

腦科學為基礎的課程與教學

王建雅、陳學志*

教育的核心在培養健全的大腦。近代大腦科學研究的進展，或能從神經生理的觀點，啟發教師規劃有效的教學策略，引導兒童學習。因此，本文從腦科學的微觀角度到宏觀層次介紹大腦學習的生理機制，整合大腦的發展特性說明對教育的啟示及應用的限制，藉由腦科學在心智學習及教學課程上的發現，提出「腦為基礎的課程與教學」(Brain-Based Curriculum and Teaching, BBCT) 構念，作為教師檢視、引導教學的方向，以及未來研究者延伸課程模式、發展評量指標的基石。

關鍵詞：腦與教育、與腦相容的課程、課程與教學、認知

* 王建雅：臺灣師範大學教育心理與輔導學系博士候選人
emilykart@yahoo.com.tw
陳學志：臺灣師範大學教育心理與輔導學系教授

Brain-Based Curriculum and Teaching

Chien-Ya Wang & Hsueh-Chih Chen*

The core of the education is to develop a sound brain. Recent studies of brain science may inspire teachers to guide children with effective strategies through a neurophysiology perspective. Therefore, this article which introduces brain science from micro to macro level illustrates physiological mechanism of brain learning, and describes the developing properties of the brain. The enlightenment of brain science on education as well as the limitation of its applications are discussed. The concept of Brain-Based Curriculum and Teaching (BBCT) was derived and proposed based on the discovery of brain science in learning process of mind. BBCT offers teachers a direction of teaching and individual survey. It also offers future scholars a curriculum model or an index of evaluation to be extended further.

Keywords: brain and education, brain-compatible curriculum, curriculum and teaching, cognition

* Chien-Ya Wang: Doctoral Candidate, Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University

Hsueh-Chih Chen: Professor, Department of Educational Psychology and Counseling, National Taiwan Normal University

腦科學為基礎的課程與教學

王建雅、陳學志

壹、前言

教育的目的在培養健全的人，更精確的說，是「發展健全的大腦」。舉凡教育心理的核心議題：「學習、記憶、思考、情感、社會、創造力」等能力，無不依賴大腦的協調與控制，然直至過去十多年，我們的科技才有能力打開心智的黑箱，從神經生理的基礎解釋學習的歷程，經由 MRI（核磁共振顯影）、PET（正子斷層掃描）、fMRI（功能性核磁共振顯影）、EEG（腦電波圖）、MEG（腦磁波圖）、TMS（穿顱腦磁激術）等技術，窺見大腦學習、解決任務的歷程變化。

這些新發現敦促世界各國積極開拓這塊神秘而充滿潛能的學門，紛紛建立跨領域的研究組織，具體作為包括：美國布希總統於 1990 年宣佈 20 世紀的最後十年為「大腦的十年」（Decade of the Brain），並由國家科學基金會資助「以腦研究為基礎的學習研究」（林沛穎、林昱成，2007）；歐洲共同體通過「EC 歐洲腦十年」計畫；新加坡政府於 2002 年宣布採納認知神經科學研究成果，作為規劃教育政策的參考；日本於 1996 年起提出「腦科學時代」發展計畫，文部省建議將認知神經科學之研究成果應用於兒童及青少年（陳雅玲，2007）。這股潮流加深我們對心智起源的認識，激發對現存教育觀點的省思。

過去，課程的設計經常參酌哲學、社會學、心理學與教師個人經驗，課程從「教師中心」走向「兒童中心」、「分科教學」走向「統整教學」，新課程理念似乎改進傳統教學部分的缺失，理念背後的科學證據卻相對薄弱，Gruhn 和 Rauscher（2007）認為以腦為基礎的教育（brain-based education），不僅協助教育者從客觀角度探討問題、解釋以經驗為基礎的教學常識，也能防止教育者發展出負向的教學態度，促使教師採取更有效的教學符合大腦學習。

Ansari 和 Coch（2006）認為教師的品質是教育成功的關鍵，但教師對於大腦如何

運作？外部環境如何與腦互動？對大腦造成何種影響？仍停留在猜測未解的狀態，如何協助教師從大腦科學的研究中獲益、跨越知識領域的藩籬，實為教育發展的趨勢。因此，本文將從腦科學（brain science）的微觀角度到宏觀層次說明大腦學習的生理機制以及大腦運作下的心智表現，次而綜整腦科學知識對課程教學之啟發，最後藉由腦科學在心智學習上的發現，提出「腦為基礎的課程與教學」(Brain-Based Curriculum and Teaching, BBCT) 構念，作為教師檢視、引導教學的方法，以及未來研究者延伸課程模式、發展評量指標的基礎。

貳、大腦學習的微觀角度－神經細胞的基本運作

當學生在課堂聆聽教師教學時，神經系統正歷經一連串廣泛而複雜的歷程：感覺神經元(sensory neuron)將教師的話語、文字的訊息傳入大腦，中介神經元(interneuron)協調運動神經元的輸出、控制姿勢調整與眼睛移動，並對運動神經元(motor neuron)下達拿筆記下重點的指令，神經系統同時監測體內與外在環境系統，掌握自主與非自主反應，循此觀點，「學習」是大腦一連串神經活動的歷程，而神經傳導是一連串心智活動的根源。

一、神經組織的組成與特性

神經組織由神經膠細胞(neuroglia)和神經細胞(neurons, 或稱神經元)組成：神經膠細胞佔大腦細胞的 90%，是保護與支撐神經元的重要系統；負責訊息傳遞與資訊回應的神經元約佔 10%，包含三個典型的結構：細胞體(soma)、樹突(dendrites)與軸突(axon)。細胞體負責提供能源，組成大腦灰質；「樹突」則接收來自其他神經元的訊息，再由「軸突」將訊息傳給另一個神經元(圖 1)，包覆髓鞘的軸突組成了大腦白質，連結功能模組間的正常運作。大腦透過驚人的網路聯繫，造就我們外顯的行為。

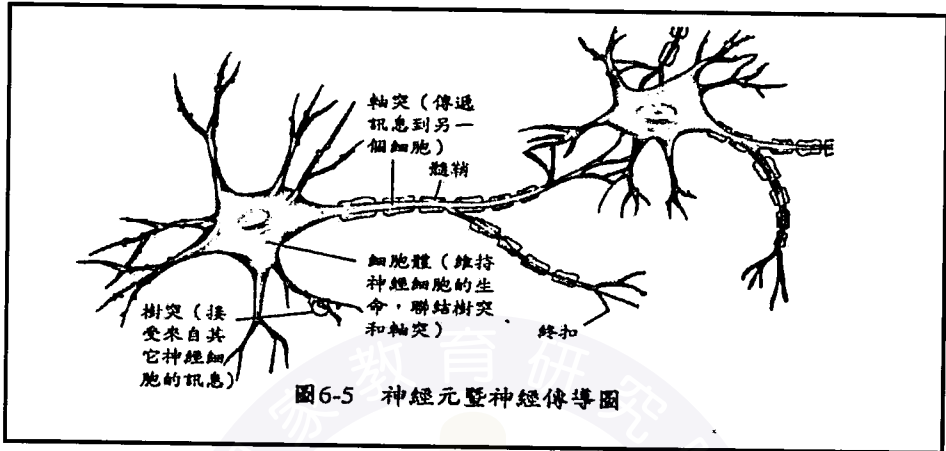


圖 1 神經元暨神經傳導圖

圖片來源：幼兒教育概論（頁 6-16），王建雅，2008，台北：群英。

二、學習的根源—神經衝動的傳遞與長期增益效益

然而個體認知功能與學習如何產生？訊息係透過神經元的「電位」與「化學」兩種型態傳導，當外在的刺激量達到閾值，分佈軸突內外的離子會產生短暫的電位逆轉，稱為「動作電位」(action potential)，將訊息傳到軸突末端小結—終扣 (terminal buttons)，促使末端囊泡釋放神經傳導物 (neurotransmitters)，再以擴散的方式穿越突觸細胞間的裂隙，與突觸後細胞的感受體結合，產生「興奮」或「抑制」的電位差，延續訊息傳遞。

突觸傳遞訊息的歷程代表神經元相互聯結的路徑，亦是記憶和學習的生物性基礎，此觀點已由諾貝爾生醫獎得主 Eric R. Kandel 的「記憶存在神經間突觸的功能性形變」假說獲得驗證，藉由海蝸牛的縮鰓反射，Kandel 觀察到不同的學習刺激會產生長短不同的增強現象，微弱的刺激形成數分鐘至數小時的短暫記憶，短期記憶儲存在突觸的形變上；強烈而長時間的刺激，則依賴蛋白質的合成，固化突觸連結及提升傳遞效率，形成長期記憶 (Kandel, 2001/2001)。

