam (1999)	24	19~34
Balakrishnan 等人 (2014)	60	18~22
Bugg 等人 (2006)	196	20~89
Deary 與 Der (2005a)	1,930	16~63
Der 與 Deary (2006)	7,130	18~94
Deary 等人 (2001)	900	55
Deary 等人 (2011)	150	18~80
Dykiert 等人 (2012)	312	18~59
Krieg 等人 (2001)	4,896	20~59
Reeves 等人 (2006)	2,261	17~46
Vincent 等人 (2008)	5,247	18~51
Vincent 等人 (2012)	107,413	17~65
Woods 等人 (2015)	1,469	18~65

除了標準化工具的設計與常模建立外，本研究的第二個研究目的在於細緻化處理速度相關指標。過去研究因著紀錄方式的限制，處理速度通常由總反應時間來反映，但其實從偵測目標物到動作反應之間會劃分不同的心理歷程，包含偵測與動作歷程。本處理速度作業將進一步拆解此兩部分歷程，並以不同指標加以呈現，期待能對未來相關研究有更切實的幫助。在文獻探討段落中，研究者將針對上述研究目的依序整理相關的文獻。

貳、文獻探討

一、處理速度發展軌跡的描繪

處理速度在年齡上的變化一直是高齡認知心理學中的重要議題，一來是因為處理速度不僅是一個行為指標，其也反映了中央神經系統的基礎能力（Madden, 2001）；二來是在過去研究中也發現處理速度的穩定性對許多高階執行功能有顯著的解釋力（Madden, 2001; Salthouse, 1991, 1996）。最早在 1890 年，Galton 開始評估 15 至 19 歲青少年的處理速度。我們終其一生處理速度的變化約呈現一個 U 型曲線，從幼兒到 30 歲逐漸變快（Riddervold et al., 2008; Van Damme & Crombez, 2009），然後隨著年齡增加逐漸變慢，此年齡效果在選擇反應時間作業上更為顯著（Deary & Der, 2005a; Luchies et al., 2002）。來自於縱貫研究的資料也有著相似發現：Mathey（1976）發現 70 至 80 歲時的反應時間慢於 60 至 70 歲；Fozard 等人（1994）的研究中發現，簡單反應時間開始衰退後，大約以每年 0.5 毫秒的速率衰退，穩定度同樣隨年齡增加而變差（Hultsch et al., 2002），若罹患失智症則退化狀況將更加劇（Gorus et al., 2008）。在上述文獻中可以發現，處理速度相關評估除了可以觀察速度外，穩定度也是一個重要指標。處理速度在年齡上的變化亦被發現與重大生命事件相關，例如：Deary 與 Der（2005b）發現，簡單反應時間作業的穩定性與選擇反應時間作業的速度能夠預測死亡率；Lajoie 與 Gallagher（2004）則發現，在安養中心中跌倒的高齡者，其處理速度顯著慢於無跌倒者。

因著處理速度隨著發展階段在成年早期漸趨穩定，直至生命晚期才又開始下降，因此處理速度相關的討論多集中在幼兒及高齡階段。Shipley 等人（2006）進行了一個大規模研究，招募了 7,000 位年齡分布在 18 至 80 歲的參與者，並觀察其反應時間與健康間的關聯性。在此研究中，研究者利用反應時間作業來評估處理速度，並展現了處理速度的重要性。但值得注意的是，該研究所提供的資料仍集中在成年以後的年齡階段。然而，近期的研究者開始發現，處理速度對於兒童階段的認知評估有重要的影響（Hendry et al., 2016），例如：在實徵研究證據中發現，移除處理速度的解釋力後，執行功能與學業表現的相關降低（Van der Sluis et al., 2007）。在 Willoughby 等人

(2018) 的研究中，針對 830 名學齡前兒童進行處理速度及認知功能的測量，結果發現處理速度與多個認知能力間均存在顯著相關 ($R^2 = .09 - .26$)，處理速度愈慢者，其他認知作業的表現亦愈差。因此，在評估兒童的認知能力時，測量處理速度可以提供更全面和準確的訊息 (Fry & Hale, 2000; Hackman et al., 2015; Willoughby et al., 2018)，此外亦能夠協助早期識別可能存在的發展延遲或缺陷，從而提供更早的干預和支持。因此，本研究致力於補足此部分的研究缺口，提供學齡階段的常模資料，並試著描繪處理速度的發展軌跡。

二、處理速度作業的發展與歷程拆解

在 Jensen (2006, p. 241) 的書中提及，能夠設計一套以評估處理速度為核心目的之標準電腦化程序是相當重要的。本研究的第一個目的即為提供一套包含使用說明、介面簡單、並能夠自動計算出重要指標的工具來評估處理速度。從 19 世紀中期開始，在心理學相關領域中，反應時間就開始被視作一個能夠有效反映心智運作歷程的測量指標。Galton (1890a) 就以反應時間相關作業評估上千位受測者。而最常用以評估基礎反應時間的作業為簡單反應時間作業 (simple reaction time) 與選擇反應時間作業 (choice reaction time) (Luce, 1986)，這兩個作業的核心在於評估受測者對於偵測外在刺激的基礎處理速度。簡單反應時間作業要求受測者盡快且正確地針對一個單一的目標刺激進行反應；選擇反應時間作業則要求受測者盡快且正確地針對多個刺激中的目標刺激進行反應。在上述兩個基礎反應時間作業中，最常被使用的指標是速度及穩定性：速度是以實驗嘗試的平均反應速度或中位數來反映，而穩定性則是以個體在所有嘗試內的變異程度 (變異數或標準差) 作為指標 (Hultsch et al., 2002)。

在進行簡單反應時間作業與選擇反應時間作業時，從刺激呈現到參與者做出反應在歷程上可以區分為偵測歷程與動作歷程。偵測歷程指的是，從刺激呈現到參與者偵測到該刺激呈現並預備進行反應的區段；動作歷程則是指，從預備進行反應到按鍵完成的區段。理論上，這兩種歷程應可獨立被測量並分別計算速度及穩定性指標，然過往使用電腦進行簡單反應時間作業與選擇反應時間作業時較難拆分出此兩種歷程。

三、模組優勢及以平板作為載具的優勢

本研究之模組優於過往電腦化處理速度作業之處有以下幾點：第一，在設計電腦化處理速度作業時，有一個主要的實務困境來自於作業時長的限制。通常完整的神經心理學作業所需要耗費的時間相當長，或是在基礎研究中難以於有限的時間內額外評估參與者的處理速度，因此短版的處理速度作業就顯得格外重要（Willoughby et al., 2018），若能盡可能在短時間內快速且正確的評估個體之處理速度，將有助於實務使用上的可行性。第二，在作業執行前，研究者以文字、圖片及動畫方式說明作業流程，受測者可自行閱讀並進行練習，此作法有助於在臨床或教育實務現場更快速地評估及蒐集資料（Domen et al., 2019）。第三，本作業在執行完畢後能自動進行資料處理，包含資料的前處理、不同實驗情境的指標計算，並提供對應常模資料後的評估建議，對實務場域中的使用者而言更加友善（Domen et al., 2019）。因此，本研究所設計的處理速度作業符合可快速理解、操作、執行的原則。

本研究發展的處理速度作業將以平板作為載具，此異於過往常用之紙本版與電腦版的測驗方式。紙本版的評估工具，例如：「數位符號替換測驗」（Digit Symbol Substitution Test），該作業要求受測者根據所顯示的數字找到配對的符號並填入，其指標則為在固定時間內正確完成的配對數量。電腦版的評估工具則以電腦施測簡單反應時間作業與選擇反應時間作業為主，相較於紙本版的評估工具，電腦化的測量方式有多項優勢：首先，非電腦化的工具往往需要除紙筆外的其他工具，例如：色塊（Wechsler, 2008）、塑膠球（Culbertson & Zillmer, 1998）等，電腦化評估工具更容易攜至施測現場且能與其他評估工具整合；第二，電腦化測驗得以更加精準評估參與者的反應、施測過程的標準化程序更為完備、能避免因參與者無法握筆書寫等限制，亦能提供更精細的指標與評估，並減少計分上的人力及時間（Domen et al., 2019）。因此，近年來有愈來愈多電腦化的認知功能評估工具被開發出來，例如：Cambridge 神經心理學測驗模組（CANTAB; Cambridge Cognition Ltd., 2008）、CogStateBattery（<https://www.cogstate.com>）、Cogtest（<https://www.cogtest.com>）、CNS vital signs（Gualtieri & Johnson, 2006）等。

