

國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系
教育心理學報，2011，42 卷，3 期，517-542 頁

以認知神經科學取向探討 兒童注意力的發展和學習之關聯*

林宜親

國立中央大學
認知與神經科學研究所
國立中央大學
學習與教學研究所

李冠慧

國立中央大學
認知與神經科學研究所

宋玟欣

國立中央大學
認知與神經科學研究所

柯華葳

國立中央大學
學習與教學研究所

曾志朗

國立中央大學
認知與神經科學研究所
陽明大學
認知神經科學實驗室
中央研究院
語言學研究所

洪 蘭

國立中央大學
認知與神經科學研究所
陽明大學
認知神經科學實驗室

阮啟弘

國立中央大學
認知與神經科學研究所
陽明大學
認知神經科學實驗室
國立中央大學
網路學習科技研究所

過去十年以來，在發展心理學與認知神經科學的領域，兒童的注意力及執行功能發展的研究已成為重要議題，從許多腦造影及認知神經科學之研究，提供了此領域新的發現及觀點，這些新的發現也促進了教育心理學與認知神經科學之整合。因此教師、教育心理學家、以及認知神經科學家之間的互動及溝通，對於推動此整合性的新興領域之發展及其可能之應用是絕對必要的。台灣在這一方面的研究尚未完備，在本回顧性的論文當中，將介紹現今對於兒童注意力研究之進展，以及未來之發展趨勢。期望有助於增進台灣不同領域研究者之間交流並激發出新的研究想法。

關鍵詞：注意力發展、認知神經科學、學習

* 1. 作者群感謝行政院國家科學委員會對於本研究的經費贊助（經費編號：97-2511-S-008-005-MY3, 96-2413-H-008-001-MY3, 98-2410-H-008-010-MY3, 97-2511-S-008-008-MY5）。

2. 本文通訊作者：阮啟弘，通訊方式 e-mail：chijuan@cc.ncu.edu.tw。

談到注意力功能與學習上的關聯時，大部分的老師與家長最常問到的是：「這個小孩有沒有注意力的問題？要怎麼增進注意力？」不可否認的，注意力與學習之間的確有很大的關聯。每天一張開雙眼，大量的視覺訊息便不斷湧入大腦，為了訊息處理的效率，以及避免大腦的過度負荷，注意力扮演一個過濾外在訊息進入高層認知歷程處理的角色。可以減弱對於不相關訊息的處理量，使人類專注於當下感興趣的訊息，以便認知系統做進一步的處理，例如物體辨識、閱讀學習和記憶形成等。若注意力發展的年齡成熟度無法滿足其實際年齡學習的需求，便可能導致兒童的學習表現落後。Cepeda 與其同事的研究也支持注意力不足或過動症（Attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD）的兒童，在注意力轉移的作業上，其正確率和反應時間都較一般孩童差（Cepeda, Cepeda, & Kramer, 2000），因為 ADHD 無法輕易地將注意力移轉並停留在當下要學習的事物上，因此造成學習效率的低落。兒童注意力的發展與學習息息相關，本文欲以認知神經科學的觀點，介紹注意力理論以及相關的作業典範，並探討注意力與學習的關聯。

本文主要分為三個主軸回顧過去注意力與學習相關的研究議題，第一部分將介紹注意力相關理論以及作業；第二部份整理兒童注意力發展的情形；第三部份介紹注意力功能對學習之影響，以及有關注意力訓練的應用研究。最後將總結本篇論述，並介紹現今國際研究趨勢與方向。本文簡要的介紹注意力與學習研究的現況與未來趨勢，並希望更多國內的研究者使用認知神經科學的研究取向進行相關研究，以建立台灣兒童注意力發展的曲線及適用的注意力改善方案。

一、注意力理論及實驗典範

（一）注意力理論

自 19 世紀注意力的研究開創以來，學者們便從許多不同的面向研究注意力功能，從早期過濾理論（Broadbent, 1954, 1958）的提出，認為注意力容量是有限制的，因此對於輸入訊息會有所選擇，訊息必須經過過濾器篩選之後再進行處理。後續的研究發現，注意力的選擇，並不是全有或全無的（Treisman, 1969）。至於選擇的階段是在知覺的層次（早期選擇理論）或是語意或動作開始前的層次（晚期選擇理論, Deutsch & Deutsch, 1963; Eriksen & Eriksen, 1974）在 70 與 80 的年代，有許多的爭論。後來的研究發現，選擇的階段與作業所需的知覺量（perceptual load; Lavie, 1995）有密切的關係。當作業所需的知覺量較高時，注意力選擇的階段會發生在知覺的層次（早期選擇），反之，若作業所需的知覺量較低時，注意力選擇的階段會發生在語意的層次，或甚至是在動作開始前的層次（晚期選擇）。這個理論也在最近幾年來，經由腦造影的研究，得到神經機制證據的支持（Lavie, 2005）。

美國學者 Posner 無論在注意力理論的發展，以及應用注意力理論在孩童發展與教育的研究上，皆扮演了一個領航者的角色。在 1970 年代認知心理學盛行之際，Posner 認為注意力功能並不是只有一種面向，應該包含不同面向，並且可能有不同之大腦機制以進行處理（Posner & Boies, 1971）。最早被提出的注意力網絡包含選擇（selection）及容量（capacity）之理論概念。之後演變為執行功能（executive function）、導向性（orienting）、及警覺性（alerting）。後續許多相關之神經解剖及腦造影的研究證據，更加支持人類注意力功能在大腦中的處理可視為一種注意力系統（attentional system）的論點。Posner 與其同事提出一個注意力網絡（attention networks）之架構（Posner & Petersen, 1990; Posner & Raichle, 1996），此系統包含三個網絡，分別處理不同面向的注意力功能，包含警覺性網絡（alerting network），導向性網絡（orienting network），以及執行功能網絡（executive control network）。Colombo（2001）整合過去的研究，提出一個視覺注意力的模型以

用於嬰兒發展之研究上。Colombo 的視覺注意力模型包含警覺性、空間導向 (spatial orienting)、對物體部件之注意力 (attention to object features)、以及內生性控制注意力 (endogenous control) (圖 1)。

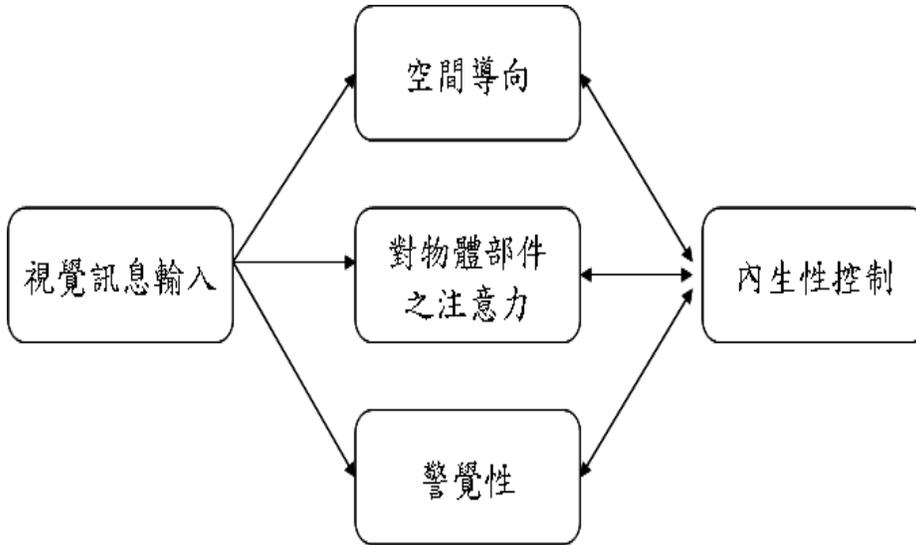


圖 1 Colombo 提出之視覺注意力架構 (改自 Colombo, 2001)

外界視覺訊息輸入之後，不同的注意力功能各司其職，警覺性系統能對輸入刺激保持在警醒狀態；空間導向及對物體部件之注意力能將注意力移轉至不同刺激上；較高階層之內生控制注意力負責監控調節上述功能。

綜合以上 Posner 與 Colombo 視覺注意力模型，以下將分別介紹警覺性、導向性、以及執行功能。警覺性網絡與維持在一個警醒狀態 (vigilance state) 並且隨時準備好去做出一個動作反應有關。而導向性網絡與在眾多刺激中選擇所要的資訊有關，包含對於空間注意力 (spatial attention) 的聚焦 (focusing)、釋出 (disengaging)、與轉移 (shifting) (Berger, Jones, Rothbart, & Posner, 2000)。它包含有伴隨著眼球運動之外顯注意力 (overt attention) 移轉，與沒有伴隨眼球運動的內隱注意力 (covert attention) 移轉。在日常生活中隨處可見導向性相關活動，例如將注意力聚焦到有興趣的事物上，或是當你聽見有人叫你的名字時，你會將注意力從當下在進行的活動中抽離並轉移到目標事物。執行功能與計畫 (planning)，例如目標導向行為 (goal-directed behavior)、目標偵測 (target detection)、錯誤偵測 (error detection)，以及工作記憶 (working memory)、衝突解決 (conflict resolution)、以及抑制控制 (inhibitory control) 有關。執行功能相較於前兩者，屬於較高階之認知功能，負責監控及調控所有訊息之處理。這三種網絡在大腦中以彼此獨立但互相聯繫的方式運作 (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002)。

由於本文使用許多有關注意力的專有名詞，而這些名詞所代表的心理及理論概念較為抽象，使用操作型定義可解決定義上模糊性，下文將先介紹幾個常用的執行功能作業，使用實驗作業解釋專有名詞的概念及意義，讓讀者了解所指稱的內涵為何。