對教育者而言，長期記憶的保留係反應學習的成果，但與某些教育觀點相佐之處在於腦科學證實記憶不是被動的儲存系統。當個體接受外界環境刺激，大腦會不斷改變、重組神經元間的網路系統，持續的學習促發神經網絡加強聯繫，停止學習則減弱

神經聯繫甚至消失 (Kandel, Schwartz, & Jessel, 2000; Tulving & Craik, 2000)，連續的神經活動促成連結通路的敏感化，使突觸電位更容易達到閾值 (Matinez & Derrick, 1996)，此現象稱為長期增益效益 (Long-Term Potentiation, LTP)。換言之，記憶的關鍵在於神經元間能否產生有效聯繫，有效聯繫又與重複的次數相關。突觸功能雖佐證記憶的生理基礎，學習的產生卻有賴更多組織的連結，以下進一步探討腦結構與心智運作的關係。

三、大腦學習的宏觀層次—大腦皮質區分與心智運作的關係

歷經百萬年的演化，人類發展出包裹在大腦外側厚約 2-4 毫米的皮狀結構—大腦皮質，解剖學上將皮質對應的頭蓋骨位置分成四區：「額葉、顳葉、頂葉、枕葉」，此四區的功能不僅與心智運作有相當密切的關聯，確認學習歷程中大腦運作與功能間的聯繫，亦有助教育者在腦科學的基礎上發展出高效率的教學方法 (香港中文大學，2006)：

1. **額葉 (frontal lobe)**：額葉是最大的皮質，佔皮質 29% 的面積 (Goldbrtg, 2001/2004)，在這「最具人性」的腦葉，統理以下的心智運作：

(1) 執行功能：額葉有如大腦中的執行長，負起目標辨認、行為監控、計畫組織並朝目標邁進的作用。

(2) 注意力功能：額葉在注意力的分配與監控上扮演要角，例如：研究發現過動症男童比起沒有過動症男童的前額葉來得小 (賴文崧，2007)。

(3) 控制作用：額葉能抑制與當前任務不相符的干擾性信息輸入、反應輸出 (羅勁、仁木和久、丁之光、羅躍嘉，2003)，例如：眼眶皮質 (orbitofrontal) 受損的病人無法壓抑自我的衝動，也無法預估行為的後果。這點解釋為什麼額葉成熟的成人，會比兒童、青少年會有更好的意志力與控制力，研究也指出，額葉與妥瑞氏症、強迫症、精神疾病可能有關 (Goldbrtg, 2001/2004)。

(4) 語言功能：法國 Paul Borca 醫生發現額葉左側近運動皮質區的損傷，會導致表達性失語症 (Kalat, 1998)，儘管病人的語言理解沒問題，卻無法產生合乎文法的語句，只能以簡短、緩慢間斷、電報式的話語表達思想。

2. **顳葉 (temporal lobe)**：負責處理聽覺訊息、語言能力和部分的視覺能力 (如臉孔再認)，例如：威尼克區 (Wernicke's area) 受損的病人，能表達出流暢卻缺乏邏輯的語言，對語文的理解亦有困難。

顳葉功能或結構的異常，可能與自閉症相關，Jones 和 Kervin (1990) 藉由電腦斷層掃描發現亞斯伯格症的患者左顳葉異常，White 和 Rosenbloom (1992) 也觀察到兩歲半的自閉症男童有左顳葉缺損的現象。香港大學醫學院透過逐像素形態分析法 (Voxel-Based Morphometry, VBM) 比對自閉症兒童與健康兒童，發現自閉症兒童的額葉皮質紋狀體區 (fronto-striatal) 和頂葉、腹面和上側顳葉回 (ventral and superior temporal gyrus) 出現局部灰質減少、區域聯繫較弱的狀態、右梭狀回 (right fusiform gyrus) 有灰質變異的情形，影響臉孔辨認、表情理解及社交行為能力 (香港自閉症聯盟, 2005)。不過，究竟是自閉症行為引起腦部活動的差異？或為腦部異常導致自閉症行為？目前尚未釐清兩者間的因果關係。

3. 頂葉 (parietal lobe)：處理各類感覺的中樞，亦與數學思考、空間表徵及高層次知覺有關。從腦傷病人的個案，神經科學家發現頂葉受損的病人不會完全失去觸覺、肌肉或關節的感覺，但在解釋運用觸覺、空間訊息上會有困難，例如：盲人無法閱讀點字、患者失去觸覺辨識物體形狀的能力、無法識別熟知的道路和場所；有些病患雖然視力良好，卻會有忽視症 (neglect) 的現象，如：周邊型 (peripheral) 閱讀障礙的學童經常會忽略半邊文章的內容；讀一個單字，也只會看到半邊的文字 (許瑛珍, 2003)。

4. 枕葉 (occipital lobe)：位於大腦基底後方，負責視覺處理，在四個腦葉中的功用最為單純。枕葉主要由初級視覺皮質 (primary visual cortex) 與視覺聯合皮質 (visual association cortex) 構成，初級視覺皮質若損壞，可能造成全盲，若損壞的區位在視覺聯合皮質，而主要視覺皮質未受損，則個體仍能視物，但對物體會產生意義理解的困難。

綜上述，大腦額葉匯總思考判斷、負責計畫執行、預測後果及產生覺識，使個體能自我控制與有目的行動；顳葉負責聽覺辨識和語文理解；頂葉掌管空間、感覺、方向與計算能力；枕葉則以視覺相關處理為主業。皮質分區的概念除有助於醫學進行病理上的判斷、提供特殊教育診斷的指標，更有助於腦科學專家釐清認知學習歷程中大腦活化區位的分佈，提供我們心智運作上相應的定位。

參、大腦的發展特性與學習

一、大腦的發展與變化

神經系統的分化源自胚胎期的外胚層，妊娠第三週起，胚胎在脊索（notochord）的誘導下，逐漸分化出「神經板－神經褶－神經溝」，最後形成神經管（Kalat, 1995）。此階段，神經元以每分鐘25萬個的速率大量製造，並在神經膠質細胞的引導下，離開腦室壁移至皮質特定區位，直到六層皮質全部占滿，七到九個月左右，神經細胞聯繫路徑雖不明確，但腦的結構已大致底定（Schwartz & Begley, 2002/2003）。當新生兒來到世上，腦部已產生與成人數量相當的神經元——千億個（Huttenlocher, 1979；Huttenlocher & Dabholkar, 1997），同時開始大量製造突觸連結，形成複雜網路，三歲幼兒突觸連結的數量可達成人的兩倍（Shore, 1997）。

伴隨突觸的新生，幼兒部分的反射動作也跟著消失，神經科學家觀察到某些能力（如視覺）的進展與視覺皮質重組的時間一致（Schwartz & Begley, 2002/2003），然兩者的因果關係尚無法斷定。突觸形成的速率在皮質各區不盡相同，例如：聽覺（顳葉）突觸在初生後三個月達到高峰，視覺皮質約在第十二個月達到高峰，額葉皮質則在二到三歲間達到高峰（Bruer, 1999；Huttenlocher & Dabholkar, 1997）。整合來說，大量增長的突觸連結保留大腦接受各類刺激的可能性，突觸的修剪則增加神經元聯繫的效率。

除突觸迅速的增生，神經元也歷經另一項重大的改變－髓鞘化，藉由寡樹突膠細胞（oligodendrocyte cell）在軸突上包覆著髓磷脂，隔絕軸突間的交叉干擾、增進訊息的傳遞速率。髓鞘化在大腦各部位的速度也不相同，感覺皮質的髓鞘化比運動區的皮質早形成，運動區又比連結區早完成，這點特性使嬰幼兒在感官的發展先於動作的發展。

綜上述，神經元在大量製造突觸連結後，將持續經歷反覆的連結與修剪直至青春前期，但在生命初期進行得最激烈，突觸相互競爭，遵循著用盡廢退的原則。神經元發展的特性，引發教育上三項重要的議題：「關鍵期」、「可塑性」、「豐裕性」。

二、學習關鍵期與皮質可塑性的啓示

學習關鍵期的觀念，曾由兩組諾貝爾生醫獎得主：Lorenz 以及 Wiesel 和 Hubel（1965）經由不同的實驗獲得驗證。Lorenz 在幼雛的「尾隨反應」研究，提出銘印