選擇使用平板作為載具的第一個原因來自於其便攜性；第二個原因則是平板作為載具能夠減少傳統電腦化測驗操作上不夠直覺的缺點，平板的操作介面相較與鍵盤與滑鼠更為直覺，有助於幼兒或有認知功能障礙之臨床樣本

測驗學刊，第 71 輯第 4 期

理解及執行測驗（Atkins et al., 2017）；第三個原因則來自於其特性有助於拆解傳統電腦版處理速度作業中無法拆分的偵測及動作歷程。在電腦版的測量中，受測者看到刺激後需按下鍵盤上的對應按鍵，從刺激出現到正確按鍵中的間隔時間被視為處理速度，因此其指標為兩個歷程的總和反應時間，無法將此兩個歷程分離開來。因此，本研究選用平板作為媒介時，則可利用平板操作的特性來區分此兩階段：參測者將被要求按住預備鍵，當刺激出現時放開預備鍵，此階段為偵測歷程；受測者放開預備鍵，並將手移動至刺激位置並進行點選的反應則為動作歷程。此設計得以讓實務工作者依據不同研究情境與使用目的選擇更為關聯的指標。

四、研究目的

承上文所述，本研究的第一個目的在於發展平板版本之處理速度評估工具，改良電腦化需熟悉鍵盤與滑鼠操作的要求，並濃縮施測時間。此外，本研究所發展的平板版本處理速度作業，除了傳統的速度指標外，另提供穩定度指標，以觀察受測者表現的穩定程度。本研究的第二個研究目的在於建立學齡階段至穩定階段之常模，期能對個體資料有更理想的詮釋。第三，本研究將利用平板版本之優勢，進一步拆解處理速度作業之歷程，觀察偵測歷程及動作歷程在發展軌跡上的改變。

參、研究方法

一、參與者

本研究依分層取樣的方法，邀請臺灣北、中、南、東四個地區的在學學生作為研究對象，參與者排除聽力障礙、矯正後視覺障礙（含色盲／色弱）、上肢／上半身運動障礙、神經疾病或精神疾病、一週內超過兩天飲用三份以上的酒精飲品、曾無端失去意識 5 分鐘以上、曾因頭部受傷而住院、有認知或記憶障礙病史、曾被診斷為學習障礙者。研究者共蒐集 1,076 位自願者參與此研究，其中有 18 位因程式問題未能完成處理速度作業，有效資料共 1,058 筆，不同在學階段之人數、性別及年齡概況如表 2 所示。研究者據此建立處理速度作業之本土化常模。

信、效度評估之參與者資料如下：49 位參與者在第一次受測後約六個月

表 2 本土化常模建置使用之樣本在學階段、性別、人數與年齡之分布情形

	性別	人數	平均年齡（標準差）
1-6 年級	女	150	11.02（1.44）
	男	155	10.75（1.34）
7-9 年級	女	191	14.21（1.13）
	男	184	14.08（1.04）
10-12 年級	女	89	16.49（0.64）
	男	120	16.39（0.51）
大學以上	女	90	21.93（1.32）
	男	79	21.89（1.35）
總計		1058	14.90（3.81）

再次進行處理速度作業，用以評估再測信度。其中，女性比例為 45%，平均年齡為 16.08 歲，標準差為 2.97。有關效標關聯效度，在學習成效部分，研究者蒐集了 122 位 7 至 12 年級之參與者的各學科學習表現，並依據文、理科分別平均，接著在班級內計算標準化分數，將此標準化分數作為學習成效指標。其中，女性比例為 43%，平均年齡為 14.25 歲，標準差為 1.49。在更新能力部分，研究者邀請 641 位參與者（女性比例為 47%，平均年齡為 16.02 歲，標準差為 4.15）同時參與運行記憶任務（running memory task），並計算最高更新能力廣度作為更新能力的指標，該指標愈大表示更新能力愈好。

二、研究工具

（一）處理速度作業

處理速度作業由簡單反應時間作業與選擇反應時間作業所構成，受測者將依序完成簡單反應時間作業與選擇反應時間作業。以下依序說明此二種作業的設計細節。

1. 作業設計

在簡單反應時間作業中，受測者需將手指擺放在預備鍵上，預備鍵上方有一個灰色圓形，當此灰色圓形變成紅色時，受測者須盡快將手指從預備鍵移開並點選該紅色圓形。此作業包含練習嘗試 8 題，正式嘗試 20 題。按下預

測驗學刊，第 71 輯第 4 期

備鍵至刺激出現的間隔時間為 1000 毫秒至 3000 毫秒，每 250 毫秒為一個區段（1000、1250、1500、1750、2000、2250、2500、2750、3000），隨機抽選。

在選擇反應時間作業中，受測者需將手指擺放在預備鍵上，預備鍵上方有四個灰色圓形，在每個嘗試中會有一個灰色圓形由灰色變成紅色（四個位置變成紅色的機率相同），受測者須盡快將手指從預備鍵移開並點選該紅色圓形。此作業包含練習嘗試 8 題，正式嘗試 32 題。按下預備鍵至刺激出現的間隔時間為 1000 毫秒至 3000 毫秒，每 250 毫秒為一個區段（1000、1250、1500、1750、2000、2250、2500、2750、3000），隨機抽選。

2.版面設計

在簡單反應時間作業中，視角以眼睛至螢幕距離 65 公分來計算，其版面設計如圖 1 左。螢幕底色為深灰色，螢幕下方有一個淺灰色的方形預備鍵（ $3.5^{\circ} \times 2^{\circ}$ ），此預備鍵離螢幕邊界 1.5° 。預備鍵上方呈現一個直徑 2.3° 的淺灰色圓形。圓形與預備鍵距離 5.2° 。

在選擇反應時間作業中，視角以眼睛至螢幕距離 65 公分來計算，其版面設計如圖 1 右。基本呈現畫面與簡單反應時間相似，唯有以下差異：預備鍵上方呈現四個直徑 2.3° 的淺灰色圓形，圓形間離散角度（以預備鍵為中心）為 40° 。

圖 1 簡單反應時間作業與選擇反應時間作業之畫面示意圖

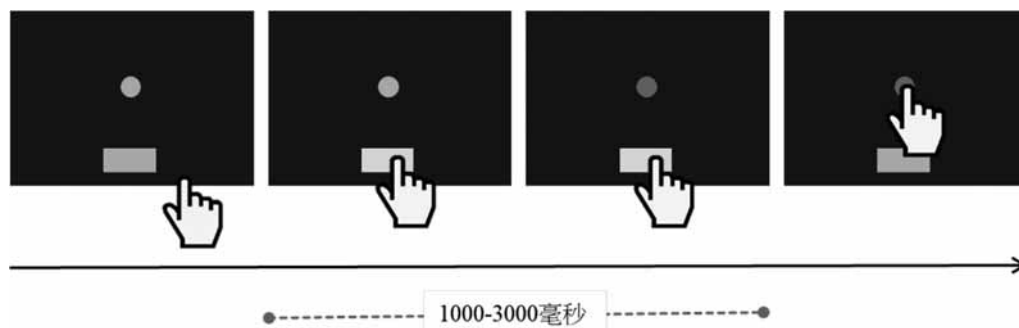


3.嘗試流程與指導語說明

簡單反應時間作業的嘗試流程如圖 2 所示。在每個嘗試中，會先出現準備畫面，此時受測者需將手指移至預備鍵位置。當按下預備鍵後，預備鍵會變為綠色。間隔 1000 毫秒至 3000 毫秒後，灰色圓形會變成紅色，受測者須