(二) 評估兒童注意力功能之實驗典範

在認知心理學上，不同向度之注意力功能，例如警覺性注意力、導向性注意力、執行性注意力功能，各自從不同的作業典範 (paradigm) 來測量，以下將分別介紹幾個常用且重要的作業典範，主要包括兩大部分：其一為介紹作業的內容；另一為介紹受試者的實驗表現結果所代表的意涵，一般而言，認知心理學實驗通常以反應時間和正確率來測量受測者對此作業認知歷程的處理效能。針對不同的獨變項 (認知歷程或注意力功能)，使用實驗的操弄，以得到受試者不同的反應時間或正確率，進而使用相減法則 (subtraction method) (Donders, 1969; Posner and Raichle, 1996)，以求出不同的認知歷程或注意力功能的量化分數。類似的方法與原則也適用於認知神經科學或腦造影之研究。

1. 注意力網絡作業

Fan 等人 (2002) 結合 Posner 線索典範 (cuing paradigm, 圖 2a) (Posner, 1980) 以及旁側抑制作業 (flanker task, 圖 3c) (Eriksen & Eriksen, 1974)，發展出注意力網絡作業 (Attention Network Test, ANT)，此作業的優點之一是在一個作業當中使用實驗的操弄，同時得到警覺、導向、執行功能網絡分數，用以測量三種注意力功能之效能。簡言之，它利用不同線索的有效度 (cue validity) 及目標物與干擾物之間的相容狀況 (congruency) 得到不同的反應時間，並用相減法則，求出三種注意力之分數。之後 Rueda 等人 (2004) 將注意力網絡作業發展為適用於兒童之版本，在兒童版之注意力網絡作業中，以卡通魚之圖案代替箭頭，並且加入聲音的回饋。在按鍵反應之後會有聲響提示受試者答對與否，兒童版本之注意力網絡作業程序如圖 3 (d) 所示。

圖 2 (a) 為 Posner 線索典範，在目標出現之前會呈現一個線索 (cue) 告知受試者之後目標可能出現之位置，受試者眼睛須專注於螢幕中央之凝視點，看到目標出現時盡快按下指定的按鍵反應。在此作業中通常包含兩種類型之嘗試：有線索嘗試 (cued trial)，以及無線索嘗試 (uncued trial) 或是中性嘗試 (neutral trial)。有線索嘗試 (cued trial) 又分為有效之線索嘗試 (valid cue trial) 及無效之線索嘗試 (invalid cue trial)。當線索為有效線索時，由於受試者已經將注意力放至線索提示空間位置上，相較於無效線索之情況，受試者按鍵之反應時間較快，錯誤率較低。圖 2(b) 為 Posner 線索典範中，不同線索的效果量。

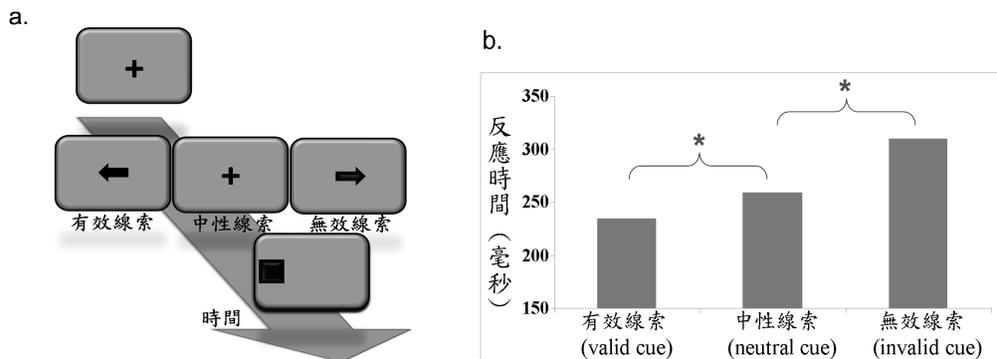


圖 2 Posner 線索典範與效果量 (改自 Posner, 1980)

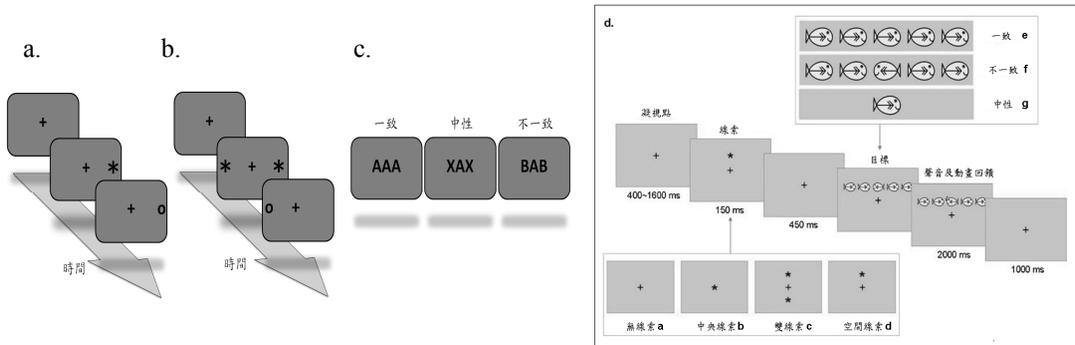
當線索提示的位置與最後目標出現的位置是一致時，為有效線索；反之，當線索與目標出現的位置不一致時，為無效線索；若線索僅出現在中央並無預測性，為中性線索。圖 2(b) 所示，不

同線索之間的效果量達統計上顯著之差異。當線索為有效時，與中性情況所得的時間差異，稱之為增益 (benefits)；反之，當線索為無效時，與中性情況所得的時間差異，稱之為損失 (costs)。

注意力網絡作業程序中的另一個作業是旁側抑制作業 (Eriksen & Eriksen, 1974)。圖 3 (c) 所示之旁側抑制作業，它是最常被用來評估執行功能的作業之一，在此作業中，於螢幕中央呈現三個字母，中間的字母為目標物。例如 A 用左手，B 用右手，受試者被指示要分別對“A”與“B”做對應之按鍵反應。在此作業當中含有三種不同的情況，當三個字母皆為“A”或是“B”時，是一致情況 (congruent condition)，如：“AAA”或“BBB”。若中間目標字母旁伴隨的是除了 A 與 B 以外的其他字母，為中性情況 (neutral condition)，如：“XAX”或“XBX”。若中間目標字母旁伴隨的字母，是受試者需要做按鍵反應但卻異於中間的字母時，則為不一致情況 (incongruent condition)，如：“BAB”或“ABA”。受試者之按鍵反應時間最短至最長排列分別為 $RT_{一致} < RT_{中性} < RT_{不一致}$ ，錯誤率最低至最高排列為 $ER_{一致} < ER_{中性} < ER_{不一致}$ ，這是由於在不一致的情況下，受試者之“A”與“B”動作反應產生衝突，認知系統須有一段的時間以解決衝突，以致於反應時間最長。

結合 Posner 線索典範及旁側抑制作業的注意力網絡作業程序，在作業一開始會出現凝視點，凝視點之後會出現線索提示，線索提示的畫面中有四種不同情況：1. 沒有任何線索提示受試者 (無線索狀況，圖 3d- (a))。2. 線索提示出現在中間凝視點位置，它只提供受試者目標即將出現的線索，並無提供目標空間位置之線索 (中央線索狀況，圖 3d- (b))。3. 線索提示同時出現在凝視點上下方目標可能會出現之位置上，除了提供時間上的訊息外，並且也提供目標可能的空間位置訊息 (雙線索狀況，圖 3d- (c))。4. 線索提示出現在之後目標會出現的方位，在這個情況下，由於線索是 100% 有效的線索，因此提供了最完整的訊息，包含時間訊息以及確切之空間位置訊息 (空間線索狀況，圖 3d- (d))。目標刺激在線索提示出現之後出現，在這個時候，受試者必須對五個箭頭出現位置中間之目標刺激，也就是凝視點正上方或是正下方的箭頭方向作判斷，並且做出對應之按鍵反應。在目標呈現的畫面中包含三種目標情況，分別是箭頭方向皆是向右或是向左之一致情況 (一致情況，圖 3d- (e))、最中間之箭頭方向與其他箭頭方向是相反之情況 (不一致情況，圖 3d- (f))，也就是中間箭頭方向向右 (左)，其餘箭頭方向向左 (右)、以及只出現最中間的方向箭頭，兩旁沒有其他方向箭頭之情況 (中性情況，圖 3d- (g))。

在此作業中，藉由操弄不同的線索情況以及目標情況之按鍵反應時間長短不同，各種狀況相減之後，可分別得到警覺性分數、導向性分數、以及衝突分數三個分數，分別用來代表三個注意力網絡之效能 (圖 3e)。1. 警覺性分數：將沒有任何線索提示情況下的平均反應時間 (無線索狀況，圖 3d- (a)) 減掉線索提示同時出現在上下方情況 (雙線索狀況，圖 3d- (c)) 的平均反應時間，藉著時序上的差異，可以得到警覺性分數 ($alerting\ score = RT_{無線索} - RT_{雙線索}$)。2. 導向性分數：將提示線索出現在中間情況下 (中央線索狀況，圖 3d- (b)) 的平均反應時間減掉線索提示出現在之後目標會出現的方位情況下 (空間線索狀況，圖 3d- (d)) 的平均反應時間，藉空間位置之差異，可以得到導向性分數 ($orienting\ score = RT_{中央線索} - RT_{空間線索}$)。3. 衝突分數：將目標情況中不一致情況下的平均反應時間減掉一致情況下的平均反應時間可以得到衝突分數 ($conflict\ score = RT_{不一致} - RT_{一致}$)。Rueda 等人 (2004) 的研究比較 6 至 10 歲以及成人注意力網絡分數的表現，結果顯示於圖 4，導向性網絡分數隨著年齡增加沒有改變。警覺性網絡分數在十歲之前沒有太大的變化，從十歲至成人階段觀察到顯著下降的趨勢。由於警覺性分數是無線索之反應時間減去雙線索之反應時間 (見圖 3e)，推測年紀較小的兒童在無線索時較無法將注意力維持在警覺狀態，因此有較長的反應時間。衝突解決分數在 6 至 7 歲時有顯著下降的趨勢，顯示衝突解決能力在這個階段有較大的發展。



e.	注意力網絡分數	計算方式
	警覺性分數	無線索狀況 (a) - 雙線索狀況 (c)
	導向性分數	中央線索狀況 (b) - 空間線索狀況 (d)
	執行功能分數	不一致情況 (f) - 一致情況 (e)