(imprinting) 的概念：剛孵化的幼雛，在出生後的關鍵 24 小時，會形印首見移動物（通常是幼雛的父母）的聲音、動作，產生情感的聯結（Snyder, 1999），該研究也為遺傳和環境孰輕孰重的爭論下了最好的注解：「遺傳的預設規劃個體學習特定事物的動力，經驗係為既定基因開展的催化劑」（王建雅，2008）。

Wiesel 和 Hubel（1965）則將微電極插入幼貓的視覺皮質，觀察三週大幼貓視覺訊息處理的方式，隨後縫合幼貓的其中一眼，原本眼睛結構正常的幼貓，竟因短期視覺剝奪導致相應視覺區的神經連結退化，縫合再拆線的眼睛再也無法發揮正常功能，此實驗使科學家推导出兩項結論，一：關鍵時期的特定感官經驗是至關重要的，若未能把握學習的機會之窗，將永遠失去某些能力；二：成熟後的大腦皮質將固定不變。

然近期 Eriksson 等人（1998）卻發現在成人海馬迴齒迴（dante gyrus）的神經元有再生現象（引自張雅婷，2006）；Merzenich（2001）也觀察到大腦地圖因練習行為而改變，這不僅打破醫界的百年教條：「成人大腦的神經路徑不變、神經元死亡後不會再生」，更為成人教育、終身學習提供神經生理的基礎。筆者認為，Lorenz、Hubel 和 Wiesel 的關鍵期研究，其實也反應了大腦運作的一部分彈性：幼雛因環境改變而無法依附生母，卻自動尾隨 Lorenz；幼貓無法收訊的視覺皮質並未荒廢，轉而處理另一隻眼睛傳送的訊息。神經科學家發現某些特定的感官經驗，如視覺、語音辨認的能力，的確有關鍵的發展時期，卻非不可逆轉之歷程，積極介入的補救訓練，還是能改善部分的能力，現今神經科學家較常運用「敏感期」（sensitive periods）一詞，說明個體適應環境變化與學習新技能的彈性。

再以 Merzenich 的研究為例，他以猴子、失讀症（dyslexic）孩子為對象，觀察到大腦因應變動的環境改變既有的皮質功能地圖，即便是成人，依然具備某種程度的可塑性（Merzenich, Tallal, Peterson, Miller, & Jenkins, 1999），綜整其研究發現如下：

（1）練習增加神經元的效率：Merzenich 等從猴子學習正確觸碰轉盤的實驗發現，當猴子接受訓練後，手指指尖對應在大腦皮質的面積變大，但在精熟後，同一任務只要運用較少的神經元就可執行，練習增進神經元反應的效率。

（2）專注力提升皮質改變的持久性：Merzenich 觀察到唯當猴子專注完成任務時，大腦皮質才會有長久的改變，漫不經心或缺乏動機的學習，皮質只有暫時性的變化，改變卻不長久。

（3）回饋加強傳導路徑的固化：學習中的回饋與增強促使大腦會分泌多巴胺，使個體感受獲得報償的喜悅，促成目標行為的神經迴路固化，增強連結孩子因學習而

改變的皮質地圖。

三、環境「豐裕性」的爭議

神經元的「用進廢退」原則、大腦可塑性、敏感期的概念，一致指向大腦成長與環境的關係，伊利諾大學的 Greenough 比較豐富環境組的老鼠與環境剝奪組的老鼠，發現那些群居、處於複雜環境（可玩滾輪與爬梯）的老鼠，比單獨養在籠子的老鼠，能更快速的在迷津測驗中定位，感官知覺的神經元也多出百分之二十五的突觸（Holloway, 2003/2003）；Jacobs、Schall 和 Scheibel（1993）也指出，長期參與高難度活動的學生，神經網路聯結多於未參與高難度活動的學生。一時間，家庭、學校如何增進「豐裕性」成爲社會的焦點，然給予更多的刺激真能提高幼兒的智能嗎？目前研究僅觀察到在過渡剝奪的惡劣環境（如教保品質不佳的孤兒院）有損幼兒情緒、社會、認知的發展，卻未支持極豐裕的環境能顯著提高幼兒的發展（Blakemore & Frith, 2005/2007），處於貧乏環境的幼兒，相對上會比處在正常環境的幼兒，更能從豐富的刺激中獲益。

教育者反需留意過多學習壓力對兒童的負面影響，腦科學研究指出，壓力促使身體分泌大量的類固醇賀爾蒙—可體松（cortisol），抑制免疫系統和身體成長，長期大量的可體松導致海馬回神經元萎縮、死亡，降低記憶力，甚至無法辨別事情的重要性（Gazzaniga, 1988；Jacobs & Nadel, 1985），綜言之，大腦需要適度的挑戰，卻不是無止盡的填鴨，過渡豐裕的課程學習與訊息刺激，帶來的不一定是學習效益，反而是不良的壓力，教育者宜在刺激與壓力間取得平衡。

四、大腦發展特性對教學的啓示

英國經驗主義的代表—洛克（Lock）曾提出人類的心智是一塊白板的假設，這樣的看法隱含兩項思維：其一，學習的素材與環境是重要的；其二，假定人類被動的接受訊息輸入；但從大腦神經科學來看，這樣的觀點僅部分正確，外界訊息輸入確有其重要性，但大腦不是被動的複雜處理器，而能主動篩選過濾整合訊息、不斷自動更新與自我提升，綜合以上研究，研究者提出以下幾點對教學的啓示，整理如表 1：

（1）剛出生的嬰兒已具備與成人數量相當的神經元，發展重點在形成與其他神經元交會的突觸網絡；各區皮質成長速率不同，感官皮質比組織思考皮質優先成熟，感官訓練應先於思考學習。

(2) 突觸的存留取決於突觸被激活的頻率與程度，因此，學生樂於投入、經常練習的學習總是被優先保留。教學應從孩子熟悉的事物為起始，從微系統中的生活能力培養擴展至大系統的社會適應。

(3) 學習終身有用。部分感官如視覺、語音辨認的能力，雖有較佳的教育時機，但成人大腦仍具可塑性，人們不應錯失敏感期而忽略提供學生學習的機會。

(4) 環境的刺激是大腦成長的滋養，人類終其一生都會隨著經驗改變大腦皮質地圖，不斷學習與適應環境是大腦的本質。

(5) 學習過程的增強與回饋將促發多巴胺的分泌，鞏固學習的聯結，特別是立即、具體多元的回饋。

表 1 大腦發展特性對教育的啟示

腦科學研究的發現	教育啟示與教學指引
剛出生的嬰兒，其神經元就會開始大量製造突觸聯結，三歲幼兒突觸聯結的數量可達成人的兩倍。	啟示：學前幼兒是人生學習的高峰期。 指引：在滿足幼兒基本需求上，提供豐富但適量、多元而適性的探索課程。
大腦皮質在不同階段以不同速度成長，感官（視覺、聽覺、觸覺等）皮質區的發展先於額葉的發展。	啟示：依循幼兒大腦發展的特性提供合宜的課程。 指引：幼兒宜從實體的感官的經驗建立對世界的理解。
專注的學習造成大腦皮質長久的改變。	啟示：課程設計應考量學生的動機與主動性。 指引：鼓勵學生自發性的尋找問題、主動解決問題，引發延續學生探究的興趣
長期壓力促進可體松的分泌，抑制思考與記憶保留的能力。	啟示：考量課程份量的妥適性與學習環境的氣氛。 指引：安排合理的教學進度，保留學習彈性，營造關懷、降低焦慮的氣氛與正向的師生關係。
經常的練習，活化神經元間的通路，提升神經元連結的效率。	啟示：教學中應提供學生反覆練習的機會。 指引：同一教材，宜透過不同的教學策略（團討、遊戲、扮演等）提供學生練習的機會。
回饋與增強進多巴胺的分泌，促成目標行為的神經迴路固化。	啟示：教學中能積極的回應學生的需求與問題。 指引：教師在正向的學習氣氛中，透過師生間、同儕間與自我的回饋方式，協助學生澄清概念。

肆、腦科學為基礎的教學與課程研究

在過去，發展與認知心理學的原理原則都曾成功的被應用在課室教學，Ansari 和 Coch (2006) 認為心智、大腦與教育 (mind, brain and education, MBE) 的研究也不該被忽視或排除在外，而應在多重方法、多種脈絡下由不同層次的人員進行不同層次的分析，連結教育者和大腦神經科學間的溝通。以下提出具神經科學背景研究者的研究，闡述與教學、課程相關的腦科學研究。

一、腦科學為基礎的教學研究

腦科學證實長期記憶建立於神經活動的重複刺激，但如何學習才能保留更多的訊息？Caine 和 Caine (1997) 從與腦相容的觀點認為，教師應透過意義激發、實作練習、情緒連結、活用所學等不同型態的刺激，強化突觸的敏感度與有效性，這些觀點是否為科學研究所支持？

