

一、背景及目的

認知神經科學為新興的科學領域，研究工具的日新月異，更帶動了各種跨領域的學科發展。腦電波（EEG）、正子斷層掃描（PET）以及功能性磁共振造影術（fMRI）探索人類學習思考的神經機制，以吸引人的視覺圖譜呈現學習歷程，加上媒體報導的加持，讓認知神經科學成了研究界的寵兒。在德國，認知神經科學近十年來更是引起教育學者的密切關注，例如：國際學生評估計畫(PISA, the Programme for International Student Assessment)德國學生表現不彰，學者認為認知神經科學可以提供立即的特效藥（Stern et al. 2006）。想要提升學生的學習成效，光是教學者傾囊相授是不夠的。從事外語教學工作，若不瞭解學生學習之腦神經機制，恐有事倍功半之嫌。近幾年「神經教學法」（Neurodidaktik）一詞，再度在德國教育界掀起討論熱潮（Hermann 2009a），更說明了認知神經科學與教學實務的結合，已經成了必然的趨勢。

何謂神經教學法？神經教學法作為獨立學門，由數學家及教材教法專家Preiß提出。神經教學法一詞早期用於特殊教育領域，其任務在於「深入探討人類的神經生物特質與學習能力之關連性，並從中獲取可用於教學的知識。在教育情境運用這些知識，應以尊重及促進人性尊嚴為宗旨。」（Friedrich 1995: 11）。Hermann (2009b: 148)主張，新時代的神經教學法應擴大至其他教育層面及學科教學，由認知神經科學的角度出發，除了解釋學習的結構、過程及問題，也應調整學習的結構與過程。換句話說，學校及課室內的學習與教學都必須參考腦科學的研究結果。

由於台灣各大學除英語系外，其他外語文學系的新生，幾乎都是以零起點的外語課程入門，奠定語言基礎格外重要。筆者認為課程設計除了培養文化及文學素養外，教學者若能融入認知神經科學的研究成果，發展外語教學之神經教學法，應該可以提升學生的外語學習的效果。目前台灣各大學外語系師資，以語言、文化或文學學者居多，筆者期以習得年齡及學習風格角度切入，透過本文介紹認知神經科學在外語習得研究之相關成果，並舉例討論其應用於大學外語或德語教學的可能性，供國內教學者參考，達到跨領域交流之目的。

二、從認知神經科學觀剖析學習

新生兒出生時的腦，重量約只有二百五十克至七百五十克，學習的過程中，腦部持續尋找刺激與變化，不斷擴張神經元之間的連結，腦的重量到青春期的可達一般成人的平均值一點三公斤左右。嬰幼兒的神經元連結較多較弱，成人的神經元連結則較少較強（Bonhoeffer & Gruss 2011）。如果以道路系統來做比喻，嬰幼兒的神經元連結猶如密密麻麻的鄉間小路，成人的神經元連結則有如高速公路，連結不同的腦區。從神經生理的觀點來看，可以用大腦皮質、邊緣系統與神經元及突觸這幾個面向來描述學習過程。筆者僅簡要敘述和語言及外語習得關係密切的神經結構，要特別提示的是，所謂和語言處理相關的腦區或中樞，並不是指該區單獨運作或負責某特定功能。語言處理過程中，整個大腦是百分百參與的，也就是所有的腦區都會活化。實驗研究文獻圖表裡常見的亮起來的腦區，其實是受試者做特定作業時，生理指標的資料運算後，統計上有顯著效果的區域，並非攝影腦運作時實際活化的狀況。

大腦皮質

大腦皮質分別在腦部兩側半球，胼胝體為連接大腦左右兩半球的神經纖維束。大腦皮質可分為額葉、頂葉、顳葉、枕葉。皮質向內凹陷的區域稱為溝，向外突出的區域為腦迴。

較早的神經語言學理論大多建立在腦傷病人的資料上。古典的 Geschwind-Wernicke 語言運作模型將語言處理的焦點置於額葉的布羅卡區（Broca Areal）及顳葉的維尼克區（Wernicke Areal）。口語產出時，活化較強的除了運動皮質外，還有布羅卡區。布羅卡區位於額葉，協調說話時複雜的肌肉運動（梅錦榮 1998：195），亦主導句法資訊的處理。左腦半球的維尼克區（Wernicke Areal）將聽覺訊息轉換成有意義的單位，在語言理解時扮演了舉足輕重的角色。弓狀束（Arcuate fasciculus）是位於 Broca 區和 Wernicke 區之間的主要神經傳導通路，連結語言感知與運動區。除了古典的 Geschwind-Wernicke 模型，以俄國神經科醫生 Luria 為首的歷史文化學派，則是認為腦的定位系統是動態的，反對狹義的解剖關聯理論，也不接受極端的大腦功能整體學說，主張語言處理兼具腦區的分工與合作（崔剛 2015：114）。