圖 3 對應三個注意力網絡功能之認知作業

圖 a 為導向性作業；圖 b 為警覺性作業；圖 c 為旁側抑制作業；圖 d 為結合以上三種作業於一注意力網絡作業中（改自 Rueda et al., 2004）；圖 e 為三種注意力網絡分數計算方式。

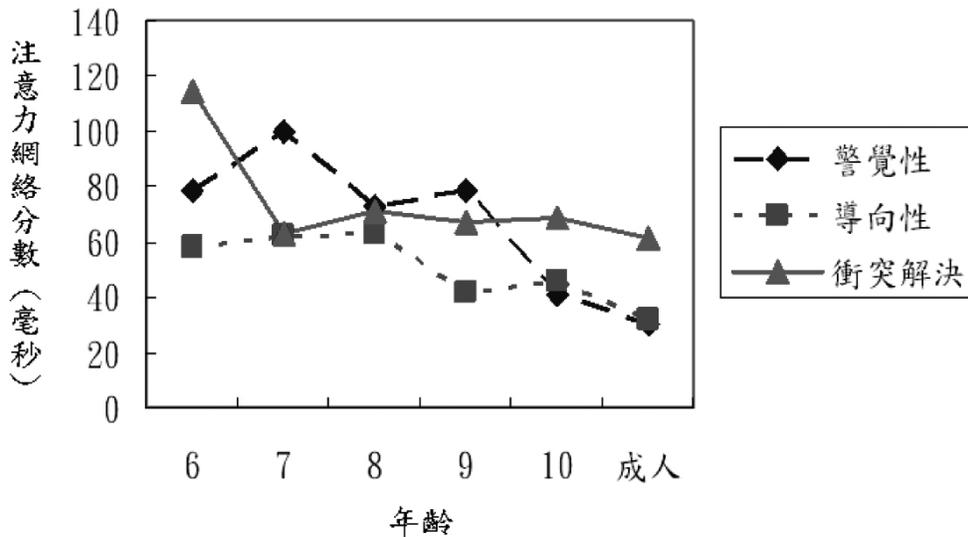


圖 4 注意力網絡發展趨勢（以 Rueda et al., 2004 資料繪製）

Rueda 等學者的研究中，以兒童版注意力網絡作業探討注意力網絡發展情形，年齡層包括六歲至十歲兒童以及成人，結果顯示警覺性網絡發展至十歲後呈現穩定狀態；導向性網絡則無觀察到明顯的變化；衝突解決網絡發展從七歲之後呈現穩定狀態。

另外 Gerardi-Caulton (2000) 亦使用空間衝突作業 (spatial conflict task) 研究 2 歲、2 歲半、及 3 歲兒童之衝突解決能力。實驗過程中，在螢幕右上角或左上角會呈現星星或是月亮之圖案，而星星之反應按鍵位於受試者左方；月亮之反應按鍵位於受試者右方，受試者被指示要做出與螢幕呈現圖案相同之按鍵反應。此時會產生兩種情況，當螢幕出現圖案與按鍵反應位於同一側時，例如星星 (月亮) 圖案出現於螢幕左 (右) 方，此時為相容 (compatible) 情況；反之當螢幕出現圖案與按鍵反應位於對側時，例如星星 (月亮) 圖案出現於螢幕右 (左) 方，此時為不相容 (incompatible) 情況。結果顯示隨著年齡增加，反應時間會隨之減少，正確率也會隨之增加，且不相容情況與相容情況相減之差異也隨之減小 (圖 5)，顯示衝突解決能力的進步。

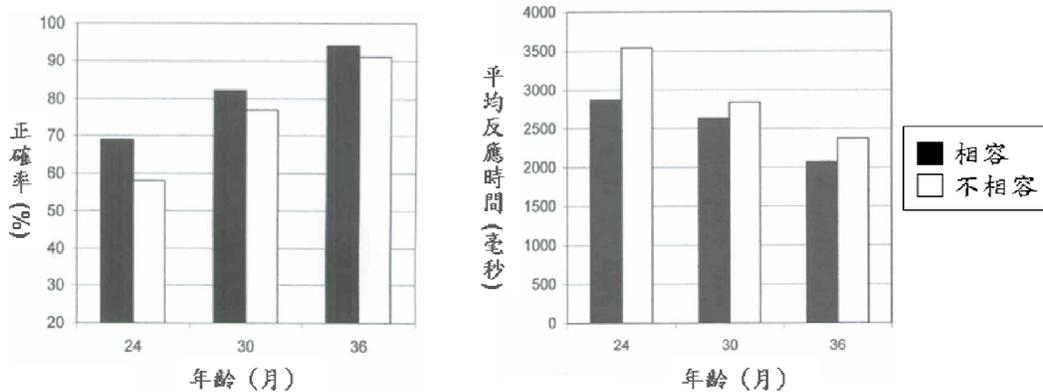


圖 5 空間衝突作業之實驗結果

在空間衝突作業中，可以看到三個年齡層 (2~3 歲) 兒童在相容情況中相較於不相容之情況之正確率較高、反應時間較快；並且隨著年齡增加，衝突解決之表現也越好 (改自 Gerardi-Caulton, 2000)。

前述提到，許多相關之神經解剖及腦造影的研究證據支持 Posner 與其同事提出注意力網絡的論點，三種注意力網絡在大腦中各有其對應的神經網絡進行處理 (見圖 6)，以功能性核磁共振造影 (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) 掃描受試者從事注意力網絡作業時，警覺性網絡激發的腦區位於丘腦 (thalamus) (Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum, & Posner, 2005)。另外當受試者需要保持注意力在警醒狀態時，在大腦中的額葉 (frontal) 與頂葉 (parietal) 區域會產生激發 (Robertson & Garavan, 2004; Fan et al., 2005)。導向性網絡主要是與所謂背側 (dorsal) 與腹側 (ventral) 注意力系統有關，包含頂葉上部 (superior parietal lobe)、顳頂葉聯合區 (temporal parietal junction)、上丘 (superior colliculus)、以及額葉眼動區 (frontal eye fields, FEF) (Corbetta, 1998; Corbetta & Shulman, 2002; Fan et al., 2005)。而執行功能網絡較常使用衝突解決作業來探究，過去研究多以叫色作業 (Stroop task) 以及旁側抑制作業來量測其激發的相關腦區，主要活化區域位於前扣帶 (anterior cingulate cortex, ACC) 與外側前額葉 (lateral prefrontal cortex) (Bush, Luu, & Posner, 2000; Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Fan et al., 2005)。

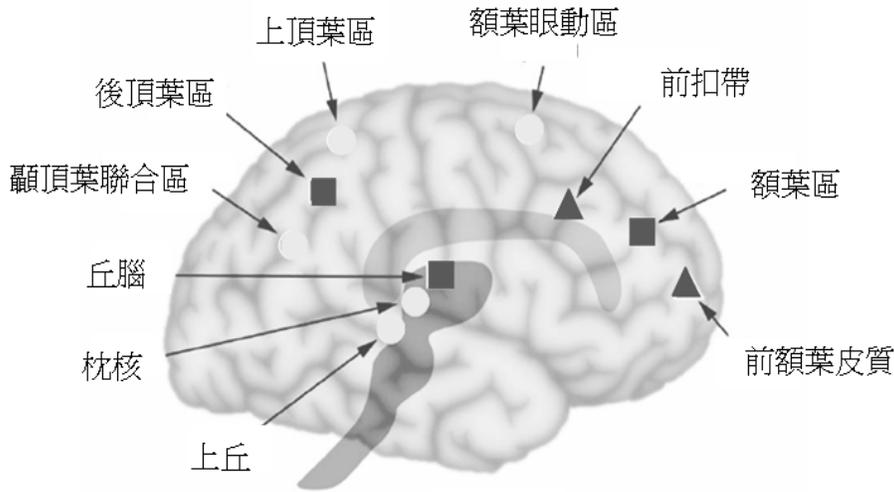


圖 6 三個注意力網絡相關腦區分佈區

正方形圖示代表警覺性網絡；圓形圖示代表導向性網絡；三角形圖示代表執行功能網絡。改自：Posner 與 Rothbart (2007) “*Educating the Human Brain.*”

一般而言，學者認為抑制能力可再進一步細分，上述介紹之旁側抑制作業，測量衝突解決的能力，可視為其中一種抑制能力，主要將注意力放在所專注的訊息處理上，並且排除對不相干訊息可能產生的干擾。除了衝突解決能力之外，動作反應抑制的能力，亦是常見的抑制能力之一。以下將介紹測量此能力的停止信號作業（stop-signal task）。