在 McElhinney 和 Annet (1996) 的心理實驗研究，曾以 20 名就讀心理系的大一學生為對象，了解詞彙結合音樂的記憶效果，結果發現音樂能增進詞彙的記憶。Carlson (2001) 則運用腦電圖比較受試者在回憶具體名詞與抽象名詞時的大腦運作，發現當個體回憶具體名詞時，涉及的神經元分佈較廣泛，右半腦的參與度比回憶抽象名詞時更多，Carlson 認為右腦與音樂的處理有關，似能支持大腦研究的假定：若能將記憶的素材配合上音樂，有助於加強左右大腦的聯繫。

另以香港中文大學 (2006) 為期三年的整合性研究為例，研究者結合教學實驗設計、腦電圖、功能性核磁共振顯影三種方法，比較「平調讀法、韻律誦法、唱詠法」¹三種教學策略對記憶中文韻文與英文韻文上的效能，得出以下結果：

(1) 相同素材而不同的教學方法，會改變大腦激活的模式：例如採韻律誦法的教學，無論中文或英文，大腦於左側顯中迴、左側顯上迴的激活均比右側多；採平調

¹ 1.平調讀法：以平板、無重讀或節奏的方式唸出教材。

2.韻律誦法：有節奏、重押韻字，且配合教材的情感與意義朗誦出教材。

3.唱詠法：配上音樂唱出韻文，重點在聆聽後唱出歌曲。

讀法，大腦在左側顛中迴的激活多於右側顛中迴的激活，但在顛上回則無活化的現象。

(2) 相同教學方法對不同語言（中文、英文）激活的區域不盡相同：以唱詠法為例，左右腦均有激活的現象，但與英文唱詠相比，中文唱詠的右顛中迴激活比右顛上迴的激活更頻密，無論學習中文詩與英文詩，唱詠法均為記憶語文的最佳方法。該研究結合教育實驗和腦神經顯影的結果，對以中文為母語、英文為第二外國語的學習，提出具體有效的學習策略與記憶方法：記憶中文韻文的最佳方式為唱詠法，而英文初期採平調讀法效果較好，等學童理解韻文內容後，唱詠法與韻律誦法會更有效。

該研究也指出，進行語文教學時，適當的「教學方法」與「教材內容」比「教學時間的長短」更重要，從腦電圖發現，香港學童在學習英語時，神經激活的區域和學習中文不盡相同，例如：學童在學習中文時，額葉和枕葉產生強而短的關連，學習英文則在額葉和顛葉間產生關連。筆者認為這能澄清教育界長久的兩項疑慮：以英語為母語的教學模式是否適合套用在以英語為第二語言的學習？增長學習時間能否增加學習成效？研究結果建議，不同語言的學習應採用不同的教學模式、與其增長學習時間不如改進教學內容與方法。該研究也為教育開創新的方向：結合教育和腦科學的共同合作，提供改進教學策略的範例。

二、腦科學為基礎的課程研究

課程是達成教育目標的途徑，在有限的教育資源與時間限制下，教師十分關切該安排哪些課程，即便沒有升學壓力的幼兒教育，認知性課程（如：語文領域、常識領域、健康領域）也常被視為教學重心，音樂、遊戲、工作僅是調節身心、放鬆心情的非主流課程，神經科學家的報告卻證實這些非主流課程的內涵並不簡單。

從腦造影技術如正子斷層掃描中，腦學家發現，音樂與空間推理似乎擁有共同的神經迴路，聆聽某些類型的複雜音樂會「點燃」大腦皮質的神經傳導物，激發與空間相關群組的神經元，從而提高空間能力的表現（Leng & Shaw, 1991），1993年，Rauscher、Shaw 和 Ky (1993) 在自然期刊上發表「音樂和空間任務能力」的研究，報告中比較三組大學生，分別在聆聽十分鐘的莫札特音樂（音樂組）、聆聽十分鐘的放鬆指示（放鬆組）、安靜坐十分鐘（寂靜組）的實驗處理後，接受時間—空間測驗，結果發現聆聽莫札特奏鳴曲後的大學生比起其他兩組的大學生，有較優異的時間、空間表現。作者總結效果，約等於在史丹佛比奈智力測驗，提高八到九分。此研究引起社會相當大的震撼與學界的爭論，同時被擴大解釋成「聽莫札特奏鳴曲能提高智力」，

忽略此效益僅維持十分鐘的結果。

後續深入的研究，釐清音樂與大腦成長的關連性：播放古典音樂不一定能改善學童的智能，但學習樂器彈奏，卻能增進空間推理能力。Rauscher 和 Zupan (2000) 以 62 名的幼稚園小朋友為對象，將幼兒分派到兩種情境：鍵盤組和無音樂組，鍵盤組以小組教學的方式，提供一週兩次、每次二十分鐘的課程，並在四個月、與八個月後進行空間－時間、圖像記憶的再測，結果發現，鍵盤組幼兒的空間－時間測驗得分顯著高於無音樂組，在圖形記憶的表現，兩組則無顯著差異。

Hetland (2000a) 從後設分析 (meta-analysis) 回顧音樂教學對空間能力的影響，指出持續兩年且生動的音樂教學的確能提高時間－空間表現，且幼兒的改善效果比而兒童更好，這可能與幼年時期大腦結構性變化的觀點有關。在 Hetland (2000a, 2000b) 比較的典型研究，實驗設計通常包含時間－空間測驗、或記憶測驗、積木建構任務等前測與後測，一組接受音樂教學、而其他的組別未接受訓練或接受其他類型的訓練，音樂學習的型態包括學鋼琴或木琴、方法結合奧福 (Orff) 或高大宜 (Kodaly) 的教學技巧，採個別教學或小組教學 (十人左右) 進行，時間從十分鐘到六十分鐘、為期六周到兩年不等。

總論這些研究結果，音樂教學對幼兒在空間推理任務的得分，的確產生有效的改變。Graziano、Peterson 和 Shaw(1999)、Gruhn 和 Rauscher (2002)、Rauscher (2003) 等研究亦證實學習樂器提升時間空間推理測驗得分，且比直接訓練空間推理能力來得有效。

腦科學的研究也證明藝術的學習不只是怡情養性，從腦傷病人實際參與藝術治療的活動，證實藝術的刺激能促成更多更強的神經連結 (Kolb & Whishaw, 1990; Jensen, 1998/2003)，Gardiner、Fox、Knowles 和 Jeffrey (1996) 讓一年級和二年級學童在接受七個月加強性的音樂和視覺藝術課程訓練後，發現他們比起只接受原課程的學童，有更優異的數學成績。然而，這兩項課程是並行的，我們無法從中推斷是音樂還是藝術、或兩者合併產生的效益。

生理性的研究也支持運動有助維持大腦功能，例如：大白鼠在運動後，海馬迴中的大腦衍生神經營養因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 表現量顯著增加，且與運動量呈現正相關，而 BDNF 能活化其下游訊息傳遞路徑，提升學習與記憶的能力 (陳鐸丰, 2004)。不過，動物實驗結果能否類比到人類的腦功能，尚待釐清。

綜合上述，筆者認為這些結合腦科學實驗的教學研究，對於教育界課程安排的取

捨有相當重要的意義，一般教師會直覺認為課程時數增加越多，學生的學習效果應該會越好，Rauscher 等人（1993）的研究，卻指出大腦神經網絡的聯結並非各自獨立，音樂欣賞和抽象推理間在神經系統間有類似的激發機制，而學科間也隱含相似的學習本質，例如：音樂本身就是一種語言的表達，音樂節拍的長短（全音符、二音音符、四分音符等）與數學分數原理相同。中文大學的語文教學研究，則證實教學時間的長短不是學習成功的保證，而應考量「教學方法」與「教材內容」間的適配性，當我們提出某項教學策略對教學有效時，其實是相當籠統的概念與說法，透過腦科學與教育的研究結合，未來研究可朝向澄清何種教育課程在何種階段應採用何種教學方法，以協助學生獲得最佳學習效能。

伍、腦為基礎的課程與教學構念－BBCT 構念

現今，越來越多學者如 Hart（1983）、Sylwester（1995）、Sprengr（1999）、Caine 和 Caine（1997）等人提出與腦相容（brain-compatible）的教學觀，主張教師應根據人腦的運作機制及學習傾向，設計與人腦運作模式、學習傾向相容之課程與教學，在以腦相容的課程設計，以 Caine 和 Caine（1990, 1994）提出十二條大腦心智的特性，最常被「與腦相容」課程觀的學者所引用，內容如下：