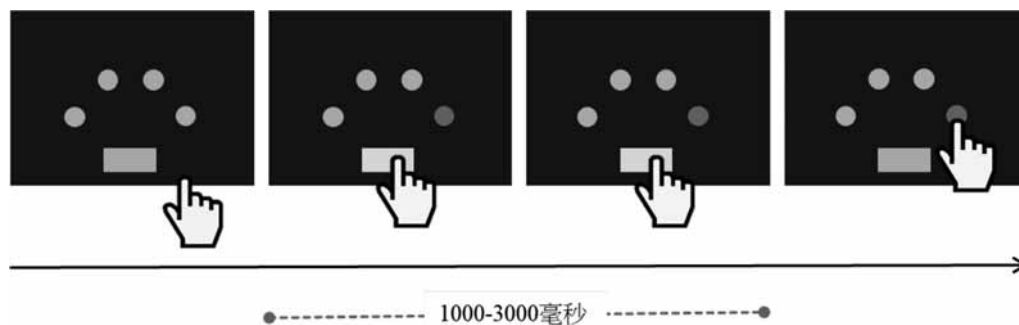
盡快點放開預備鍵並點擊紅色圓形。點擊後，螢幕上會自動出現下一個嘗試。本作業採團體施測，由主試者根據施測指導手冊完成標準施測程序。

圖 2 簡單反應時間作業嘗試範例



選擇反應時間作業的嘗試流程如圖 3 所示。在每個嘗試中，會先出現準備畫面，此時受測者需要將手指移至預備鍵位置。當按下預備鍵後，預備鍵會變為綠色。間隔 1000 毫秒至 3000 毫秒後，四個灰色圓形中的任一個會變成紅色，受測者須盡快點放開預備鍵並點擊紅色圓形。點擊後，螢幕上會自動出現下一個嘗試。受測者在完成簡單反應時間作業後，稍作休息，接著進行選擇反應時間作業。

圖 3 選擇反應時間作業嘗試範例



4.指標與計分

在簡單反應時間作業與選擇反應時間作業中，均可計算出受測者的正確率與反應時間。正確率指標的計算方式為正式階段中的正確反應題數除以總反應題數而得。進行反應時間的分析前為避免因少數極端反應時間對結果造成影響，將參考過去研究進行資料前處理：刪去錯誤反應的嘗試、刪去反應時間在 80 毫秒以下、反應時間在 ± 2.5 個標準差以外的嘗試（Van Selst & Jolicoeur, 1994），餘下之嘗試再接續進行反應時間相關指標的分析。根據上述資料前處理流程，在簡單反應時間作業及選擇反應時間作業中分別有 3.84% 及 3.16% 的資料被刪除。反應時間的相關指標有二：第一，速度指標；第二，穩定性指標。在速度指標中，又可以分成偵測速度與動作速度。前者為紅色目標出現到參與者放開預備鍵的間隔時間，主要反應對目標物的偵測歷程；後者為放開預備鍵至成功點擊紅色目標物的間隔時間，主要反應成功偵測目標物後到執行行為反應所耗費的時間。兩者相加為總反應時間，可用以表徵參與者的處理速度。穩定性指標則由計算每位參與者總反應時間的標準差所獲得，該指標愈小表示在作業中的表現愈穩定，該指標愈大表示在作業中的表現愈不穩定。

（二）效度考驗工具

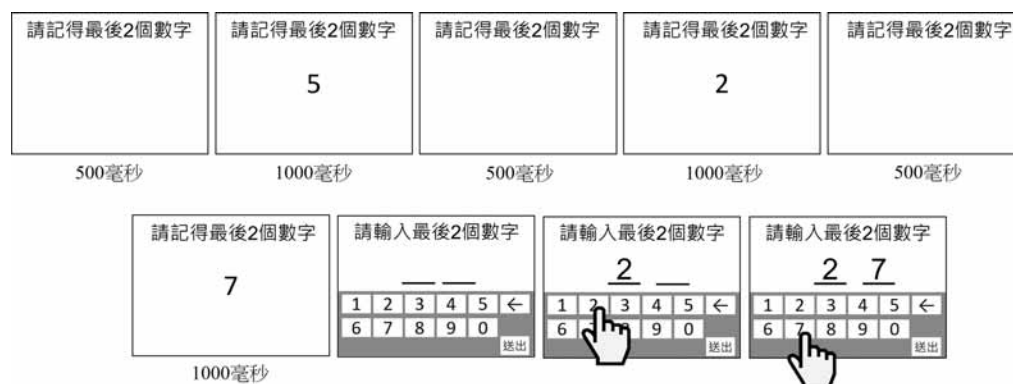
1.學習成效

相關研究發現，處理速度與學習成效間有正相關（約在 .30~.40 之間，Rindermann & Neubauer, 2001, 2004）。在學習障礙領域中，亦有研究發現學習障礙兒童的處理速度能力較差（Kibby & Cohen, 2008）。在 Swanson 與 Kim（2007）的研究中，亦發現工作記憶、短期記憶與處理速度均能有效預測學童的數學表現，其中處理速度對於基礎數學技能和數學認知均有預測力。處理速度除了可能對學習成效產生直接影響外，亦可能透過其他認知能力產生間接的影響。從心理速度理論（mental speed theory）的角度來思考，處理速度為所有高階認知能力（例如：智力、創造力）的基石，其與智力間存在中到強的相關（Deary et al., 2001; Jensen, 2006），自然可能會透過這些與學習成效相關的能力對學習成效產生影響。因此，本研究將以學習成效作為效標之一來評估處理速度作業的有效性。

2.更新能力

Salthouse (1996) 所提出的處理速度理論認為，處理速度與許多高階認知功能相關，處理速度增加會損害其他高階認知功能，例如：更新能力包含快速在工作記憶中登錄新訊息及丟棄舊訊息，此能力即與處理速度有正相關，因此本研究以更新能力作為效度指標。本研究採用運行記憶任務（running memory task）來評估參與者之更新能力，此作業由 Pollack 等人（1959）首次提出，要求參與者在維持記憶訊息的同時動態地更新或替換新訊息。在作業中會連續呈現數量不等的刺激，並要求參與者記住最後的 n 個，在刺激停止出現時，參與者必須回報最末 n 個刺激為何。由於參與者並不知道每個嘗試中將會呈現多少個刺激，因此需要不斷更新工作記憶中的訊息，以便在記憶測試時能夠正確回答出來。 n 的數量即為更新能力的指標。圖 4 為運行記憶任務的流程示意圖，在該範例中，參與者需記憶數字序列中的最末兩個數字（此時 $n=2$ ），當畫面中依序出現 5、2、7 時，參與者須回答 2、7 為正確答案。

圖 4 運行記憶任務（running memory task）的流程示意圖



（三）資料整理與分析

為回應上述研究目的，本研究之資料分析策略與順序如下：首先，針對資料進行前處理後，分別計算選擇反應時間、簡單反應時間、偵測速度、動作速度指標之平均數與標準差，以反映全體樣本之表現。接著，繪製上述指

標隨著年齡上升的變化趨勢，並檢驗年齡效果。在信度分析中，將進行再測信度的檢驗，確認第一次施測與第二次施測在不同指標上的相關。在效度考驗部分，本研究共分為三個部分：第一，內部相關性，將檢驗上述作業指標間的相關情形；第二，效標關聯效度，將檢驗處理速度作業表現、學習成效表現與更新能力之相關。所有分析均使用 JASP Version 0.17.2.1 (JASP Team, 2023) 進行分析。

肆、研究結果

一、處理速度作業結果

(一) 簡單反應時間作業與選擇反應時間作業的表現

1. 正確率指標

因處理速度作業相當容易，故正確率通常非常高，一般而言以速度與穩定度指標為主。本研究中的兩個作業之正確率均在 99.5% 以上，選擇反應時間作業的正確率略低於簡單反應時間作業， $t = 4.10$ ， $p < .001$ ，此發現係因選擇反應時間作業的選擇難度略高於簡單反應時間作業所致。本研究所選用之樣本均為健康樣本，因此正確率有天花板效果，後續將著重在速度指標及穩定度指標的討論上。