2. 衝動控制作業

衝動抑制控制的例子在生活中隨處可見。例如在等紅綠燈時，綠燈亮了，此時駕駛欲大踩油門往前衝，若在踏油門之前突然跑出一個行人，此時駕駛便要即時抑制住原本踩油門之衝動，以便對這突來的狀況做出合適的反應。或是棒球打者準備對投手投球做出揮棒的動作，但是就在揮棒前，突然回心轉意，覺得這個球是個壞球，這時候便要停止原本要揮棒之動作。當然每次衝動抑制不見得都來得及，所以在棒球場上，常看到打者揮棒超過一半而無法及時縮回來，而冤枉的被記上一記好球。衝動抑制能力的好壞差別可能只有幾十毫秒，但是所產生的結果卻可能差異很大。Logan (1994) 認為停止（stopping）是將行為重新導向新目標之第一步，而這個過程需要認知控制之介入。而停止信號典範為最常被用來研究停止行為之作業，在停止信號作業中，包含動作反應作業與停止動作反應作業（如圖 7 所示）。動作反應作業通常是視覺選擇反應時間作業（visual choice reaction time task），例如對出現於螢幕右邊之刺激以右手做按鍵反應，以及對出現於螢幕左邊之刺激以左手做按鍵反應，在從事動作反應作業時偶爾會出現停止信號，通常是一聲音提示告訴受試者停止主要作業，此為停止動作反應作業。從停止信號作業得到受試者動作反應時間，以及在不同信號延遲時間之下所產生抑制成功或失敗的比率，可進一步推算出停止信號反應時間（stop signal reaction time, SSRT）（見圖 8），也就是當停止信號出現時，抑制住準備要做出的反應所需之時間，抑制所需時間愈短代表抑制控制能力愈好。

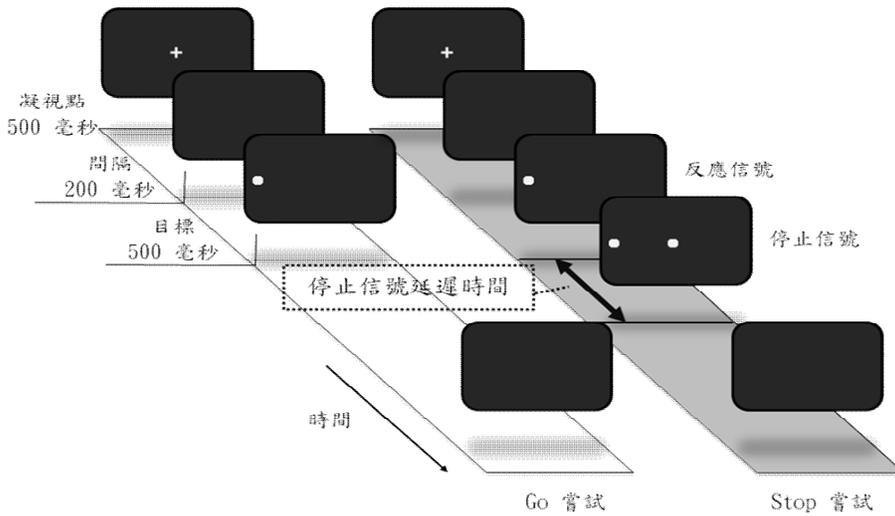


圖 7 停止信號作業

在停止信號作業中，包含動作反應作業（Go 嘗試）以及停止動作反應作業（Stop 嘗試）。當出現反應信號時受試者必須做對應之按鍵反應，在 25% 比例的嘗試中，反應信號出現之後會跟著出現停止信號，此時受試者必須抑制原本要做之動作反應。在 stop 嘗試中，停止信號與反應信號出現之時間差稱為停止信號出現延遲時間（stop signal delay, SSD），當延遲的時間越長，受試者將越難成功抑制按鍵反應；反之，延遲的時間越短，受試者便有較高的機率可以成功抑制反應。此延遲時間會隨著受試者抑制停止信號的成功或失敗而有所增減，最終找到每個受試者成功與失敗抑制各佔百分之五十的情況時，停止信號出現的延遲時間。將其在 go 嘗試中之平均反應時間減去最終停止信號出現延遲時間，即可求出停止信號反應時間（SSRT），用此作為評估抑制控制能力之指標（Band, Molen, & Logan, 2003; Chen, Muggleton, Tzeng, Hung, & Juan, 2008; Logan & Cowan, 1984; Logan, 1994）。

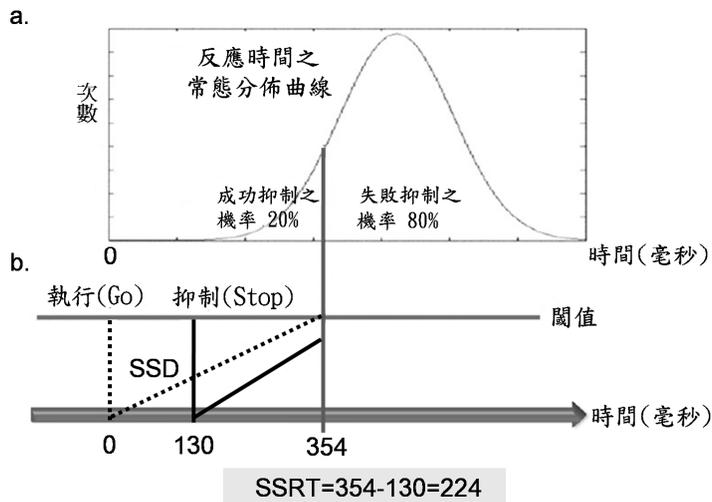


圖 8 SSRT 的計算方式（改自 Chen et al., 2008）

進行停止信號作業時，在動作反應部份 (go trial)，每次按鍵的反應時間不一，每個受試者所有之按鍵反應時間可以形成圖 8 a. 的常態分布。但若停止信號 (stop signal) 出現，假設受試者成功的抑制此嘗試次的動作反應，如何計算出他需要花多久時間才能去停止即將作出之動作反應 (SSRT)？Logan & Cowan (1984) 提出賽馬模型理論 (horse-race model)，在有停止訊號出現的嘗試中，動作執行 (go) 和動作抑制 (stop) 為兩條相互競爭的路線。當其中一群神經元率先抵達其反應的閾值，便會造成不同的結果，如圖 8 b. 中，動作執行 (虛線) 比動作抑制 (實線) 率先抵達反應閾值，故此題的反應結果為失敗抑制。求出受試者失敗抑制的比例之後，用此比例在動作反應時間的常態分布中反推出受試者的反應時間，如圖 8 b. 中的 354 毫秒，扣掉實驗操弄的停止信號出現延遲時間 (SSD)=130 毫秒，剩下的便是受試者抑制一個信號所需的反應時間 (SSRT)=224 毫秒。Tillman、Thorell、Brocki 與 Bohlin (2008) 以停止信號作業研究 525 位 4 至 12 歲兒童停止信號所需的反應時間，結果兒童的 SSRT 會隨著年齡發展而有顯著地下降 (圖 9)。

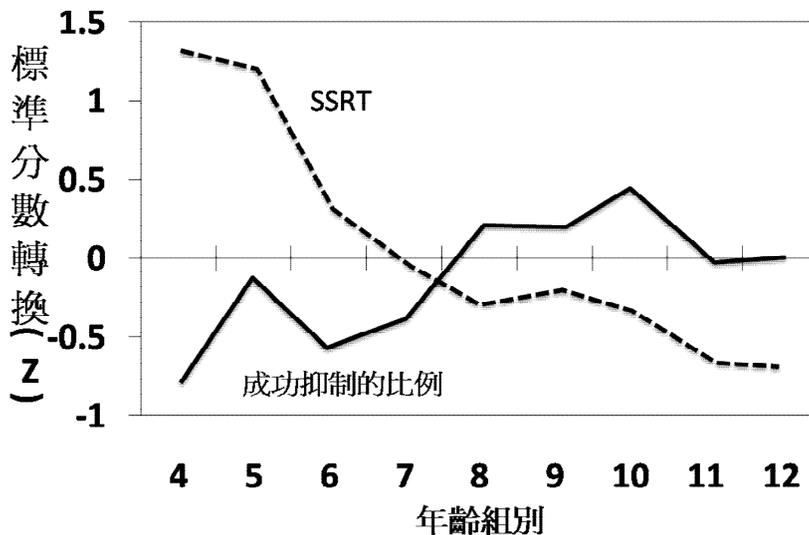


圖 9 SSRT 發展曲線 (改自 Tillman et al., 2008)

在圖 9 中，虛線為 SSRT，分數越低代表兒童的抑制表現越好。實線為成功抑制的比例，兒童隨年齡的增長，成功抑制的比例也會越來越高。以上圖 SSRT 為例，z 分數 = (各組別的 SSRT - 全部組別的 SSRT) / 全部組別的標準差。SSRT 的 z 分數隨發展由正值變成負值，代表學齡前階段兒童的 SSRT 高於平均，故相減後的 z 分數為正值，直到國小階段後，兒童的 SSRT 才低於平均，故相減後 z 分數為負值，顯示學齡前兒童比國小階段兒童需較長的時間停止動作反應。

從腦電波、核磁共振造影及跨顱磁刺激之研究顯示，與動作抑制有關之腦區主要位於額葉區，其中包含右側下額葉皮質 (right inferior frontal cortex, rIFC) (Aron, Robbins, & Poldrack, 2004; Aron & Poldrack, 2005, 2006; Chambers et al., 2006)，從右側下額葉皮質損傷之病人研究，也顯示此區受損與動作抑制控制能力的缺損有關 (Aron, Fletcher, Bullmore, Sahakian, & Robbins, 2003)，以及額葉眼動區 (Hanes & Schall, 1996; Muggleton, Chen, Tzeng, Hung, & Juan, 2009)、輔助眼動區 (Stuphorn, Taylor, & Schall, 2000; Stuphorn & Schall, 2006)、前扣帶 (Ito, Stuphorn, Brown, & Schall,

2003; Chevrier, Noseworthy, Schachar, & Sinha, 2007)、前額葉輔助運動區 (pre-supplementary motor area, Pre-SMA,) (Li, Huang, & Constable, 2006; Chen et al., 2008)。