較新的理論融入了語言固有的特質，將語言處理視為音韻處理與語意處理的交互作用，音韻處理路徑為後下顳葉至下額葉，語意資訊則由顳葉端(temporal pole)到枕顳皮質(Chang 2015)。由於功能性磁共振造影術應用於神經語言學研究的情況越來越普及，研究對象也不再侷限於失語症患者，而是擴展至健康的受試者。這類研究顯示，除了古典理論所提及的腦區，也有許多腦區和語言處理相關，所謂的語言專屬的腦區其實變異性很大(回顧見 Price 2000)。

邊緣系統

邊緣系統位於腦中央，包含海馬體(Hippocampus)、扣帶迴(Gyrus cinguli)與杏仁體(Amygdala)。主導神經傳遞介質的分泌，有的神經傳遞介質會活化腦部活動，有些則會發揮抑制作用。海馬體是記憶中樞，處理其他腦區的知識，將其轉換成長期記憶。海馬體若受損，可能會造成暫時性或長期失憶。杏仁體為情緒中樞，引起情緒反應的事件記憶都與它有關。邊緣系統就像守門人，外界資訊進入大腦皮質處理前，會依照該資訊或刺激的熟悉度、重要性及情緒因素，決定是否繼續處理該資訊，掌管資訊的前置過濾工作。

從前認知心理學家論及學習歷程時，有很長一段時間忽略了邊緣系統。追究原因，是因為過去一直把學習歷程比擬為資訊處理的歷程(Anderson 1996)。根據 Anderson 的定義，學習過程是理性的：教學者以語言傳送含有意義與知識的資訊，學習者以資訊處理系統接受解碼，連結過去的知識，運用思考規則，把知識儲存在長期記憶裡，需要時再提取使用。換言之，學習就是處理及儲存知識，要提升學習效果，只要把資訊處理相關的機制優化即可。實際上，認知神經科學早已證實，知識是無法由甲腦傳遞至乙腦的，「而是必須個別在腦中重新建構創造的，這個過程牽涉許多因素，而且這些因素都是在無意識的狀態下進行的，很難受影響。」(Roth 2009：58)

學習並非純理性的資訊處理，這項研究發現重啟人們對邊緣系統的重視，因為邊緣系統處理情緒、感覺及動機，資訊進入大腦皮質前，邊緣系統會先評斷資訊是否重要、是否和既有的知識相關、資訊是否有利個人及資訊是否為愉悅的，只有在學習者認為這些資訊是切身相關的，資訊才能進入大腦皮質進一步處理，甚至進入長期記憶。教學者無法直接影響學習者學習的過程，但是可以操作學習環境(課堂)的感知、認知條件及

學習氛圍。任何一個教學者觀察課堂學習時，都可以肯定學習動機和學習氛圍對學習成效影響甚鉅。只有在學習者想學、認為所學和其切身相關或有利時，教學者所傳遞的知識技能才能被「吸收」。學習者學習意願若是不高，任憑教學者如何滔滔不絕，也無法引起學習者的注意，更遑論有效學習了。上課時，在學習者沒有主動意識的狀況下，邊緣系統不斷評估內容是否「值得」聽、值得注意甚至值得練習。所以說邊緣系統掌握學習是否成功的關鍵，一點也不為過。

神經元與突觸

神經元就是神經細胞，結構上大致可分為包含細胞核的細胞體和神經突兩部分¹。語言刺激傳入時，離子濃度改變，細胞膜內外產生電位差，樹突接受刺激，將神經脈衝傳到細胞體，軸突將脈衝從細胞體傳到軸突的末端。神經元之間的連結，要靠突觸(synapse)²釋放神經傳遞介質，引發電位的傳導，達成溝通的目的。刺激訊號越強，釋放出的神經傳遞介質越多。一個神經元可建立 10000 至 15000 個突觸連結，一千億個腦神經細胞就能建立 10^{16} 個突觸連結 (Trepel 2008)。學習就是在反覆的刺激下，藉由突觸的連結，建立穩固的神經元之間的連結。人類出生時神經元的數量就已經和成人相差不遠，出生後到七歲前，神經元並不會增加太多。相較之下，突觸連結數量以驚人的速度急遽增加。這也解釋了為何這個年紀的兒童和成人相比，語言學習特別迅速有效率。