2. 速度指標

就全體樣本而言，簡單反應時間作業與選擇反應時間作業之平均反應時間分別為 1144 毫秒及 1190 毫秒。兩個作業的反應時間達顯著差異， $t = 2.87$ ， $p = .004$ ， $d = 0.09$ ，選擇反應時間作業之反應時間顯著長於簡單反應時間，此發現與過去處理速度作業相關文獻相符 (Donders, 1868)。其主要原因來自於選擇反應時間作業的反應複雜度高於簡單反應時間作業 (Luce, 1986)，當選擇複雜度增加，工作記憶中需存放更多訊息，因此延緩處理速度 (Henry & Rogers, 1960; Klapp, 2010)。兩個作業中的偵測速度與動作速度，如表 3 所示。因處理速度會隨著年齡上升而有所改變，因此表 3 一併呈現不同年齡階段之表現，下個段落將進一步分析年齡效果。

3.穩定度指標

就全體樣本而言，簡單反應時間作業與選擇反應時間作業之穩定度指標分別為 162 及 103，兩者達顯著差異， $t = 5.10$ ， $p < .001$ ， $d = 0.16$ ，簡單反應時間作業的穩定度顯著低於選擇反應時間作業。此一結果可能反應了在施測過程中，先執行簡單反應時間作業再執行選擇反應時間作業的順序所致。過去文獻多針對成人至高齡階段進行處理速度之評估與測量，結果發現在成年早期兩個作業間的穩定度相當（Deary & Der, 2005a），因此為回應過往文獻的發現，研究者將與過去文獻最接近的大學以上階段之參與者資料額外進行分析，結果發現兩個作業間在偵測歷程之穩定度沒有差異， $t = 0.034$ ， $p = .735$ ， $d = 0.03$ 。因穩定度會隨著年齡上升而有所改變，因此表 3 一併呈現不同年齡階段之表現，下個段落將進一步分析年齡效果。

（二）年齡與處理歷程的效果

1.速度指標

研究者根據學齡階段，將參與者分為 1-6 年級、7-9 年級、10-12 年級及大學以上四個年齡層，並分別對簡單反應時間作業及選擇反應時間作業的反應時間進行單因子變異數分析，其結果如圖 5A 及圖 5B 所示。結果發現：簡單反應時間作業之表現有年齡差異， $F = 33.77$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.09$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組（ $ps < .001$ ），7-9 年級組之反應時間慢於大學以上組（ $p < .001$ ），其他組別間兩兩沒有差異。選擇反應時間作業之表現有年齡差異， $F = 56.23$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.14$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組（ $ps < .001$ ），7-9 年級組之反應時間慢於 10-12 年級組及大學以上組（ $ps < .01$ ），其他組別間兩兩沒有差異。

2.穩定度指標

在穩定度部分，研究者分別對兩個作業的穩定性指標進行單因子變異數分析，其結果如圖 6A 及圖 6B 所示。結果發現：簡單反應時間作業之穩定度有年齡差異， $F = 13.21$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.04$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度較其他各組低（ $ps < .001$ ），7-9 年級組之穩定度低於大學以上組（ $p = .001$ ），其他組別間兩兩沒有差異。選擇反應時間作業之表現有年齡差異， $F = 19.47$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.05$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度

表 3 簡單反應時間作業與選擇反應時間作業之表現

	簡單反應時間作業			選擇反應時間作業		
	偵測歷程	動作歷程	總歷程	偵測歷程	動作歷程	總歷程
速度指標	1-6 年級	811 (26)	1382 (46)	562 (13)	821 (17)	1384 (30)
	7-9 年級	663 (16)	1126 (27)	468 (4)	709 (14)	1177 (17)
	10-12 年級	596 (14)	1014 (20)	436 (3)	640 (5)	1076 (7)
	大學以上	532 (5)	913 (7)	415 (3)	592 (4)	1008 (7)
	全體參與者	671 (10)	1144 (17)	480 (5)	709 (9)	1190 (11)
穩定度指標	1-6 年級	302 (34)	254 (27)	136 (14)	200 (21)	168 (17)
	7-9 年級	218 (29)	175 (23)	68 (4)	123 (17)	95 (9)
	10-12 年級	139 (25)	104 (15)	88 (2)	104 (7)	68 (4)
	大學以上	46 (2)	41 (2)	36 (1)	53 (2)	44 (1)
	全體參與者	199 (15)	162 (12)	78 (5)	127 (9)	103 (6)

註：括號內為標準誤。

郭郡羽 陳佩臻 陳志洪 陳學志

平板處理速度作業發展暨本土常模建置

圖 5 簡單反應時間作業(A)與選擇反應時間作業(B)於不同年齡階段之速度指標

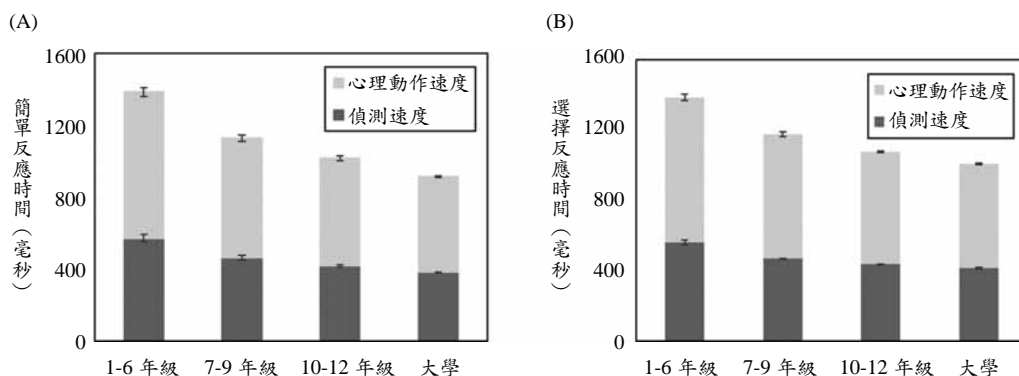
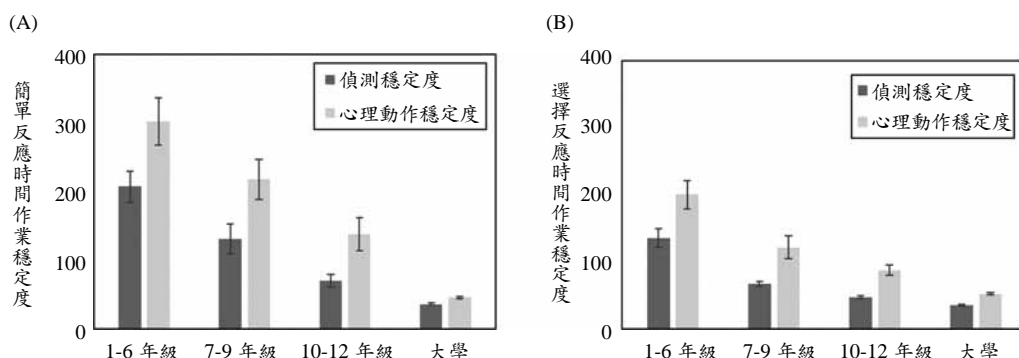


圖 6 簡單反應時間作業(A)與選擇反應時間作業(B)於不同年齡階段之穩定度指標



較其他各組低 ($ps < .001$)，7-9 年級組之穩定度低於大學以上組 ($p = .022$)，其他組別間兩兩沒有差異。

(三) 簡單反應時間作業兩階段歷程之發展軌跡

簡單反應時間作業的偵測歷程、動作歷程在速度指標及穩定度的發展軌跡，如圖 7 及圖 8 所示，其中分別繪製速度指標與穩定度指標。在此段落中，將分別針對簡單反應時間作業中的偵測歷程、動作歷程的速度指標及穩定度指標進行跨年齡階段的分析，藉以更進一步地觀察在上述段落中的年齡變化來自於哪一個歷程的改變。