以上是與注意力和執行功能最常用的實驗典範，早期學者們發展出這些作業時，研究之對象主要為動物實驗以及成人實驗，經過長期累積的研究建立起穩定且有效的典範，隨後也開始把這些作業用於研究兒童認知功能的發展上，同時也用來比較正常發展以及發展缺陷兩個族群的表現差異，從作業反應時間以及錯誤率等指標可以觀察兩個族群在不同作業表現上之差異。藉由這樣的比較方式，可以得知發展缺陷兒童是在哪些認知功能上產生問題。本論文強調抑制能力的原因之一，便是因為很多常見的發展疾病都有抑制能力缺損的問題，注意力不足既過動症為常見發展疾病之一，Swanson 等人 (1998) 的研究指出 ADHD 族群展現注意力網絡之缺損，尤其是在警覺性網絡以及執行功能網絡。Johnson 等人 (2008) 以前述兒童注意力網絡測驗來測量正常兒童與 ADHD，結果顯示 ADHD 兒童在警覺性網絡表現上觀察到較高的錯誤率；在衝突解決作業表現上則觀察到較長之衝突分數及較高之錯誤率。Schachar、Tannock、Marriott 與 Logan (1995) 探討 ADHD 兒童在抑制控制上的缺損，實驗比較年齡在 7~11 歲，平均 IQ 為 107 之 33 名 ADHD 兒童與 22 名正常兒童，實驗使用停止信號作業來評估抑制控制能力，結果發現 ADHD 組兒童在抑制功能的表現上比正常兒童組差。Armstrong 與 Munoz (2003) 使用眼動方式之停止信號作業也發現 ADHD 組相較於控制組表現出更多衝動眼動情形。也有研究指出工作記憶的缺損為 ADHD 族群主要症狀之一 (Barkley, 1997; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002)。上述研究顯示 ADHD 兒童似乎是執行功能產生問題，執行功能對兒童學習複雜技能是重要之功能。這一部分將會在第四部份做進一步探討，接下來第三部份將先介紹注意力功能之發展。

二、兒童注意力之發展情況

嬰兒出生後，隨著視覺的神經通路逐漸成熟，視覺注意力便開始發展。在人類視覺相關的生理發展上，剛出生的嬰兒，主要是以跳視 (saccade) 的方式，去注意一個會動的物體。在三個月大後，負責眼睛動作計劃和視覺搜尋的額葉眼動區開始發展，此區域樹狀突 (dendrites) 的生長和髓鞘 (myelin) 的包裹，使嬰兒增加了預期眼動的能力，此時逐漸可以預測物體移動的方向 (Johnson, 1997/2001; Johnson, 1997)。奠基在神經生理的研究上，學者 Ruff 與 Rothbart (1996) 提出注意力的發展大致可分成兩個系統，包括：導向性注意力系統，以及更高階的執行功能系統。

(一) 導向性注意力系統的發展

嬰兒在一歲之前，已開始發展導向性注意力系統，此注意力系統由嬰兒對外界環境的新奇感所產生。嬰兒會被新奇的事物所吸引，直到對同樣刺激習慣化 (habituation) 後，再轉移注意到其他更新出現的刺激，行為上可用頭的轉動導向刺激物或對刺激物的凝視時間，甚至是心跳速率 (圖 10) 來測量嬰兒注意力，並推估其發展的狀況。回顧 Johnson 以及 Posner 等人的文獻，大致而言，嬰兒約 2~4 個月便發展出將注意力導向周邊物體且投注 (engagement) 在目標物的能力，大約出生 4 個月後，才逐漸能抽離原本的注意力位置 (disengagement)，並將目光重新導向新的周邊刺激物，此為轉移性注意力 (shifting attention) (Rothbart & Posner, 2001)。隨著嬰兒眼動控制的日趨成熟，逐漸發展出內隱性的轉移性注意力及持續性注意力 (sustained attention)，此時嬰兒逐漸可以持續的注意物體，暫時不會被旁邊不相干的物體干擾。

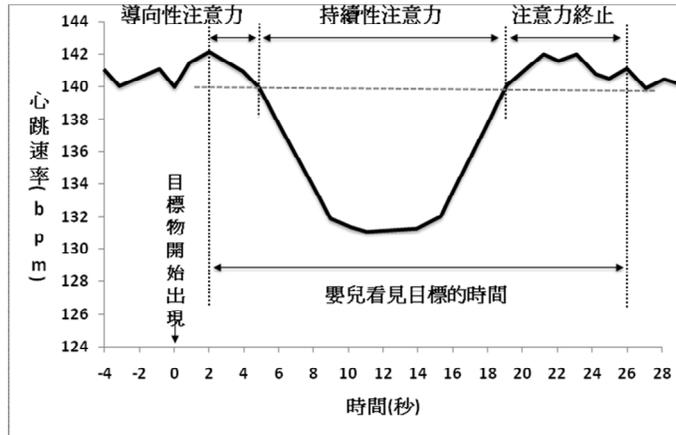


圖 10 以心跳速率來觀察嬰兒看物體的維持性注意力 (改自 Colombo, 2002)

監控嬰兒看物體時之心跳速率，其視覺注意力可分三階段：

1. 導向：反應出嬰兒多快能注意到目標物，為注意力投注的時期；
2. 持續性注意力：為嬰兒看目標物時，心跳速率的減速期；
3. 注意力終止：心跳速率減速期的終點，為注意力從原本的投注轉換為注意力釋出的時期。

(二) 執行功能注意力系統的發展

學齡前階段是執行功能主要的發展時期 (Rueda et al., 2004)。學者 Anderson (2002) 提出一個執行功能的模型 (圖 11)，認為此種能力可分成四大類，包括：1) 注意力的控制，兒童需要選擇性地將注意力放在重要的認知活動上，同時抑制掉不必要的分心物或吵雜聲等干擾。若注意力的控制不好，便容易有衝動控制不佳的行為表現；2) 訊息的處理，隨著年齡發展，兒童的口語表達流暢度和對外界人事物的反應速度都會進步；3) 認知的靈活度，兒童是否能根據當下的錯誤經驗即時去修正自己的行為，以適應新環境的挑戰。若認知的靈活性不夠，便容易有固著行為出現；4) 目標的設定，執行一個動作計畫和概念的推理。

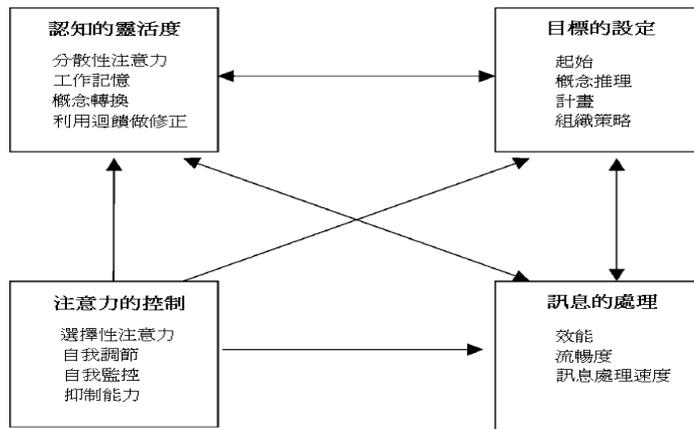


圖 11 執行功能模型 (改自 Anderson, 2002)

執行功能模型包含四大向度：1) 注意力的控制；2) 訊息的處理；3) 認知的靈活度；4) 目標的設定。後三項彼此之間有交互作用（雙向箭頭），人類會需要同時運用此三項能力來執行一個行為表現；而第一項注意力的控制是最早發展出來的能力，注意力控制的好壞會直接影響到後三項的能力表現（單向箭頭），故其中的選擇性注意力、自我調節、自我監控和抑制能力尤其重要。

這四項能力在兒童時期會快速地成長，直到成人時期額葉發展成熟後才趨向完善，每一種能力都有不同的發展曲線。Anderson（2002）以執行功能模型，推估出四大向度的發展曲線。大致上，從圖 12 可以看到 4~7 歲為執行功能發展的劇烈變化期，包括孩童注意力控制的抑制能力、訊息處理的速度和流暢度、在不同作業間轉換的彈性、以及簡單的動作計劃能力，都在學齡前階段有重要地成長。

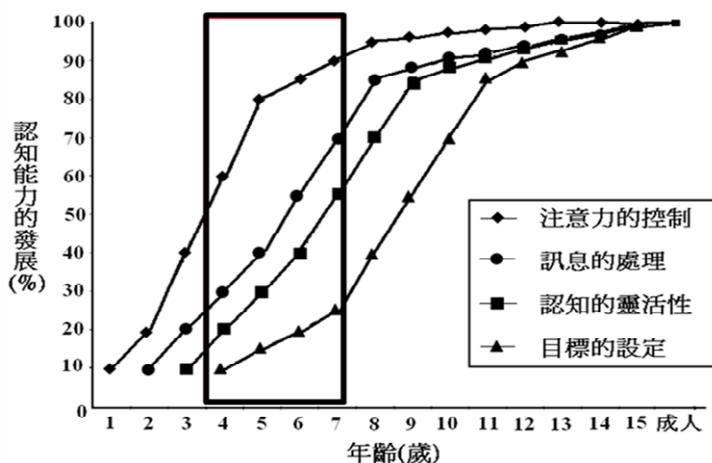


圖 12 四種執行功能的發展曲線（改自 Anderson, 2002）

（三）孩童發展的敏感期及神經可塑性

出生後人類的大腦主要依賴神經元的突觸、樹狀突和神經纖維的繼續生長，讓腦部的神經網絡交織的越密集，當神經網絡交織的越密集，不同腦區間的訊息傳遞和訊息處理便越有效率。此外，神經纖維外面包的一層髓鞘也能讓訊息傳遞的更有效率。當突觸密度增加到一定程度後，會進行突觸的修剪，它反應的是當孩童能力達到某種程度後，因為經驗的累積和熟稔，同樣的活動可能需要比較少的心智努力。突觸的增加和修剪的速度不一，但它們之間的重組和連接受到後天環境經驗的影響。學習或給與孩童環境刺激的重點，便在於刺激神經纖維和突觸的生長和重組。學者 Huttenlocher 認為突觸的大量生長和孩童大腦的可塑性有很重要的關係（Johnson, 1997/2001, Huttenlocher, 1990）。