1. 學習是整個生理的投入。
2. 大腦採平行多元的訊息處理。
3. 大腦是天生的意義追尋者。
4. 人們透過組型來追尋意義。
5. 情感對組型有關鍵性影響。
6. 大腦同時處理部分和整體。
7. 學習包括集中注意和邊緣性的感知。
8. 學習涵蓋有意識和無意識的過程。
9. 大腦至少有兩種不同類型的記憶：空間記憶和機械式學習。
10. 在自然與空間脈絡下，腦的理解與記憶會最好。
11. 學習因挑戰而增強、因威脅而抑制。
12. 每一個腦都是獨具一格的。

而 Sylwester (1995) 亦提出幾項與大腦結合的教學策略，筆者歸納整理如下：

1. 課程設計：

- (1) 加入社會性活動、結合情緒管理的議題。
- (2) 融入對學生重要、有意義的資訊。

2. 教學方法：

- (1) 運用教學科技產品。
- (2) 教導學生適當控制與紓解情緒、鼓勵他們表達出自己的情緒。
- (3) 鼓勵學生在合作學習中貢獻所長。
- (4) 擅用角色扮演、歌唱、遊戲小說等素材和策略。
- (5) 引導學生運用多元智能解決問題。
- (6) 流暢的運用被動學習與主動學習的教學策略。
- (7) 減低學習的壓力與威脅。

檢視「與腦相容」的學習原則，雖部分採納腦科學研究，部分卻發自個人教學經驗，零散的原則也未提醒教師使用的限制，引發不少爭議。Bruer (1997) 就認為，腦科學的研究雖然極具啓示性，但應用在教學實務，尚有距離，與腦相容的教育者僅抽取部分概念，作摘要性的陳述，忽略大腦內部深入的運作關係，容易引起教育應用上的誤解。

1996 年，美國一場名為「Bridging the gap between neuroscience and education」的研討會中，開啓 74 位神經科學家、認知心理學家、教育研究者與政策制訂者的對話平台，與會中，神經科學家提醒教育者：1. 大腦研究的確存在一些可為教育所用的訊息，但教育者在使用上，應選擇已有許多研究支持、確認的研究，而不是最新的研究。2. 科學的研究會儘量控制變項的單純性，一次只處理一個問題，但在教育現場，教育者必須同時處理許多相關的問題，我們不能期望在控制單一變項中獲得的結果，去解決多重面向的問題。

對神經科學和教育者而言，我們面對的議題如此接近、領域關注的焦點卻又如此遙遠，「與腦相容」的教育觀雖有很好的立意與啓發，卻缺少可供檢視的模型與架構，筆者認為，要能跨越教育和大腦科學的鴻溝，首先應建立起可被驗證、可被討論、能夠對話的構念，經由未來研究的充實與驗證中，釐清更完善的教學策略，因此，在本研究中，研究者立基於「腦科學證據」，採集部分「與腦相容的教育觀」，提出 BBCT 構念 (圖 2)。內容如下：

一、BBCT 構念的理念

BBCT 構念並非要揚棄或取替過去的教學典範，而是主張透過腦科學、認知神經科學研究的多重檢證，提升教育研究結果的效度，由於源自哲學、公眾信念、外顯行為觀察（心理學、認知心理學）的教育理論均有共同的限制：未能澄清其相對應的生物基礎。即便教育界常引用的認知發展理論，也是建立在假設模擬的認知結構，腦科學的研究則能提供大腦物理活動與外顯功能間的映射狀態，釐清潛在影響學習的因素。例如：許多教育者發現女孩的語言能力優於男孩，卻從未能提出生理上的實證，腦科學從功能性磁振造影中，呈現女孩在處理語言時，語言區域有較多的激活狀態，顯現男孩和女孩在大腦區域活化的差異（國家衛生研究院，2008；Burman, Bitan, & Booth, 2008；Sax, 2005/2006）。整體而言，BBCT 構念源自幾項理念：

（1）連結腦科學與教育研究間的對話平台：BBCT 構念並非要提出新的方法，而是扮演一中介角色，提供教育界人士認識腦科學研究，引發討論、關注與投入。

（2）從腦科學的證據檢證與過去教育相關之理論：改進教育上「只知其然，而不知其所以然」的缺失，協助教師釐清現存的教育信念有哪些是目前腦科學研究所支持的，即便腦科學證據與教育研究獲得一致性結果，教育者也能確信這些發現的合理性，反之，不一致的結果，則提醒教育者深入究查的必要。

（3）統理擷取教育理論的優勢，作為課程規劃與教學決策的參考：課程教學理論發展迄今，已建構出相當多完整的模式與策略，教師面對的困境不再是有什麼方法可以教，而是該如何決策？用什麼教學方式會比較好？腦科學研究正可作為教師決策的依據。

（4）期許未來教育研究者能於 BBCT 的構念上發展出以腦科學為基礎的課程與評鑑模式。

二、BBCT 構念之六核心四導引

BBCT 構念依現行腦科學研究成果，歸納出六項課程教學核心，分別為：整體性、意義性、互動性、支持性、多元性、獨特性。在應用上，可以整體性與意義性作為課程決策的考量；多元性、獨特性作為教學策略的實施；互動性、支持性視為師生交流、學習情境營造的原則，然此六項核心並非各自獨立，而是相互勾結關連、環環相扣。依此六核心，具體延伸出四項教學導引，作為核心的發散、原則的實踐，包括：「在

積極而投入的感知中引導、在放鬆而警覺的氣氛中教學、在完整而連結的體驗中學習、在多元而真實的情境中評量」。BBCT 的六核心、四導引內容如下：

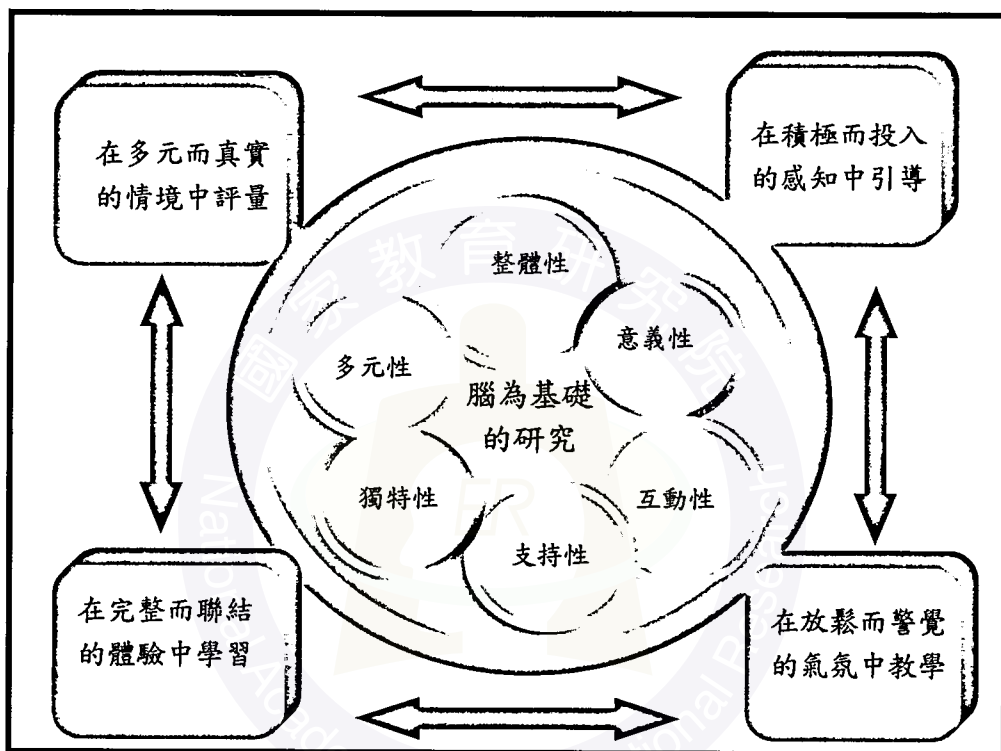


圖 2 「腦為基礎的課程與教學」構念圖

(一) BBCT 的六大核心

1. 整體性：個體看似簡單的行為，都是彙整大腦許多部位合力達成，雖然各種感官在大腦皮質有不同的投射區，其功能卻依賴皮質整體的連結，「大腦的潛能只用了 10%」的商業廣告，從來就不是事實。整體性核心說明大腦訊息處理不會只對片段、單一的訊息加工，而是對訊息依託的複雜情境作出整體性的感知、反應與建構（呂林海，2006）；大腦的運作同時包含意識和無意識的過程，因此認知與情感應被視為不可分割的整體（Caine & Caine, 1990），情緒引導注意力，影響學生創造意義與形成記憶的過程（LeDoux, 1994）。