測驗學刊，第 71 輯第 4 期

圖 7 簡單反應時間作業中偵測歷程(A)與動作歷程(B)速度指標之發展軌跡

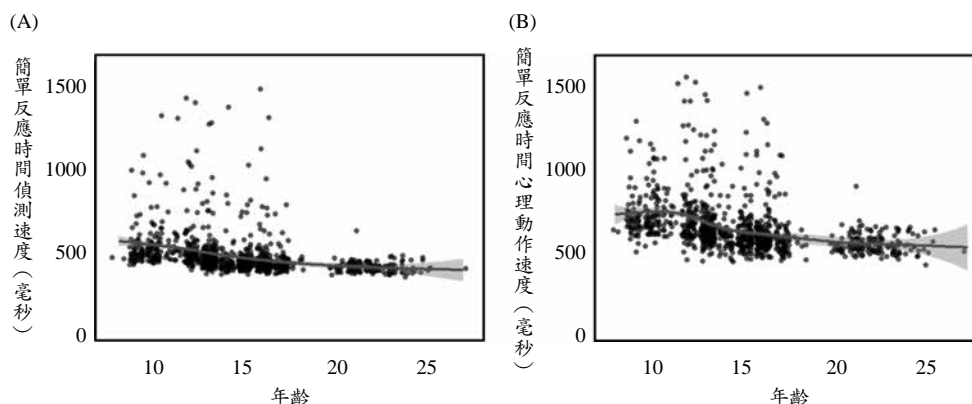
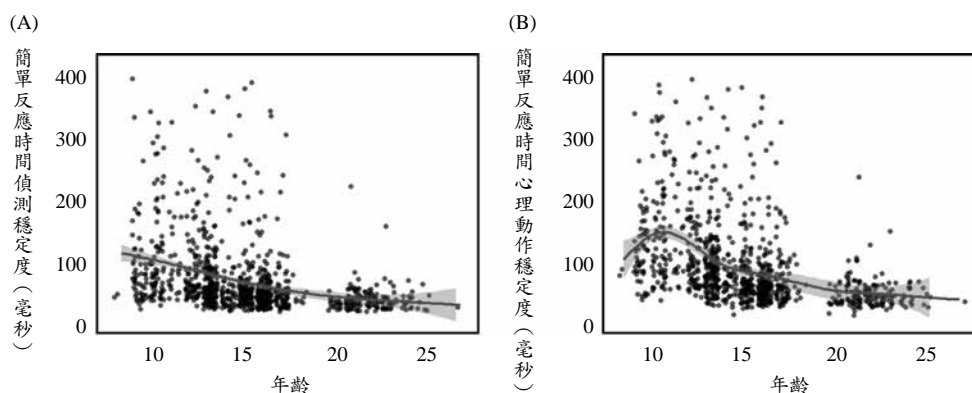


圖 8 簡單反應時間作業中偵測歷程(A)與動作歷程(B)穩定度指標之發展軌跡



1. 偵測歷程

以偵測歷程之速度指標進行年齡階段（1-6 年級、7-9 年級、10-12 年級及大學以上）單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業偵測歷程之表現速度有年齡差異， $F = 26.32$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.07$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組（ $ps < .001$ ），7-9 年級組之反應時間慢於大學以上組（ $p = .003$ ），其他組別間兩兩沒有差異。

以偵測歷程之穩定度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業偵測歷程之穩定度有年齡差異， $F = 12.38$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.03$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度低於其他各組（1-6 年級與 7-9

年級 $p = .016$ ；1-6 年級與 10-12 年級、1-6 年級與大學以上 $ps < .001$ ），7-9 年級組之穩定度低於大學以上組（ $p = .010$ ），其他組別間兩兩沒有差異。

2.動作歷程

以動作歷程之速度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業動作歷程之表現速度有年齡差異， $F = 34.14$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.09$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組（ $ps < .001$ ），其他組別間兩兩沒有差異。

以動作歷程之穩定度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業動作歷程之穩定度有年齡差異， $F = 11.33$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.03$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度低於 10-12 年級組與大學以上組（ $ps < .001$ ），7-9 年級組之穩定度低於大學以上組（ $p < .001$ ），其他組別間兩兩沒有差異。

（四）選擇反應時間作業兩階段歷程之發展軌跡

選擇反應時間作業的偵測歷程、動作歷程在速度指標及穩定度的發展軌跡，如圖 9 及圖 10 所示，其中分別繪製速度指標與穩定度指標。在此段落中，同樣分別針對選擇反應時間作業中的偵測歷程、動作歷程的速度指標及穩定度指標進行跨年齡階段的分析。

圖 9 選擇反應時間作業中偵測歷程(A)與動作歷程(B)速度指標之發展軌跡

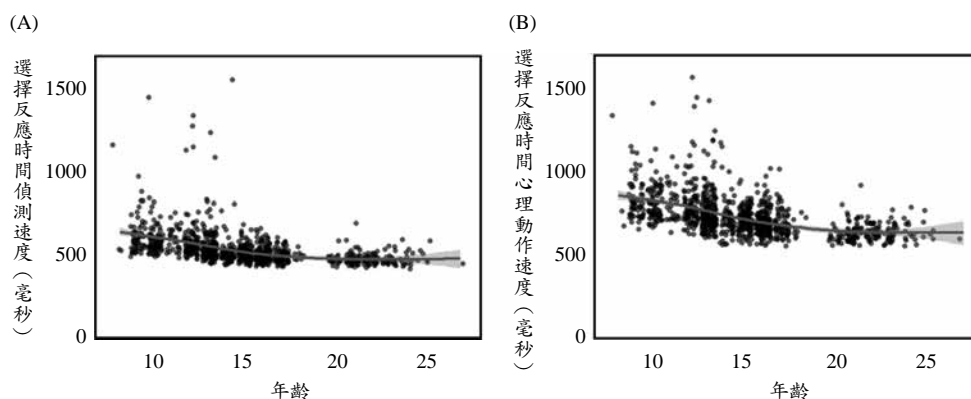
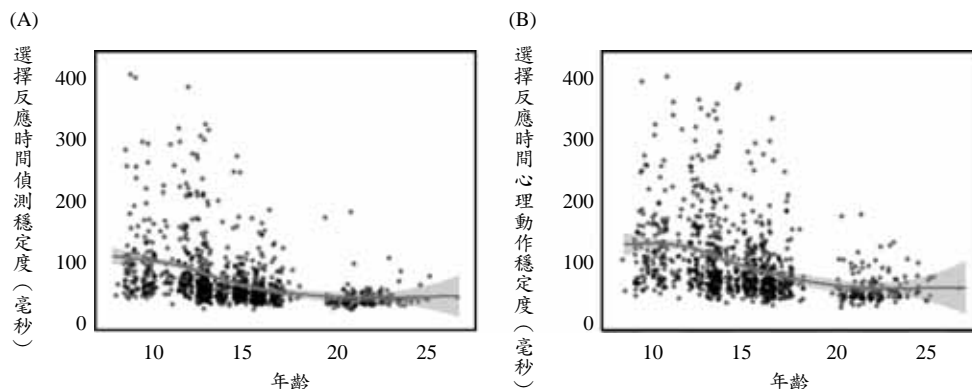


圖 10 選擇反應時間作業中偵測歷程(A)與動作歷程(B)穩定度指標之發展軌跡



1. 偵測歷程

以偵測歷程之速度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業偵測歷程之表現速度有年齡差異， $F = 59.22$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.14$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組 ($ps < .001$)，7-9 年級組之反應時間慢於 10-12 年級組及大學以上組 (7-9 年級與 10-12 年級 $p = .036$ ；7-9 年級與大學以上 $p < .001$)，其他組別間兩兩沒有差異。

以偵測歷程之穩定度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業偵測歷程之穩定度有年齡差異， $F = 25.56$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.07$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度低於其他各組 ($ps < .001$)，其他組別間兩兩沒有差異。

2. 動作歷程

以動作歷程之速度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業動作歷程之表現速度有年齡差異， $F = 44.89$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.11$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之反應時間慢於其他各組 ($ps < .001$)，7-9 年級組之反應時間慢於 10-12 年級組及大學以上組 (7-9 年級與 10-12 年級 $p = .003$ ；7-9 年級與大學以上 $p < .001$)，其他組別間兩兩沒有差異。