學者 Chugani（1998）研究不同腦部區域的葡萄糖代謝變化，發現從出生後第一年大腦的新陳代謝率會急速增加，直到 4~7 歲為最高期，此時兒童大腦皮質的葡萄糖需求量為成人的兩倍，4 歲至 10 歲之間，大腦維持極高的比例需要持續較多的養分供給，直到青少年期 16 至 18 歲代謝量才逐漸下降至與成人相同。此研究顯示學齡前階段為大腦認知學習的敏感期。

另一方面，注意力功能，尤其是執行功能，雖具有高遺傳性（Fan, Fossella, & Posner, 2001）。基因與行為對應之研究指出某些基因，例如多巴胺 D4 受體（Dopamine D4 receptor, DRD4）、多巴胺輸送子（Dopamine transporter, DAT1）、兒茶酚胺氧位甲基轉移酶（Catecholamine-O-methyl transferase, COMT）、單胺氧化酶（Monoamine oxidase, MAOA）等與注意力功能有關（Fossella et al.,

2002; Fan, Fossella, Summer, & Posner, 2003)。但是目前已有研究指出，即使注意力功能受到先天之影響，但後天的介入能改善其效能。學者 Rueda、Rothbart、McCandliss、Saccomanno 與 Posner (2005) 的研究，顯示出注意力發展的可塑性，實驗之腦波證據指出，學齡前孩童經過注意力訓練之後，相較於未經訓練之孩童在前額葉區及額葉頂區產生的腦波，展現出與成人較為類似之型態。注意力訓練的研究顯示，即使執行功能受到先天上基因之影響，但是經由後天教育介入是可以增加它的效率的。雖然基因、神經網絡和行為表現之間是環環相扣的，但一個環節的改變有可能影響其他環節，例如，注意力功能有其對應之神經網絡系統，經過不斷練習之後，增進了神經之間的聯結，而大腦神經網絡之改變，又可展現在與注意力相關的行為表現上。Olesen、Westerberg 與 Klingberg (2004)、Westerberg 與 Klingberg (2007) 之研究中也指出，經過工作記憶的訓練後，在前額葉及頂葉區觀察到更多活化情形。McNab 等人 (2009) 的研究中，進一步從神經傳導物質的層次來探討工作記憶訓練對於大腦所產生的變化。過去研究顯示神經傳導物質之一的多巴胺 (Dopamine) 與工作記憶的活動有關，研究結果發現經過訓練之後工作記憶容量之變化，與前額葉及頂葉區的多巴胺 D1 受體結合 (binding potential, BP) 之改變量，兩者之間是有關聯的。

(四) 影響注意力發展因素

就目前已知的研究成果，兒童的注意力發展，在過程中除了會受到先天基因的調控外，後天的環境以及教育也是影響發展的共同因素。在正常發展曲線中，認知表現會隨著年齡成長而隨之增加，但是發展遲緩表現隨年齡增加之效率較慢，兩者之間存在著一段差距。造成這段差距有許多原因，如：X 染色體易裂症 (fragile X syndrome) 為先天基因上之缺陷病患，展現出注意力不足、過動、及智能障礙等缺陷 (Cornish et al., 2004)，研究也顯示執行功能受到基因的影響 (Fossella et al., 2002; Fan et al., 2003)；以及後天環境造成例如父母之社經地位、成長環境豐裕與貧困等因素影響。

另一方面，學者 Chua、Boland 與 Nisbett (2005) 研究不同文化之間注意力表現的差異。作業的內容為呈現 36 張以動物或非生物 (如，飛機) 為主體的圖片，即，每張圖片都有一個主體出現在真實存在的環境背景中，再以眼動儀紀錄受試者眼動的位置。結果顯示，西方成人主要會將注意力放在圖片中的局部物體上，如：圖片中的主體老虎；但東方人主要是將注意力放在圖片的背景訊息上，如：老虎佇立在河流旁的石頭上。其結果顯示不同文化背景的人，可能有不同的認知處理方式。文化的差異會影響注意力聚集的地方，注意力分配的位置不同，代表認知系統對於外界訊息處理的重點不同。目前的研究結果主張西方的成人對於局部物體的改變較易察覺；而東方的成人對於整體背景的改變似乎較敏感。這些在成人身上的發現能否推論到兒童，還需進一步的研究證實。另外西方與東方兒童，何時在此能力開始產生差異，也是一個有趣的研究議題。

而在兒童的相關研究中，學者 Chiu (1972) 分別讓西方和東方的國小學童看三張圖片，如：男人、女人和嬰兒圖片，並要求學童從中挑選兩張放在一起。結果顯示，西方學童傾向依照類別來做挑選，如：選擇男人和女人的圖片，因為兩者都是成人。但東方學童則傾向依照背景來做挑選，如：選擇女人和嬰兒的圖片，因為母親要哺育和照顧嬰兒。此結果推論為文化的不同，造成兒童對知覺到或注意到的訊息處理方式也會不同。綜觀目前研究顯示，兒童的注意力發展除了會受到先天基因的調控外，也會受到後天的環境、文化背景和成長經驗的影響。

三、注意力和執行功能與學習的關聯

由於「學習」一詞指稱的範圍很廣，本文探討的「學習」主要包括一般兒童的整體課業表現、閱讀能力和算數能力，並比較學習障礙者與一般兒童的表現差異。回顧過去與學習相關的研究，大多數的文獻皆著重在探討執行功能與課業表現、閱讀和算數的關聯。延續本論文第一節所述，執行功能可視為注意力的一種拓展和延伸，並包括了數種不同的次能力，如：工作記憶、持續更新訊息的能力、認知轉換的能力、抑制能力、衝突解決能力和組織計畫。因此以下的討論將以執行功能與兒童學習的關聯為主。

(一) 注意力和執行功能與課業表現

過去的研究指出國小五、六年級學童的執行功能與他們的課業表現有關 (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006)。工作記憶較好的學童，在英文科和數學科的表現也較好。由於英文的閱讀、寫作和拼音，都需要運用工作記憶並整合有效的訊息，才能理解問題或寫出一篇有架構的文章。有效的工作記憶也可以加快數學的解題速度。另外，若僅比較工作記憶能力相當的一群人，其中抑制能力較好的人，除了英文和數學科外，自然科的表現也較好。這顯示抑制能力所扮演的可能是一個中介調節的角色，雖然抑制能力與整體的課業學習有關，但並非直接協助知識或技巧的獲得，主要為調節工作記憶和課業表現的關聯。但抑制能力究竟是如何協調兩者，目前的研究結果尚未有通盤一致的結論。現階段可知工作記憶能力的好壞與課業表現的關聯最為明確，研究也建議有架構的學習方式可減少工作記憶的負荷量，增強工作記憶不好的學童之課業學習表現。

(二) 注意力和執行功能與閱讀能力

過去研究顯示學齡前兒童的專注程度，可有效預測國小階段的閱讀表現 (Horn & Packard, 1985)。投注的注意力越多，越可能記得文章中的訊息。而工作記憶處理的效能越好 (尤其是口語的記憶廣度越大)，閱讀的表現也可能越好 (Savage, Cornish, Manly, & Hollis, 2006)。因為若兒童能回憶的文字越廣，其閱讀的速度、正確率和對文章的理解力也會較好。而有閱讀障礙的兒童，在工作記憶、衝突解決和計畫能力上，都顯著低於一般兒童。工作記憶的好壞會受到作業難易度的影響，當作業要求兒童正向回憶時，閱讀障礙與一般兒童的表現無顯著差異。但在反向回憶中，閱讀障礙兒童的表現則明顯較為低落。另外，研究顯示雖然閱讀障礙者認知轉換能力的正確率與一般兒童相當，可以適時改變答題的策略，但其思考的時間會較長。

(三) 注意力和執行功能與算數能力

研究顯示執行能力的好壞，可以預測兒童早期的算數能力 (Swanson, 2006)。縱貫性研究調查國小一、三和五年級的學童在數學和認知轉換的表現，結果發現在國小一年級時，認知轉換能力越好的人，其算數的表現也較佳；但三年級後兩者的相關便未達顯著 (Mazzocco & Kover, 2007)，反映出兒童早期的執行功能對學習的影響。

過去研究也發現，當學童對數學題目的理解能力都大致相同時，執行功能越好的人，越可能有較佳的乘法解題能力 (Agostino, Johnson, & Pascual-Leone, 2010)。尤其針對乘法難度較高的題型，持續更新訊息的效能越佳，學童越能整合與問題相關的訊息(乘數和被乘數)並更新與問題不相干的訊息，因此算數的表現也會越好。另外，當學童的專注力越高且工作記憶的廣度越大，越能夠有效統整題目中的不同線索，其乘法的解題能力也會越好。而研究也顯示數學能力較差的兒童，其抑制能力通常也較差，但抑制能力究竟如何影響孩童的算數表現，尚有待更多的研究釐清。

發展性計算障礙者 (developmental dyscalculia) 亦可能有注意力和執行功能的缺損 (Askenazi & Henik, 2010)。研究顯示計算障礙者有較差的警覺性分數，無法有效維持注意力在警醒的狀態，導致即時從環境中獲取有用線索的能力較為低落。另一方面，計算障礙者的執行功能表現亦較差，無法有效抑制周邊干擾物的影響，導致需要花較多的時間才能做出正確的衝突解決反應。