上述立論支持人類的心理能力不是單一發揮、而是整體協調的結果，大腦傾向整體獲取經驗的特性。然綜觀目前課程的實踐，經常將認知性任務當作唯一中心，著重分析知識間的組織與架構，以顯性知識的傳遞為目標，忽略隱性的情意與情境。基於整體性核心，建議教育者在課程設計上，應考量教學外部與課程內部的整體性。教學外部的整體性即在培養學生正向的學習情趣與課程相關的情感體驗，透過關注、創設的學習氛圍，支持課程目標背後蘊藏的意涵；課程內部的整體性涵括課程間的統整、脈絡與聯繫，教師能透過認知、情緒、技能、行動等不同層次的連結，對訊息做深度的加工，例如：從角色扮演、情感驅動來提升記憶與理解的效能。

2.意義性：過去，視課程為學科的主張，十分重視學科的結構，強調知識的客觀、組織與邏輯，陳新轉（2002）認為，課程若忽略與學習者意義的連結，學生可能以自身的價值邏輯抗拒教師的知識邏輯，排斥教師安排的課程，造成學習的困擾。從腦科學來看，大腦具備好型態配對（*pattern matching*）的特性，倘若學習者獲得的訊息能與已儲存的訊息相連結，就容易優先被處理；腦電圖顯示我們對熟悉的事物會有不同的腦波，並涉及更多區域及記憶的存取。

大腦學習的意義性，啓示教育者於課程設計上應考量學生實際的基本需求，內容上能從生活開展、且與我們所處的世界產生聯繫，當知識本身是可用時，大腦自然容易被吸引而樂於學習。無論在課程編排上、教學內容上，建議教師最好能從學生能接觸、可運用的生活經驗來選取課程題材、設計課程內容，讓學生在接受教育的歷程中，要很清楚的掌握知識能用到哪裡？自己可以如何使用？經由意義與情感的激發中，加強大腦對訊息的連結與處理。

Medina（2008/2009）曾依據大腦追尋意義與注意力循環的特性，主張教師於課程教授的起始就應提出授課綱要，協助學生理解課程的目的、核心概念間的意義與連結，並利用大腦只有十分鐘注意力的特性，將一堂五十分鐘的課程分為五大段落，每個段落的第一分鐘作為綱要的說明，其餘九分鐘用來解釋第一分鐘中闡述的核心概念，在核心概念轉換間（十分鐘後），正是學生注意力低迷的時候，教師可透過與學生經驗意義相關的情緒刺激，重新喚起學生的投入，換言之，教師能(1)連結真實世界的範例、(2)採集有意義的經驗突顯主題，來擴大學習的成效。

3.互動性：人們係從演化中累積智慧，學習從混亂中抽取組型，逐漸建構出有效的方案（Hart, 1983），這套知識法則的形成，源自大腦與環境不斷互動的歷程，環境刺激改變大腦神經的迴路與連結，形成我們的觀念，觀念引導下的行為，又將與環境

互動後反饋改變大腦，這樣的機制，不僅彰顯大腦的可塑性，同時說明大腦與外界互動後回饋的重要性。

腦科學研究如 Frey (1997) 即指出，經制約的增強物活化腦部共同增強系統，促進多巴胺的釋放，改變神經細胞的聯結強度。Merzenich (2001) 等研究也指出，學習中無論來自人或物的互動，都能促成大腦分泌多巴胺，固化目標行為的神經迴路。顯現互動中的回饋、彼此的回應是有效學習與資訊交流的關鍵。建議教師在課堂教學能經常鼓勵師生之間、學習者間進行雙向溝通，意見交流中產生的「具體性」、「立即性」和「建設性」回饋，不僅能協助學生修正行為與澄清概念，愉悅而受關注的人際互動，也會讓大腦釋放多巴胺，讓學生延續學習的動力。

4. 支持性：醫學曾提出大腦「三位一體」的概念，主張人腦依循「腦幹—邊緣系統—新皮質」的順序，演化成我們現在的大腦，腦幹主宰生存本能與自動化行為的控制、邊緣系統掌理情緒經驗與反應、新皮質負責思考認知運作，由於越早演化的大腦與生存密切相關，當我們遇到威脅或緊急狀況，腦幹與邊緣系統會優先反應，使大腦皮質暫時失去作用，Goleman (1995) 指出，人們總是先處理感覺才進行思考，倘若學生的學習環境充滿敵意、威脅與焦慮，大腦皮質就不可能專心思考、清晰運作。腦科學研究證實重複壓力致使大腦海馬迴 CA3 區的樹突萎縮；劇烈與慢性的壓力則抑制齒回粒狀神經元 (*dentate gyrus granule neuron*) 的形成 (劉宏豔、胡治國、彭聃齡, 2006)，降低學習的記憶功能，長期在有敵意環境成長的孩子，也可能提高未來得到憂鬱症與焦慮症的比例 (Medina, 2008/2009)。

這些研究說明負向的情緒、充滿敵意與壓力的環境，影響的不只是認知功能，也可能減弱個體調適壓力的能力，導致更多精神疾病的可能性，建議教學上，教師應展現開放接納的態度、提供支持與關懷的學習氣氛，此將有利於導引學生在溫情而有安全感的情境中全心投入學習活動。

5. 多元性：從大腦運作處理歷程的研究發現，同一腦區會參與多個而非單一的認知歷程，例如：負責「語言」的腦區會參與「非語言」的處理，當某特定腦區經非語言活動的操練，該區語言工作表現也會改善 (香港中文大學, 2006)，Rauscher 等人的研究，已驗證器樂的練習能提升時間空間的推理能力，多樣化的學習 (如：音樂、藝術課程等)，能促成領域間的聯結與激發，提升不同的能力；有些學習，如體育，雖無足夠的研究支持其對長期學業成就的提升，然 Taras (2005) 回顧研究報告後指出，體能活動改善短暫的注意力，對提高身體循環、增加大腦的血流量、減緩壓力的

效果卻是明確的。此外，從腦傷病人的案例，證實大腦多重記憶系統的存在，不同型態的資訊各自有比較適合的登錄方式。

腦科學的例證，為教育中多元課程平衡與多種方式學習找到立論的基礎，直接挑戰教師「想改善某學科能力，就增長特定學科學習時間」的思維，正確適配的教學方法與多種課程（此指音樂、藝術、運動）課程的學習，更符合大腦學習的特性。啟示教育者在課程安排上，除考量領域和知、情、意、動間的平衡；教學上應分析教材的特性，以彈性而多變化的策略，提供學生較適合的訊息登錄方式，或透過不同的練習方法，協助學生反覆學習而不枯燥。

6.獨特性：不同的遺傳傾向與不同環境的經驗互動，勾勒出個體獨一無二的大腦皮質地圖，例如：從功能性磁核共振儀中，神經學者觀察到小提琴家有比一般人大的小拇指皮質地圖，但即使在職業小提家中，也因其學琴年紀、練習頻率而有不同的小拇指皮質地圖。兩性大腦的結構與發展也有差異，腦科學家發現兩性大腦在語言、空間記憶、運動協調、人際相處的發展，不僅順序不同、成熟時間與進度也不相同，生理差異影響兩性感知訊息、吸收訊息和處理訊息的方式（Sax，2005/2006）。

腦科學研究提供教師對大腦整體樣貌與趨勢的理解，然獨特性提醒教師在教學歷程應考量性別與個別化經驗的影響，呈現與孩子學習風格相搭配的訊息，他們可以學得更有效率。如何敏銳覺察並正確評估學生的學習特性，運用個別差異創造出更好的學習成果，就有機會協助學生能力發展的最大化。

（二）BBCT 的四項教學導引

四項教學導引係為筆者在腦科學證據上，檢證教育學者提出的理念，結合二者的優勢，提出教學的實踐。首先，教師在引發學生的動機上，能誘導學生積極的運用感知投入；在學習情境的營造上，創造出放鬆而警覺的氣氛；在課程與教學規劃上，提供學生完整而連結的體驗；在學習回饋的歷程，採取多元而真實的評量。

1. 在積極而投入的感知中引導

許多教育學者如柯門紐斯（Comenius）、盧梭（Rousseau）、蒙特梭利（Montessori）等，均主張感官教育是一切教育的基礎，這些累積數百年經驗觀察，與腦科學中皮質發展的順序不謀而合，少了完整的感官知覺，就無法完整的學習。現今以口述文字為主、輔以少量視覺教材的學習，較難以引發學生內在深層的體認與啟發，不易形成與學生自身的連結，更無法建構起個體與教材間意義的聯繫。教學實務上，感知的引導，