以動作歷程之穩定度指標進行年齡階段單因子變異數分析，結果發現：簡單反應時間作業動作歷程之穩定度有年齡差異， $F = 12.21$ ， $p < .001$ ， $\eta_p^2 = 0.03$ ，Tukey 事後比較發現 1-6 年級組之穩定度低於其他各組 (1-6 年級與 7-9 年級 $p = .002$ ；1-6 年級與 10-12 年級、大學以上 $ps < .001$)，7-9 年級組之穩

定度低於大學以上組 ($p = .038$)，其他組別間兩兩沒有差異。

二、再測信度

研究者將 49 位參與者間隔約六個月後，再次進行簡單反應時間作業及選擇反應時間作業，如表 4 所示。第一次簡單反應時間作業與第二次施測的相關為 .57， $p < .001$ ；第一次選擇反應時間作業與第二次施測的相關為 .73， $p < .001$ 。兩個作業均具有良好的再測信度。

三、效度檢驗

(一) 內部相關性

研究者以簡單反應時間作業與選擇反應時間作業的表現進行相關分析，結果發現兩個作業間有顯著正相關 ($r = .45$ ， $p < .001$)。此結果顯示處理速度作業具有良好的內部相關性。

(二) 效標關聯效度：學習成效與更新能力

本研究分別以學習成效與更新能力作為效標，如過往研究證據所述，處理速度愈快和更佳的學習成效與更好的更新能力有關。122 位參與者之簡單反應時間作業及選擇反應時間作業總歷程、偵測歷程及動作歷程與學習成效及更新能力之相關，如表 4 所示。資料顯示，不論作業及處理歷程的速度指標均與學習成效顯著相關，其相關落在 -.16 至 -.26 之間，處理速度愈快者的學習成效愈好。而以更新能力為效標時可以發現，無論作業與處理歷程，其速度指標與穩定度指標均與更新能力達顯著相關，其相關落在 -.12 至 -.31 之間，處理速度愈快、穩定度愈高者的更新能力也愈佳。上述證據顯示處理速度作業之效標關聯效度良好。

伍、綜合討論

處理速度為核心的認知能力之一，例如：Brown (2006) 的研究指出，執行功能模型中的主要成分 effort 即包含了處理速度；Marco 等人 (2012) 亦發現，處理速度可以解釋不同認知作業的表現變異。這些研究證據都彰顯了

表 4 處理速度作業之效標關聯效度

處理速度作業	歷程	指標	效標		
			文科學習成效	理科學習成效	更新能力
簡單反應時間作業	總歷程	速度	-.21*	-.18*	-.23***
		穩定度	—	—	-.14***
	偵測歷程	速度	-.18*	-.16*	-.23***
		穩定度	—	—	-.14***
	動作歷程	速度	-.21*	-.18*	-.21***
		穩定度	—	—	-.12**
選擇反應時間作業	總歷程	速度	-.22*	-.26**	-.29***
		穩定度	—	—	-.18***
	偵測歷程	速度	-.19*	-.26**	-.31***
		穩定度	—	—	-.25***
	動作歷程	速度	-.22*	-.25*	-.25***
		穩定度	—	—	-.13***

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

處理速度評估的重要性。然而，過去用以評估處理速度的方法眾多，難以將其結果直接比較（Deary & Der, 2005a; Der & Deary, 2006），且無論紙本版或電腦版都有其限制情境，參與者須嫻熟於握筆或電腦與滑鼠的操作方能正確施測，年幼或高齡者往往因其限制而無法使用。此外，據研究者所知，目前並無處理速度之臺灣常模可以供參考，因此本研究的主要目的即是要建立一套可供評估處理速度的作業。研究者利用平板的易用性及操作的直覺性設計簡單反應時間作業及選擇反應時間作業來評估處理速度，共募集 1,058 筆有效樣本，以此資料建立臺灣處理速度之常模及呈現處理速度之發展軌跡。本研究設計之處理速度作業有良好的再測信度。

在效度方面，此二作業間存在相關，具有內部相關性，與過去文獻的發現一致（Deary et al., 2011）；在校標關聯效度部分，研究者使用學習成效及更新能力作為效標，結果發現處理速度與學習表現呈現負相關，此發現複製了過去文獻中處理速度能有效預測智力（Deary et al., 2001; Jensen, 2006），並能夠進一步影響學習表現（Rindermann & Neubauer, 2004）的發現。以更新能力為效標時發現，處理速度與更新能力間存在顯著負相關，處理速度愈快者，更新能力愈佳。更新能力對於將訊息短暫維持在工作記憶中有著重要的

影響（Jaeggi et al., 2008; Karbach & Verhaeghen, 2014），其能夠動態地替換工作記憶中的訊息，故處理速度愈快，必定伴隨更好的更新能力，此結論在本研究中成功被複製。因此，本研究所設計之處理速度作業具良好的效標關聯效度。

本研究第二個重要的研究目的是要建置處理速度的本土化常模，並呈現其發展軌跡。研究者發現隨著年齡變化，處理速度逐漸變快，穩定度也逐漸上升，前述年齡階層相關分析的結果摘要如表 5 所示。有趣的是，在處理速度方面，研究者發現處理速度簡單反應時間作業與選擇反應時間作業在發展歷程上有差異：簡單反應時間作業的反應速度均發現 1-6 年級的反應時間最慢，而到了 7-9 年級後則漸趨穩定；選擇反應時間作業的反應速度均發現 1-6 年級的反應時間最慢，7-9 年級次之，10-12 年級後則漸趨穩定。這個發現展現了選擇反應時間作業較簡單反應時間作業新增的選擇歷程隨著年齡上升的變化。執行簡單反應時間作業時，參與者僅需偵測單一位置，而在選擇反應時間作業時，參與者需要從四個位置中進行正確的選擇，這個選擇歷程將使得選擇反應時間作業的處理速度較晚，方能趨於穩定。在穩定度方面，研究者大致上觀察到在 1-6 年級的穩定度最差，隨著年齡增加，穩定度會逐漸提升，到了 7-9 年級後會趨於穩定。在過去文獻中，關於處理速度隨著年齡變化的討論發現，處理速度從嬰兒期到 20 歲晚期會逐漸變快，接著到 50-60 歲之間會趨於穩定，並在 70 歲以後變慢（Der & Deary, 2006; Luchies et al., 2002）。在此議題中，多數的討論都集中在成年到高齡階段的變化上，Der 與 Deary（2006）的研究分析了 7,130 位參與者在簡單反應時間作業與選擇反應時間作業的資料，結果發現兩者確實隨著年齡有著不一樣的发展軌跡，簡單反應時間作業的表現到 40 歲以前都相對穩定，40 歲以後則隨著年紀增加而變慢；選擇反應時間作業的表現則在整個成年階段都逐漸變慢。在 Deary 與 Der（2005a）的縱貫追蹤研究中也有相似的發現：簡單反應時間約在 30 歲左右開始變慢，選擇反應時間作業的表現則在 20 多歲時即開始變慢。隨著年紀的增加，神經傳導速度變慢（Welford, 1980）、對反應的評估更趨謹慎（Botwinick & Thompson, 1966）、注意力聚焦範圍更窄（Redfern et al., 2002），都有可能造成反應時間延長。這些研究都使研究者對於簡單反應時間作業及選擇反應時間作業的發展軌跡更加了解，但對於學齡階段的討論相對較少，其參與者多半由成年階段開始到高齡階段。本研究則補足了這系列研究的缺口，研究者呈現了學齡階段的資料，延伸發現了在處理速度上，選

測驗學刊，第 71 輯第 4 期

擇反應時間作業相對於簡單反應時間作業需要更長時間方能達到最佳表現速度。此外，過去研究則發現此二作業穩定度會隨著年齡上升逐漸下降，但下降的時間點及趨勢相仿（Der & Deary, 2006）。本研究在穩定度部分的發現與此相呼應，兩個作業表現穩定度在相仿的時間趨於高點。