(四) 注意力不足暨過動症的學習表現

注意力不足暨過動症產生的症狀和種類繁多，因此造成課業表現成敗的原因也可能不同，然而過去研究顯示，注意力和執行功能的處理效能和學習的表現有高度相關。同時，研究也指出注意力不足暨過動症或合併閱讀障礙的兒童，執行功能的好壞和閱讀作業表現的正確率有關 (Bental & Tirosh, 2007)，執行功能越好的人，其閱讀的能力也越好。但這些研究只能說明注意力和執行功能可能是其中一種調節因素，上述的兩項認知能力對學習影響的確切機制為何，尚需更多的研究釐清。

兒童早期階段之注意力和執行功能的處理效能，可作為預測兒童往後的課業學習、閱讀能力和算數能力的指標。此結果有助於提早發現未來在學習上可能會有困難的兒童，因此突顯兒童早期注意力和執行功能的發展是個重要的研究議題。同時也使學者提出一個想法：若能早期發現注意力和執行功能低落的兒童，是否有辦法藉由行為訓練等方式，改善其注意力和執行功能的效能，進而增進兒童的學習表現？以下將以注意力訓練為例，回顧與注意力訓練相關的研究。

(五) 注意力訓練相關研究

過去的研究已明確指出注意力在學習上扮演的角色，而注意力功能是否能經由訓練增加其效能呢？Posner 與 Raichle (1996) 認為注意力訓練 (attention training, AT) 是一種針對某種特定注意力認知功能做重複的練習之後，此功能的效能會逐漸增加的一種概念。前述提到 Rueda 等人 (2005) 的研究顯示出即使執行功能受到先天上很大的影響，但是經由後天教育介入是可以增加它的效率的。除此之外，Posner 與 Rothbart (2007) 認為注意力功能的訓練，其效能之增進不只侷限於注意力功能，甚至可以類化至其他認知功能，例如智力 (intelligence)。已有許多研究探討不同族群以及不同年齡層，注意力訓練之效果，包括正常受試者、注意力缺陷受試者、腦傷病人、學齡前兒童、學齡兒童 (Tamm et al., 2007)。Rueda 等人 (2005) 之研究當中，以針對兒童執行功能所發展之注意力訓練計畫 (attention training program)，對 4 歲及 6 歲之兒童進行注意力訓練研究，訓練的內容包含 12 個媒體遊戲。首先是讓孩童熟悉搖桿操作的遊戲，接下來是與訓練執行功能。例如預測及計劃、工作記憶、衝突解決、以及衝動抑制的遊戲。實驗組以搖桿進行注意力訓練之操作，控制組則是看相同時間之卡通影片，並且在影片進行中每隔三十秒至一分鐘影片會停止，此時兒童須按鍵讓影片繼續進行。在訓練前與訓練後使用注意力網絡作業來評估注意力之效能是否有所增進，並且以腦電波儀 (Electroencephalogram, EEG) 探討注意力訓練在大腦中產生之變化；以 Kaufman Brief Intelligence Test (K-BIT) 這套測驗工具評估智力表現之改變。ANT 中的衝突分數雖未觀察到顯著的訓練效果，但事件相關腦電位 (Event-Related Potential, ERP) 之資料，顯示大腦前額葉 (prefrontal) 以及額葉頂區 (frontoparietal) 的 N2 波 (發生在刺激呈現後約 200 毫秒的負向腦波，被認為是額葉中與衝突解決相關的神經訊號)，訓練組相較於控制組展現出更為成熟之型態。四歲訓練組的型態與六歲未訓練組之型態類似；六歲訓練組相較於未訓練組在額葉頂區之型態與成人型態類似。另外在 K-BIT 測驗中，尤其是 Matrices 的部分，顯示訓練組比控制組有較大幅度之進步 (K-BIT 測驗包含兩種分測驗，一是 matrices，測量抽象推理能力；一是 vocabulary，測量語言及從經驗習得知識)。

四、現今研究方向與趨勢

目前有關兒童注意力與學習的研究趨勢，已朝多元方向發展，包括跨文化與跨專業的合作。Tang 與 Posner (2009) 的文獻回顧提出，目前的訓練可分二種，其一為注意力訓練主要讓孩童做一些與執行功能有關的題目，這些題目需要工作記憶和衝突解決能力，而藉由反覆不斷地練習，來增進孩童與執行功能相關的腦區活化。另一類為注意力狀態訓練 (Attention State Training, AST)，用不同的感覺刺激輸入來使孩童的身體反應和心理狀態產生改變，藉此經驗的改變以增進孩童注意力的表現。除了做一些與注意力訓練相似的題目外，也測量孩童的自我調節能力，如：當孩童遇到壓力時的當下反應和情緒狀態。重要的是，注意力狀態訓練會因不同國家的文化差異，以及孩童不一樣的經驗而有所差異。回顧目前的注意力訓練的研究方向，也顯示跨文化研究的重要性。此外，目前以認知神經科學的觀點去探討注意力與抑制能力的研究已漸趨成熟，並慢慢從成人的研究延伸至兒童發展的議題上。另一方面，如何整合認知神經科學的研究，並與教育及學習應用的領域結合，將認知功能發展的研究結果應用在兒童的教育學習上 (圖 13)，也是目前國際學術界研究的趨勢，這些研究的方向與趨勢，極需各個領域的專家，不斷的進行討論與溝通，以找出最合適的整合性研究方法，專業間跨領域的研究整合。

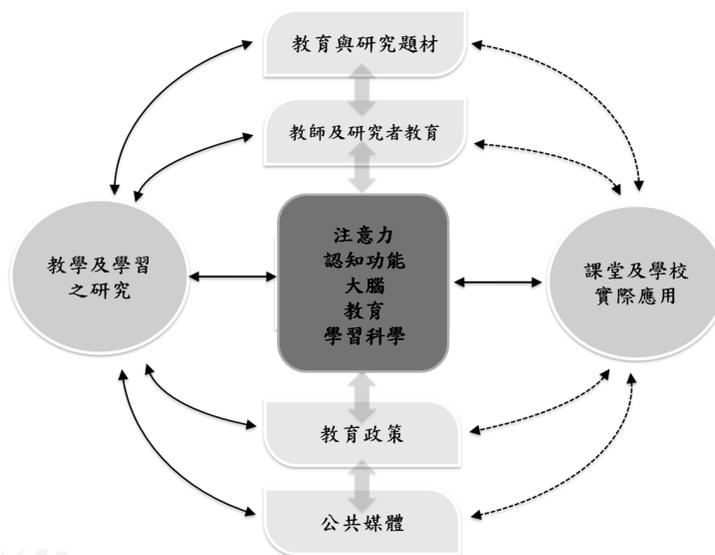


圖 13 跨領域整合與應用 (改自 Ansari & Coch, 2006)

要推動認知神經科學與教育的結合，需要來自不同領域研究的科技整合，包括教學與學習之研究、教師及研究者教育、課堂實際應用和教育政策等。不同領域之間的結合，能讓大腦、教育與學習科學更加蓬勃發展。透過專業間的整合，不僅能對大腦認知與學習的研究有所突破，研究的成果也能透過整合應用至實際課堂教學上。圖中不同領域之間以雙箭頭聯結代表互相對話；圖右邊之直虛線的聯結表示兩者關聯較為明確，也有較多的研究；圖左邊之曲實線代表目前較少有研究去探究，顯示出如何將教學與學習之研究與教育界做整合，是未來重要的趨勢。

五、結語

兒童注意力的發展對其日後學習表現的好壞扮演了關鍵性的角色，以認知神經科學的角度探討此議題時，會依據學者們提出的理論基礎，並用相關的實驗作業去測量此能力。例如使用反向眼動作業或信號停止作業，以研究兒童在衝動行為抑制的能力與發展曲線；使用注意力網絡作業以研究兒童注意力的發展。這些作業，無論在認知心理或腦神經機制上都較有完備的理論基礎，這提供了很好的參照標準，讓研究者可以從成人的相關研究發現，去探索兒童認知能力的發展與障礙產生的原因與機制。本文回顧常用的注意力理論，目前注意力被視為由不同腦區之間，包括警覺性網絡、導向性網絡和執行功能網絡，所共同負責的一種能力，這些網絡之間的發展，以學齡前階段 4 歲至 6 歲的執行功能發展尤為重要，此種高階的執行功能也是注意力網絡的一部分，與衝突解決和抑制能力有密切的相關，而這些能力若表現低落，反映在兒童身上可能將是其課業學習的表現不佳。後續有很多學者致力於探討注意力與學習效能之間的關聯，包括比較一般兒童與注意力缺損兒童的作業表現差異，發現注意力缺損的兒童其學業表現也較低落。

正常發展與發展缺損之間存在著一段差距，許多學者致力於縮短這段差距，研究出可行的訓練方案，讓發展缺陷之族群在認知功能、學業表現、及社會適應能力可以顯著的進步 (Ramey & Ramey, 1998)。要達成此目標有賴於跨文化和跨專業間的研究整合，也需要考量兒童後天經驗的差異—不同的生活環境和成長背景。如：不同文化背景的人，有不同的知覺和注意力處理的方式 (Chua, Boland, & Nisbett, 2005; Chiu, 1972)，而注意力狀態訓練，便是一種因應不同的文化差異，以及兒童不一樣的成長經驗，所發展出來的另一種提升注意力的方式 (Tang & Posner, 2009)。這些注意力訓練的方案，能否全盤移植到台灣的教育與文化環境，尚待許多理論與實證的研究加以測試與證實。此外，將目前兒童的注意力研究發現結果應用至學習上，也是未來一個重要的方向。雖然已知學齡前 4-6 歲是注意力和執行功能發展快速的時期，但目前台灣在這一方面的研究尚未完備，有關兒童注意力與抑制控制能力相關的研究並不多，期許未來除了能從認知神經科學的方法和跨領域的整合方向，來探討兒童注意力發展與學習之關聯外，可逐漸進一步將認知神經科學知識應用於兒童的教育學習上。

參考文獻

- 洪蘭譯 (2001)：《發展的認知神經科學》。臺北：信誼。Johnson, M. H. (1997). *Developmental cognitive neuroscience: An introduction*. Massachusetts: Willey Blackwell.
- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: problem type matters. *Journal of experimental child psychology*, 105(4), 286-305.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71-82.
- Armstrong, I. T., & Munoz, D. P. (2003). Inhibitory control of eye movements during culomotor countermanding in adults with attention-deficit hyperactivity disorder. *Experimental Brain Research*, 152(4), 444-452.

- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, 6(12), 13-29.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170-177.
- Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2005). The cognitive neuroscience of response inhibition: Relevance for genetic research in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1285-1292.
- Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2006). Cortical and subcortical contributions to stop signal response inhibition: Role of the subthalamic nucleus. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 26(9), 2424-2433.
- Askenazi, S., & Henik, A. (2010). Attentional networks in developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 6(2), 1-12.
- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.
- Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychologica*, 112, 105-142.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
- Bental, B., & Tirosh, E. (2007). The relationship between attention, executive functions and reading domain abilities in attention deficit hyperactivity disorder and reading disorder: A comparative study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(5), 455-463.
- Berger, A., Jones, L., Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2000). Computerized games to study the development of attention in childhood. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers : A Journal of the Psychonomic Society*, 32(2), 297-303.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Broadbent, D. E. (1954). The role of auditory localization in the attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 51-55.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon.
- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 215-222.

- Cepeda, N. J., Cepeda, M. L., & Kramer, A. F. (2000). Task switching and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28(3), 213-226.
- Chambers, C. D., Bellgrove, M. A., Stokes, M. G., Henderson, T. R., Garavan, H., Robertson, I. H., Morris, A. P., & Mattingley, J. B. (2006). Executive brake failure following deactivation of human frontal lobe. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 444-455.
- Chevrier, A. D., Noseworthy, M. D., & Schachar, R. (2007). Dissociation of response inhibition and performance monitoring in the stop-signal task using event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, 28, 1347-1358.
- Chen, C. Y., Muggleton, N. G., Tzeng, O. J., Hung, D. L., & Juan, C. H. (2008). Time pressure leads to inhibitory control deficits in impulsive violent offenders. *Behavioural Brain Research*, 187(2), 483-488.
- Chiu, L. H. (1972). A cross-cultural comparison of cognitive styles in Chinese and American children. *International Journal of Psychology*, 7(4), 235-242.
- Chua, H. F., Boland, J. E., & Nisbett, R. E. (2005). Cultural variation in eye movements during scene perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(35), 12629-12633.
- Chugani, H. T. (1998). A critical period of brain development: Studies of cerebral glucose utilization with PET. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(2), 184-188.
- Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy. *Annual Review of Psychology*, 52, 337-367.
- Colombo, J. (2002). Infant attention grows up: The emergence of a developmental cognitive neuroscience perspective. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 196-199.
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 831-838.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215.
- Cornish, K. M., Turk, J., Wilding, J., Sudhalter, V., Munir, F., Kooy, F., & Hagerman, R. (2004). Annotation: Deconstructing the attention deficit in fragile X syndrome: A developmental neuropsychological approach. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(6), 1043-1053.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention, some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.

- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. In W. G. Koster (Ed.), *Attention and Performance II. Acta Psychologica* (Vol. 30, pp. 412-431). (Original work published in 1868.)
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, *16*, 143-149.
- Fan, J., Wu, Y., Fossella, J. A., & Posner, M. I. (2001). Assessing the heritability of attentional networks. *BMC Neuroscience*, *2*, 14.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, M., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 340-347.
- Fan, J., Fossella, J. A., Summer, T., & Posner, M. I. (2003). Mapping the genetic variation of executive attention onto brain activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*, 7406-7411.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, *26*, 471-479.
- Fossella, J., Sommer T., Fan, J., Wu, Y., Swanson, J. M., Pfaff, D. W., & Posner, M. I. (2002). Assessing the molecular genetics of attention networks. *BMC Neuroscience*, *3*, 14.
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, *3*(4), 397-404.
- Hanes, D. P., & Schall, J. D. (1996). Neural control of voluntary movement initiation. *Science*, *274*, 427-430.
- Horn, W. F., & Packard, T. (1985). Early identification of learning problems: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, *77*, 597-607.
- Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, *28*(6), 517-527.
- Ito, S., Stuphorn, V., Brown, J. W., & Schall, J. D. (2003). Performance monitoring by the anterior cingulate cortex during saccade countermanding. *Science*, *302*, 120-122.
- Johnson, M. H. (1997). *Developmental cognitive neuroscience: An introduction*. Massachusetts: WileyBlackwell.
- Johnson, K. A., Robertson, I. H., Barry, E., Mulligan, A., Dáibhis, A., Daly, M., Watchorn, A., Gill, M., & Bellgrove, M. A. (2008). Impaired conflict resolution and alerting in children with ADHD: evidence from the Attention Network Task (ANT). *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *49*(12), 1339-1347.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *24*(6), 781-791.

- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 451-468.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 75-82.
- Li, C. S., Huang, C., Constable, R. T., & Sinha, R. (2006). Imaging response inhibition in a stop-signal task: Neural correlates independent of signal monitoring and postresponse processing. *Journal of Neuroscience*, 26, 186-192.
- Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91(3), 295-327.
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: A users' guide to the stop signal paradigm. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 189-239). San Diego: Academic Press.
- Mazzocco, M. M., & Kover, S. T. (2007). A longitudinal assessment of executive function skills and their association with math performance. *Child Neuropsychology*, 13(1), 18-45.
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forssberg, H., & Klingberg, T. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323, 800-802.
- Muggleton, N. G., Chen, C. Y., Tzeng, O. J., Hung, D. L., & Juan, C. H. (in press). Inhibitory control and the frontal eye fields. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Olesen, P., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal brain activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I., & Raichle M. E. (1996). *Images of Mind*. NY: Scientific American Library.
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). *Educating the Human Brain*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-23.
- Ramey, C. T., & Ramey, S. L. (1998). Early intervention and early experience. *American Psychologist*, 53(2), 109-120.

- Robertson, I. H., & Garavan, H. (2004). Vigilant attention. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences III* (pp. 631-640). New York: MIT.
- Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2001). Mechanism and variation in the development of attentional networks. In C. A. Nelson & M. Luciana (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 353-363). Cambridge, MA: MIT Press.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, *42*(8), 1029-1040.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(41), 14931-14936.
- Ruff, H. A., & Rothbart, M. K. (1996). *Attention in early development: Themes and variations*. USA: Oxford University Press.
- Savage, R., Cornish, K., Manly, T., & Hollis, C. (2006). Cognitive processes in children's reading and attention: The role of working memory, divided attention, and response inhibition. *British Journal of Psychology*, *97*(3), 365-385.
- Schachar, R., Tannock, R., Marriott, M., & Logan, G. (1995). Deficient inhibitory control in attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *23*(4), 411-437.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(4), 745-759.
- Stuphorn, V., Taylor, T. L., & Schall, J. D. (2000). Performance monitoring by the supplementary eye field. *Nature*, *408*, 857-860.
- Stuphorn, V., & Schall, J. D. (2006). Executive control of countermanding saccades by the supplementary eye field. *Nature Neuroscience*, *9*, 925-931.
- Swanson, H. L. (2006). Cognitive processes that underlie mathematical precociousness in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *93*(3), 239-264.
- Swanson, J. M., Posner, M. I., Cantwell, D., Wigal, S., Crinella, F., Filipek, P., Emerson, J., Tucker, D., & Nalcioglu, O. (1998). Attention-deficit/Hyperactivity disorder: Symptom domains, cognitive processes and neural networks. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 445-460). Boston: MIT Press.
- Tamm, L., McCandliss, B. D., Liang, B. A., Wigal, T. L., Posner, M. I., & Swanson, J. M. (2007). Can attention itself be trained? Attention training for children at-risk for ADHD. In K. McBurnett

- (Ed.), *Attention deficit/hyperactivity disorder: A 21st century perspective* (in press). New York: Marcel Dekker.
- Tang, Y. Y., & Posner, M. I. (2009). Attention training and attention state training. *Trends in Cognitive Sciences, 13*(5), 222-227.
- Tillman, C. M., Thorell, L. B., Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2008). Motor response inhibition and execution in the stop-signal task: Development and relation to ADHD behaviors. *Child Neuropsychology, 14*, 42-59.
- Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review, 76*(3), 282-299.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory - a single-subject analysis. *Physiology and Behavior, 92*(1-2), 186-192.

收稿日期：2009年12月01日

一稿修訂日期：2010年09月01日

接受刊登日期：2010年09月02日

Bulletin of Educational Psychology, 2011, 42(3), 517-542
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

The relationship between development of attention and learning in children A cognitive neuroscience approach

Yi-Chin Lin

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central
University

Kuan-Hui Li

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central
University

Wen-Shin Sung

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central
University

Hwa-Wei Ko

Institute of Learning and
Instruction
National Central
University

Ovid JL Tzeng

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central University

Daisy L Hung

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central University

Chi-Hung Juan

Institute of Cognitive
Neuroscience
National Central University

The development of attention and executive function in children has been an important research topic in developmental psychology and cognitive neuroscience in the last decade. Many studies have provided new findings and insights on this topic by using neuroimaging and other cognitive neuroscientific techniques. These new developments have also facilitated integrated research between educational psychology and cognitive neuroscience. As such, the interaction and communication among teachers, educational psychologists and cognitive neuroscientists are crucial to promoting future research and possible applications in this emerging multidisciplinary field. In this article, we reviewed recent progresses and future trends in attention research in children. Finally, we hope to facilitate cross-disciplinary discussion and inspire new research ideas that connect attention and learning.

KEY WORDS : attentional development, cognitive neuroscience, learning