應從實物或動態視覺刺激著手，結合大量聽、嗅、觸、動覺等多重感官的體驗，或從與學生切身緊要的、情感的層面，以情養智，通過恰當的情感激發，導入積極投入的學習。

2. 在放鬆而警覺的氣氛中教學

現代教育之父—裴斯塔洛齊（Pestalozzi）認為「愛的教育要先於知的教育」，馬斯洛（Maslow）亦指出，唯有愛與隸屬的需求、尊重的需求被滿足後，個體才會追求知的需求。腦科學研究證實威脅高壓的環境會導致神經傳導物的失衡，引發戰或逃的反應，反之，個體處於鬆弛而警覺的狀態，容易獲得最佳的學習效果。課室中威脅的來源，可能源自充滿敵意的教師或同儕、枯燥乏味的課業與學習的挫折，在教學實務上，教師應營造友善接納的氣氛，設立公正清楚的規定，在支持、關懷的情境，鼓勵學生投入參與、自發創新，經由二高二低（高挑戰、高新奇、低威脅、低焦慮）中獲得智性的成長。

3. 在完整而連結的體驗中學習

在傳統知識論的影響下，課程保有系統性、易評量、可傳遞的優勢，卻也帶來零碎、切割、脫離現實的後果，意義的聯結被摒逐於學習之外，知識的應用則被排除於生活之中。然天性上，我們總是關切與自身相關的訊息，自動賦予外界事物意義，源自醫學界的「以問題為導向的學習」（problem-based learning, PBL）即從學習者切身的問題而開展，由發現問題、分析問題到解決問題中統整知識，聯結真實生活。腦科學的研究指出，賦予意義後的訊息，變得更容易學習，也會額外激發大腦其他的區域，如：內前額葉皮質區。我們可說，有意義聯結的學習，是學生將學習成果內化成主體的動力根源，在教學實務上，教師應關注學習對學生的意義，鼓勵學習者自然地涵泳問題，從真實體驗中解決問題，透過自身的創造與周遭的關連中形成完整的學習。

4. 在多元而真實的情境中評量

腦科學的研究，驗證回饋對動機持續、行為改變的重要性，然而什麼樣的評量比較符合大腦特性？從大腦學習的獨特性、多元性與意義性來看，教師給予回饋評定的建議，最好能根據不同的發展特性，提供學生在真實情境下自我表達與展現的機會，透過不同來源的回饋，深化學生對自我的體認，建議教師在教學實務上，可採多元、動態與真實評量的方式，幫助學生發展獨有的長才，將評量視為自我反饋、自我建構、自我提升的歷程，而非評估成果的唯一工具。

陸、結論

綜觀我國現今與腦相關的教育研究應用，仍遊走在兩端，商界人士比教育工作者更早嗅聞出大腦研究背後帶來的龐大商機，憑藉媒體的大肆報導，推出全腦開發、皮質紋檢測，說服憂心的家長在大腦成長的敏感時期，給予不同的環境刺激，這種未深入探究而片面採信的作法，形成社會大眾對大腦研究的誤用。另一方面，有些教育工作雖不排除以腦為基礎的教育觀，卻不免質疑腦科學研究的階段性成果，徘徊於「停滯—前進」的十字路口。

此外，教育專家和認知神經科學家間也現存一些困難與挑戰：欠缺共同的背景知識和學科間相互交流的平台，但我們卻擁有共同的目標：理解腦、並改變腦。可惜現今的師資培育課程，尚未將大腦科學的學習納入基礎課程，筆者相信透過腦科學與教育領域的結合、BBCT 構念的提出，有助於此二領域專家共同對話，這些優勢包括：

一、提升判斷與腦相關訊息的能力

大眾媒體經常報導與腦相關的訊息，這些訊息可能引自不夠嚴謹的研究，也可能源自嚴謹的實驗卻被錯誤解釋，倘若教師不具備與腦相關的基礎知識，便無法發展出相當的思辨力來釐清日新月異的訊息。

二、加強教育的科學論證

在過去，人們藉由哲學的思辯來樹立課程標竿，從經驗中驗證教育法則。而今，腦科學的研究提供許多外顯行為研究無法觀察到的證據，如果我們能從分子細胞與生理結構組織的層面證明某種方法的確能改善大腦的功能，就等於以一個客觀的標準驗證課程設計與教學方法的優越性（香港中文大學，2006），特別在學習時機、課程模式與方法適切性的爭論，以及學習動機、訊息處理等內隱歷程的探討，均可透過教育心理學者與神經科學專家的合作，提出更具體、直接的證據。

三、作為教育專業更新的起始

Zull（2002）曾指出，在訊息改變如此迅速的時代，教師並不知道學生需要什麼樣的課程，而這些需求的改變，在過去十年有越來越快的趨勢。以腦為基礎的教育觀，

回溯人類學習與功能運作的核心—大腦，提供一條理解心智的根本路徑（Wolfe, 2001/2004），我們越了解它，就越能更新我們的教學專業，設計提升學習能力的課程。

四、為教育發展提供成長的動力與支持

領域的蓬勃與進步，有賴新舊思維的衝擊與整合，國力的提升，有賴腦力的開發，教師不能再滯守原地來面對時代的挑戰，如何引用新訊，是教師不斷需要學習的課題。在過去，心理學、認知科學、人類學、社會學等領域，都曾帶給教育許多啟示，而今腦科學研究，也能引領我們重新檢視傳統教育，釐清長期存在教育中的模糊性和經驗性認識，例如：學習第二外國語的時機、體育音樂課程對大腦的效益等議題。而 BBCT 構念，可將這些研究成果初化成可執行的教育構念與導引，作為教育進步的動力。

五、基於大腦的發展與特性，設計合宜課程

教學現場總是存在許多令人迷惑的現象，同樣的教法，為什麼有的學生能夠領會，有的學生就是聽不懂？學生的專注力可以維持多久？不同的教材要採用哪些不同的教學策略，才能達到較佳的學習成效？透過教育者與腦科學專家的合作，我們將越了解腦，也越能設計出符合學生學習特性的課程與教學。本研究亦期望從 BBCT 的構念，啟發未來研究者投入規劃以腦科學為基礎的教育課程，設計出以腦為基礎的課程評鑑標準。

儘管近數十年，腦科學的進展如此迅速，然在此領域仍存在著諸多未解的問題，Gruhn 和 Rauscher（2007）提醒我們必須小心檢視這些來自神經科學的研究發現、不要任意擴大期待，或認為這些策略可以直接類推到課堂教學。本文期望透過「BBCT 構念」的提出，形成腦科學和教育間的研究共識，開展合作的契機，共擬對話的焦點與議題，從中檢視原則與發展實務的課程模式、提供符合大腦學習特性的教學策略，建立起評鑑的模式，同時引發更多研究者的投入參與。「BBCT 構念」尚且無法回答所有的教育問題、卻有益於教師釐清學生的學習需求。我們相信教育者與腦科學專家，唯有透過對話才能澄清，唯有投入才能理解，並在謹慎的道路上合力創新。

參考文獻

- 王建雅 (2008)。幼兒教育概論。台北：群英。
- 呂林海 (2006)。意義建構與整體學習：基於腦的學習與教學理論核心。教育理論與實踐，26 (8)，54-57。
- 林沛穎、林昱成 (2007)。從大腦的生理機制談聽覺理解困難。特殊教育季刊，105，22-29。
- 香港中文大學 (2006)。腦神經科學與教育：中英語文教學專題研究。香港：香港中文大學出版社。
- 香港自閉症聯盟 (2005 年 9 月 13 日)。港大研究發現腦部社交區變異與自閉症的關係。香港大學新聞稿。2008 年 2 月 2 日，取自 <http://www.autism.hk/asd-news.htm>
- 許瑛珍 (2003)。閱讀障礙的成因與類別—從認知神經心理學的角度探討。國教世紀，27，23-30。
- 國家衛生研究院 (2008 年 8 月 7 日)。少男少女—語言處理，動腦不同。國家衛生研究院電子報，263。2009 年 3 月 30 日，取自 http://enews.nhri.org.tw/enews_list_new3.php?volume_indx=263&enews_dt=2008-08-07
- 陳雅玲 (2007 年 1 月 15 日)。你可以「亡羊補牢」—發育完成的大腦，仍可藉學習活化。商業週刊，999。2009 年 3 月 31 日，取自 <http://www.businessweekly.com.tw/webarticle.php?id=24055&p=2>
- 陳鐫丰 (2004)。運動對海馬迴中 BDNF 基因表現之影響。國立成功大學生理學研究所碩士論文，未出版，台南。
- 陳新轉 (2002)。「腦相容」之課程觀。教育研究月刊，102，116-125。
- 張雅婷 (2006)。皮質訊息傳遞路徑對運動所誘發的齒迴區神經新生現象的影響。國立成功大學細胞生物及解剖學研究所碩士論文，未出版，台南。
- 劉宏豔、胡治國、彭聃齡 (2006)。情緒神經迴路的可塑性。心理科學發展，14 (5)，682-688。
- 賴文崧 (2007)。腦區與功能。載於國立台灣師範大學教育心理與輔導學系舉辦「腦與教育」研習營課程講義，未出版。
- 羅勁、仁木和久、丁之光、羅躍嘉 (2003)。額葉皮層內知覺干擾與工作記憶干擾引起的抑制。心理學報，35 (4)，427-432。

- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.
- Blakemore, S. J., & Frith, U. (2007)。樂在學習的腦（游雅婷譯）。台北市：遠流。（原著出版於 2005）
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4-16.
- Bruer, J. T. (1999). *The myth of the first three years: A new understanding of early brain development and lifelong learning*. New York: Free Press.
- Burman, D. D., Bitan, T., & Booth, J. R. (2008). Sex differences in neural processing of language among children. *Neuropsychologia*, 46(5), 1349-1362.
- Caine, R., & Caine, G. (1990). Understanding a brain based approach to learning and teaching. *Educational Leadership*, 48(2), 66-70.
- Caine, R., & Caine, G. (1994). *Making connections: Teaching and the human brain*. New York: Addison-Wesley.
- Caine, R., & Caine, G. (1997). *Education on the edge of possibility*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum.
- Carlson, N. R. (2001). *Physiology of behavior*. USA: A Pearson Education Company.
- Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Bjork-Eriksson, T., Alborn, A. M., Nordborg, C., Peterson, D. A., & Gage, F. H. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4(11), 1313-1317, as cited in 張雅婷 (2006)。皮質酮訊息傳遞路徑對運動所誘發的齒迴區神經新生現象的影響。國立成功大學細胞生物及解剖學研究所碩士論文，未出版，台南。
- Frey, U. (1997). Cellular mechanisms of long-term potentiation: Late maintenance. In J. E. Donahoe & V. P. Dorsel (Eds.), *Neural-network models of cognition: Behavioral foundations* (pp. 105-128). Amsterdam: Elsevier Science Press.
- Gardiner, M. F., Fox, A., Knowles, F., & Jeffrey, D. (1996). Learning improved by arts training. *Nature*, 381, 284.
- Gazzaniga, M. (1988). *Mind matters: How mind and brain interact to create our conscious lives*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goldbrtg, E. (2004)。大腦總指揮：一個神經科學家的大腦之旅（洪蘭譯）。台北：遠流。（原著出版於 2001）
- Goleman, D. (1995). *Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ*. New York:

Bantam Books.

- Graziano, A. B., Peterson, M., & Shaw, G. L. (1999). Enhanced learning of proportional math through music training and spatial-temporal training. *Neurological Research*, 21(2), 139-152.
- Gruhn, W., & Rauscher, F. H. (2002). The neurobiology of music cognition and learning. In R. Colwell & C. Richardson (Eds.), *Second handbook on music teaching and learning* (pp.445-460). New York: Oxford University Press.
- Gruhn, W., & Rauscher, F. H. (2007). *Neurosciences in music pedagogy*. New York: Nova Science Press.
- Hart, L. (1983). *Human brain, human learning*. New York: Longman.
- Hetland, L. (2000a). *The relationship between music and spatial processes: A meta-analysis*. Unpublished doctoral dissertation, Harvard University, Cambridge, MA.
- Hetland, L. (2000b). Learning to make music enhances spatial reasoning. *Journal of Aesthetic Education*, 34, 179-238.
- Holloway, M. (2003)。用行為重塑大腦（王道還譯）。*科學人*，20，75-82。（原著出版於2003）
- Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex—developmental changes and effects of aging. *Brain Research*, 163, 195-205.
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.
- Jacobs, B., Schall, M., & Scheibel, A. B. (1993). A quantitative dendritic analysis of Wernicke's area in humans: Gender, hemispheric, and environmental factors. *The Journal of Comparative Neurology*, 327(1), 97-111.
- Jacobs, W. J., & Nadel, L. (1985). Stress-induced recovery of fears and phobias. *Psychological Review*, 92(4), 512-531.
- Jensen, E. (2003)。大腦知識與教學（梁雲霞譯）。台北：遠流。（原著出版於1998）
- Jones, P. B., & Kervin, R. W. (1990). Left temporal lobe damage in sperger's syndrome. *British Journal of Psychiatry*, 156, 570-572.
- Kalat, J. W. (1995). *Biological psychology* (5th ed.). Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Kalat, J. W. (1998). *Biological psychology* (6th ed.). Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Kandel, E. R. (2001)。透視記憶（洪蘭譯）。台北：遠流。（原著出版於2001）
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessel, T. M. (2000). *Principles of neural science*. New

- York: MacGraw Hill.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (1990). *Fundamentals of human neuropsychology* (3rd ed.). New York: W. H. Freeman.
- LeDoux, J. (1994). Emotion, memory, and the brain. *Scientific American*, 270(6), 50-57.
- Leng, X., & Shaw, G. L. (1991). Toward a neural theory of higher brain function using music as a window. *Concepts in Neuroscience*, 2(2), 229-258.
- Matinez, J. L., & Derrick, B. E. (1996). Long-term potentiation and learning. *Nature*, 47, 173-203.
- McElhinney, M., & Annet, J. M. (1996). Pattern of efficacy of a musical mnemonic on recall of familiar words over several presentations. *Perceptual and Motor Skills*, 82, 395-400.
- Medina, J. (2009)。大腦當家－靈活用腦 12 守則，學習工作更上層樓（洪蘭譯）。台北：遠流。（原著出版於 2008）。
- Merzenich, M. M., Tallal, P., Peterson, B., Miller, S., & Jenkins, W. M. (1999). Some neurological principles relevant to the origins and the cortical plasticity-based remediation of developmental language impairments. In J. Grafman & Y. Christen (Eds.), *Neuronal plasticity: Building a bridge from the laboratory to the clinic* (pp.169-187). Berlin: Springer-Verlag.
- Merzenich, M. M. (2001). Cortical plasticity contributing to child development. In J. L. McClelland & R. S. Siegler (Eds.), *Mechanisms of cognitive development: Behavioral and neural perspectives* (pp. 67-97). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rauscher, F. H. (2003). *Effects of piano, rhythm, and singing instruction on the spatial reasoning of at-risk children*. Retrived October 20, 2008, from Wisconsin Oshkosh Web site: <http://www.uwosh.edu/departments/psychology/rauscher/Rauscher%20Escom5.pdf>
- Rauscher, F. H., & Zupan, M. (2000). Classroom keyboard instruction improves kindergarten children's spatial-temporal performance: A field experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, 15, 215-228.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365, 611.
- Sax, L. (2006)。養男育女調不同（洪蘭譯）。台北：遠流。（原著出版於 2005）
- Schwartz, J. M., & Begley, S. (2003)。重塑大腦（張美惠譯）。台北：時報文化。（原著出版於 2002）

- Shore, R. (1997). *Rethinking the brain: New insight into early development*. New York: Families and Work Institute.
- Snyder, B. (1999). *Konrad Lorenz*. Retrieved May 24, 2008, from Web site: <http://www.muskingum.edu/~psych/psycweb/history/lorenz.htm>
- Sprenger, M. (1999). *Learning and memory: The brain in action*. Alexandria, VA: ASCD.
- Sylwester, R. (1995). *A celebration of neutrinos: An educator's guide to the human brain*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Taras, H. (2005). Physical activity and student performance at school. *Journal of School Health*, 75(6), 214- 218.
- Tulving, E., & Craik, F. I. M. (2000). *The oxford handbook of memory*. UK: Oxford University Press.
- White, C. P., & Rosenbloom, L. (1992). Temporal lobe structure and autism. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 34 (6), 558-559.
- Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1965). Extent of recovery from the effects of visual deprivation in Kittens. *Journal of Neurophysiology*, 28(6), 1060-1072.
- Wolfe, P. (2004)。動腦教與學：大腦研究在教學實務上的應用（梁雲霞譯）。台北：遠流。（原著出版於2001）
- Zull, J. E. (2002). *The art of changing the brain: Enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning*. Herndon, VA: Stylus Publishing, Inc.

投稿收件日：2008年11月4日

接受日：2009年5月1日