表 5 處理速度歷程與指標之年齡階層差異整理

處理速度作業	歷程	指標	年齡階層差異
簡單反應時間作業	總歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上 7-9 年級 > 大學以上
		穩定度	1-6 年級 < 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上 7-9 年級 < 大學以上
	偵測歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上 7-9 年級 > 大學以上
		穩定度	1-6 年級 < 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上 7-9 年級 < 大學以上
	動作歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上
		穩定度	1-6 年級 < 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上
選擇反應時間作業	總歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 > 10-12 年級 = 大學以上
		穩定度	1-6 年級 = 7-9 年級 < 10-12 年級 = 大學以上
	偵測歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 > 10-12 年級 = 大學以上
		穩定度	1-6 年級 < 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上
	動作歷程	處理速度	1-6 年級 > 7-9 年級 > 10-12 年級 = 大學以上
		穩定度	1-6 年級 < 7-9 年級 = 10-12 年級 = 大學以上 7-9 年級 < 大學以上

本研究之貢獻在於提供一個操作直觀的平板版本以評估處理速度，同時提供了簡單反應時間作業及選擇反應時間作業供選擇，使用者可針對使用目的與情境選擇合適的作業。在使用的便利度上，作業完成後，報表分析系統會自動進行資料篩選，計算正確率，產生兩個作業在總歷程、偵測歷程、動作歷程上的速度指標與穩定度指標。此外，因著研究者建立了本土常模資料，報表分析系統將會把受測者的資料對應到合適年齡階段的常模，並針對每個指標呈現相對應的 PR 值。這個結果將更直觀且更具實務應用性，後續可進一步針對其作業表現設計訓練方案，或者與其他認知表現、臨床症狀進行比較。

因著平板特殊的作業反應方式，使得本研究無論在簡單反應時間作業或選擇反應時間作業上的偵測反應時間均較一般電腦版的偏長（本研究的前者平均偵測時間為 472 毫秒，後者則為 480 毫秒）。過去簡單反應時間作業中的反應時間隨著使用刺激類型不同，約略落在 180 至 400 毫秒的區間中（Bugg et al., 2006; Welford, 1980; Woods et al., 2015），選擇反應時間則依據選擇刺激數量而異，每增加一個選擇約略增加 20 至 40 毫秒（Nickerson, 1972）。其主要原因有二：第一，可能是在平板的作業情境中，參與者需以「放掉預備鍵」作為反應，但在過去電腦版的處理速度作業中，多以「按下反應鍵」為反應方式。這個反應方式的差異可能致使結果略有差異。第二，過往的研究結果多是以成人為樣本所得，若只看大學以上階段的參與者資料，簡單反應時間作業及選擇反應時間作業的偵測時間分別為 381 毫秒及 415 毫秒，這個發現與過往文獻中的發現相仿。因此，整體平均速度偏慢主要可能來自低年齡層參與者的影響。

本研究提出以下建議及未來研究方向：第一，本研究所發展之處理速度作業以平板為主要載具所設計，雖在桌上型電腦或筆記型電腦上亦能使用 APP 模擬器進行，但因按鍵反應設計係為平板情境所設計，因此仍建議使用平板作為載具進行施測為佳。第二，本處理速度作業在開始前均有清楚的操作方式說明，但若欲採團體方式施測，尤其當受測者為年齡階段較小者時，仍建議有熟練作業之主試者在旁協助、說明，並觀察其受測狀況。第三，本研究以健康樣本為主，研究者及實務工作者可以依據學齡階段受測者的表現對應常模，會更了解受測者的狀況。尤其對於學齡階段特殊生的表現亦可與本常模對應，了解其狀況，以提供後續訓練計畫規劃的參考。唯目前常模的建立尚未擴及幼兒及高齡族群，未來將可考慮納入此二族群的表現資料，增加常模適用性更廣泛。第四，在本研究的主文中雖著重討論處理速度作業之速度指標與穩定度指標，但本研究所發展之報表計分系統仍會產出正確率指標以供使用者參考。正確率指標在健康樣本身上的可用性較低，但若受測者為幼兒、高齡者或特殊生，則有其參考意義與價值。第五，若未來研究或實務上選用本研究所發展之處理速度作業，建議可以將兩個作業的施測順序納入考量，以避免順序施測造成的練習效果。

測驗學刊，第 71 輯第 4 期

謝誌

本研究獲教育部核定的國立臺灣師範大學高等教育深耕計畫「學習科學
跨國頂尖研究中心」、「華語文科技研究中心」及「社會情緒教育與發展研
究中心」支持，特此感謝。

參考文獻

- Adam, J. J. (1999). Gender differences in choice reaction time: Evidence for differential strategies. *Ergonomics*, 42, 327-335. <https://doi.org/10.1080/001401399185685>
- Atkins, A. S., Tseng, T., Vaughan, A., Twamley, E. W., Harvey, P., Patterson, T., Narasimhan, M., & Keefe, R. S. E. (2017). Validation of the tablet-administered brief assessment of cognition (BAC App). *Schizophrenia Research*, 181, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.10.010>
- Balakrishnan, G., Uppinakudru, G., Girwar Singh, G., Bangera, S., Dutt Raghavendra, A., & Thangavel, D. (2014). A comparative study on visual choice reaction time for different colors in females. *Neurology Research International*, 301473. <https://doi.org/10.1155/2014/301473>
- Botwinick, J., & Thompson, L. W. (1966). Components of reaction time in relation to age and sex. *The Journal of Genetic Psychology*, 108, 175-183. <https://doi.org/10.1080/00221325.1966.10532776>
- Brown, S. W. (2006). Timing and executive function: Bidirectional interference between concurrent temporal production and randomization tasks. *Memory & Cognition*, 34, 1464-1471. <https://doi.org/10.3758/BF03195911>
- Bugg, J. M., Zook, N. A., DeLosh, E. L., Davalos, D. B., & Davis, H. P. (2006). Age differences in fluid intelligence: Contributions of general slowing and frontal decline. *Brain and Cognition*, 62, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.02.006>
- Cambridge Cognition Ltd. (2008). *CANTAB Topic: Test-retest reliabilities and detecting reliable change*. CANTAB Resources.
- Culbertson, W. C., & Zillmer, E. A. (1998). The Tower of London(DX): A standardized approach to assessing executive functioning in children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13(3), 285-301. <https://doi.org/10.1093/arclin/13.3.285>
- De Luca, C. R., & Leventer, R. J. (2011). Developmental trajectories of executive functions across the lifespan. In *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective* (pp. 23-56). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203837863>
- Deary, I. J. (1995). Auditory inspection time and intelligence: What is the direction of causation? *Developmental Psychology*, 31, 237-250. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.31.2.237>
- Deary, I. J., & Der, G. (2005a). Reaction time, age, and cognitive ability longitudinal findings from age 16 to 63 years in representative population samples. *Aging Neuropsych-*

- ology and Cognition*, 12, 187-215. <https://doi.org/10.1080/13825580590969235>
- Deary, I. J., & Der, G. (2005b). Reaction time explains IQ's association with death. *Psychological Science*, 16, 64-69. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00781.x>
- Deary, I. J., Der, G., & Ford, G. (2001). Reaction times and intelligence differences: A population-based cohort study. *Intelligence*, 29, 389-399. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00062-9)
- Deary, I. J., Liewald, D., & Nissan, J. (2011). A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*, 43, 258-268. <https://doi.org/10.3758/s13428-010-0024-1>
- Der, G., & Deary, I. J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21, 62-73. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.62>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Domen, A. C., van de Weijer, S. C., Jaspers, M. W., Denys, D., & Nieman, D. H. (2019). The validation of a new online cognitive assessment tool: The MyCognition Quotient. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 28(3), e1775. <https://doi.org/10.1002/mpr.1775>
- Donders, F. C. (1868). On the speed of mental processes (Trans. by W. G. Koster, 1969). *Acta Psychologica*, 30, 412-431. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(69\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(69)90065-1)
- Dykiert, D., Der, G., Starr, J. M., & Deary, I. J. (2012). Sex differences in reaction time mean and intraindividual variability across the life span. *Developmental Psychology*, 48, 1262-1276. <https://doi.org/10.1037/a0027550>
- Fozard, J. L., Vercruyssen, M., Reynolds, S. L., Hancock, P. A., & Quilter, R. E. (1994). Age differences and changes in reaction time: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 49, 179-189. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.4.P179>
- Fry, A. F., & Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 54, 1-34. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00051-X](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00051-X)
- Galton, F. (1890a). Mental tests and measurements. *Mind*, 15, 373-381.
- Gorus, E., De Raedt, R., Lambert, M., Lemper, J. C., & Mets, T. (2008). Reaction times and performance variability in normal aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 21, 204-218. <https://doi.org/10.1177/0891988708320973>

- Gualtieri, C. T., & Johnson, L. G. (2006). Reliability and validity of a computerized neurocognitive test battery, CNS vital signs. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(7), 623-643. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2006.05.007>
- Hackman, D. A., Gallop, R., Evans, G. W., & Farah, M. J. (2015). Socioeconomic status and executive function: Developmental trajectories and mediation. *Developmental Science*, 18, 686-702. <https://doi.org/10.1111/desc.12246>
- Hendry, A., Jones, E. J., & Charman, T. (2016). Executive function in the first three years of life: Precursors, predictors and patterns. *Developmental Review*, 42, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2016.06.005>
- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a “memory drum” theory of neuromotor reaction. *The Research Quarterly*, 31, 448-458. <https://doi.org/10.1080/10671188.1960.10762052>
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W. S., & Dixon, R. A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *Journal of Gerontology Psychological Sciences*, 57B, 101-105. <https://doi.org/10.1093/geronb/57.2.P101>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 6829-6833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801268105>
- JASP Team. (2023). *JASP* (Version 0.17) [Computer software].
- Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind: mental chronometry and individual differences*. Elsevier.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: A meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, 25, 2027-2037. <https://doi.org/10.1177/0956797614548725>
- Kibby, M. Y., & Cohen, M. J. (2008). Memory functioning in children with reading disabilities and/or attention deficit/hyperactivity disorder: A clinical investigation of their working memory and long-term memory functioning. *Child Neuropsychology*, 14, 525-546. <https://doi.org/10.1080/09297040701821752>
- Klapp, S. T. (2010). Comments on the classic Henry and Rogers (1960) paper on its 50th anniversary: resolving the issue of simple versus choice reaction time. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 81, 108-112. <https://doi.org/10.5641/027013610X13352775739198>
- Krieg Jr, E. F., Chrislip, D. W., Letz, R. E., Otto, D. A., Crespo, C. J., Brightwell, W. S., & Ehrenberg, R. L. (2001). Neurobehavioral test performance in the third National Health and Nutrition Examination Survey. *Neurotoxicology and Teratology*, 23, 569-589.

[https://doi.org/10.1016/S0892-0362\(01\)00177-5](https://doi.org/10.1016/S0892-0362(01)00177-5)

- Lajoie, Y., & Gallagher, S. P. (2004). Predicting falls within the elderly community: Comparison of postural sway, reaction time, the Berg balance scale and the Activities-specific Balance Confidence (ABC) scale for comparing fallers and non-fallers. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 38(1), 11-26. [https://doi.org/10.1016/s0167-4943\(03\)00082-7](https://doi.org/10.1016/s0167-4943(03)00082-7)
- Luce, R. D. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization* (No. 8). Oxford University Press.
- Luchies, C. W., Schiffman, J., Richards, L. G., Thompson, M. R., Bazuin, D., & DeYoung, A. J. (2002). Effects of age, step direction, and reaction condition on the ability to step quickly. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57, 246-249. [https://doi.org/10.1016/S0167-4943\(03\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0167-4943(03)00082-7)
- Madden, D. J. (2001). Speed and timing of behavioural processes. In J. E. Birren, & K. W. Schaie, (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (5th ed., pp. 288-312). Academic Press.
- Marco, E. J., Harrell, K. M., Brown, W. S., Hill, S. S., Jeremy, R. J., Kramer, J. H., Sherr, E. H., & Paul, L. K. (2012). Processing speed delays contribute to executive function deficits in individuals with agenesis of the corpus callosum. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(3), 521-529. <https://doi.org/10.1017/S1355617712000045>
- Mathey, F. J. (1976). Psychomotor performance and reaction speed in old age. In H. Thoma (Ed.), *Contributions to human development (Volume 3): Patterns of aging-Findings from the Bonn Longitudinal Study of Aging* (pp. 36-50). Karger.
- Nickerson, R. S. (1972). Binary-classification reaction time: A review of some studies of human information-processing capabilities. *Psychonomic Monograph Supplements*, 4, 275-318.
- Pollack, I., Johnson, L. B., & Knaff, P. R. (1959). Running memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 57, 137-146. <https://doi.org/10.1037/h0046137>
- Redfern, M. S., Müller, M. L., Jennings, J. R., & Furman, J. M. (2002). Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57, 298-303. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.8.B298>
- Reeves, D. L., Bleiberg, J., Roebuck-Spencer, T., Cernich, A. N., Schwab, K., Ivins, B., Salazar, A. M., Harvey, S. C., Brown, F. H., & Warden, D. (2006). Reference values for performance on the Automated Neuropsychological Assessment Metrics V3.0 in

- an active duty military sample. *Military Medicine*, 171, 982-994. <https://doi.org/10.7205/MILMED.171.10.982>
- Riddervold, I. S., Pedersen, G. F., Andersen, N. T., Pedersen, A. D., Andersen, J. B., Zachariae, R., Mølhave, L., Sigsgaard, T., & Kjærgaard, S. K. (2008). Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 29, 257-267. <https://doi.org/10.1002/bem.20388>
- Rindermann, H., & Neubauer, A. C. (2001). The influence of personality on three aspects of cognitive performance: Processing speed, intelligence and school performance. *Personality and Individual Differences*, 30, 829-842. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00076-3)
- Rindermann, H., & Neubauer, A. C. (2004). Processing speed, intelligence, creativity, and school performance: Testing of causal hypotheses using structural equation models. *Intelligence*, 32, 573-589. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2004.06.005>
- Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2, 179-183. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1991.tb00127.x>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403>
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35-54. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00052-1)
- Shipley, B. A., Der, G., Taylor, M. D., & Deary, I. J. (2006). Cognition and all-cause mortality across the entire adult age range: Health and lifestyle survey. *Psychosomatic Medicine*, 68, 17-24. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000195867.66643.0f>
- Swanson, L., & Kim, K. (2007). Working memory, short-term memory, and naming speed as predictors of children's mathematical performance. *Intelligence*, 35, 151-168. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.07.001>
- Ursache, A., Blair, C., & Raver, C. C. (2012). The promotion of self-regulation as a means of enhancing school readiness and early achievement in children at risk for school failure. *Child Development Perspectives*, 6, 122-128. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00209.x>
- Van Damme, S., & Crombez, G. (2009). Measuring attentional bias to threat in children and adolescents: A matter of speed? *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 40, 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2009.01.004>

- Van der Sluis, S., De Jong, P. F., & Van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427-449. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.09.001>
- Van Selst, M., & Jolicoeur, P. (1994). A solution to the effect of sample size on outlier elimination. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 47, 631-650. <https://doi.org/10.1080/14640749408401131>
- Vincent, A. S., Bleiberg, J., Yan, S., Ivins, B., Reeves, D. L., Schwab, K., Gilliland, K., Schlegel, R., & Warden, D. (2008). Reference data from the automated Neuropsychological Assessment Metrics for use in traumatic brain injury in an active duty military sample. *Military Medicine*, 173, 836-852. <https://doi.org/10.7205/MILMED.173.9.836>
- Vincent, A. S., Roebuck-Spencer, T., Gilliland, K., & Schlegel, R. (2012). Automated neuropsychological assessment metrics(v4)traumatic brain injury battery: Military normative data. *Military Medicine*, 177, 256-269. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-11-00289>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale* (4th ed.). Pearson.
- Welford, A. T. (1980). Choice reaction time: Basic concepts. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times* (pp. 73-128). Academic Press.
- Willoughby, M. T., Blair, C. B., Kuhn, L. J., & Magnus, B. E. (2018). The benefits of adding a brief measure of simple reaction time to the assessment of executive function skills in early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 170, 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.01.003>
- Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., & Reed, B. (2015). Factors influencing the latency of simple reaction time. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 131. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>