不同的學習過程會引發相關神經元連結的改變，新知識會依附在既有知識的神經元連結，這就是突觸的可塑性。學習會讓突觸之間的連結重新組合，或改變突觸之間連結特性。換言之，學習可比擬為大腦皮質中的既有知識的重組過程 (Spitzer 2000: 95)。以這樣的定義出發說明外語學習：當學習者接觸一個新的詞彙時，他必須將新詞彙與母語對等或相當的詞彙連結，或者提取其他外語的心理詞彙庫內有的知識 (Dijkstra 2002)。學習外語時，原有的神經連結因刺激而改變，若外語知識重複刺激，則相關的神經連結會更趨穩固獨立，未來同樣的刺激出現時，神經連結傳導的速度便會變快。當然，前提是邊緣系統判定該刺激是重要的，沒有在第一時間點淘汰它，將訊息送達大腦皮質區處

¹神經元細胞本體延伸出長的神經纖維，稱之為軸突，而在細胞本體週邊像樹狀的突起短纖維，則稱之為樹突。神經元的構造主要由細胞本體、軸突以及樹突三者所構成。

²突觸是指神經元軸突的末端與另一神經元樹突功能性連接，但未接觸的區域 (袁本治 2016)。

理。正面的情境下處理刺激，有助於邊緣系統傳導訊息的工作。

三、重要文獻回顧：習得年齡

「別讓你的孩子輸在起跑點上」，反應了華人社會典型望子成龍、望女成鳳的價值觀。坊間眾多的廣告、雙語幼稚園及英語補習班，不斷暗示我們一個觀念：幼兒及兒童時期才是外語學習的關鍵時期。果真如此，大學非英語的外語教學該何去何從？外語習得關鍵期的問題並不單純，很難抽離為獨立的單一學習者因子，因為語言學習是持續進行的動態行為，語言精熟程度和習得年齡具有某種程度的相關，探討外語學習關鍵期的神經機制時，必須也考量語言精熟度的影響。再者，習得年齡在不同層次的語言能力表現的影響程度也不同，語意處理能力較不受習得年齡早晚左右。相較之下，音韻處理能力表現則和習得年齡密切相關。

第二語言習得關鍵期假說是由 Johnson 與 Newport (1989)提出的，他們研究韓文—英文的雙語者，發現七歲以上才習得第二語的學習者在句子句法判斷作業的正確率顯著變差，七歲以前習得第二語的學習者則可達母語者的水準，於是下了一個結論：七歲是學習第二語的關鍵期。Bialystok & Hakuta (1994)使用同樣的研究方法，但將分組的年齡提高為十六至二十歲，原本七歲關鍵期的差異便消失了。後來有學者針對不同語言的雙語者研究 (Birdsong & Molis 2001)，也沒有發現習得年齡的組別差異。所以就句法處理能力而言，關鍵期的假說似乎沒有強烈的實證支持。

除了句法作業以外，音韻處理的行為研究也可觀察到習得年齡造成的差異。這一點相信所有的外語老師都可以在學習者身上驗證。越早學習第二語的學習者，大多字正腔圓，越晚學習外語的學生，說外語時常常無法擺脫母語的腔調，而且練習帶來的效應有限。第二語的腔調和第二語的習得年齡呈現清楚的負相關，這一點已經有行為研究證實（例 Piske et al. 2001）。此外，早期雙語者區辨第二語的母音能力比晚期雙語者佳（Flege & MacKay, 2004）。

國內也有針對第二語學習的起始年齡與學習成就的相關研究，研究主體多以大學生的英語學習為主。多數研究的確發現習得年齡對英語成就有整體作用，國中以前開始的比國中開始之後的好，尤其反應在聽力優勢上（回顧見張顯達 2006:77）。張顯達（2006）的研究也指出，雖然英語學習的起始點在國中之前的學生，在聽力與閱讀的表現都比國

中之後學英語的學生好,但是起始點為幼稚園或是小學三年級之前,英語成就並無差別,也就是說,學習外語越早越好的說法並不成立。

總結來說,行為研究雖然沒有證實第二語學習的絕對關鍵期,卻可觀察到習得年齡對第二語學習的整體性作用。不管是句法及音韻處理能力,習得年齡越早,第二語的表現越佳,習得年齡越晚,語言表現較差(Singleton & Ryan 2004)。目前學術界也普遍傾向以敏感期的概念取代關鍵期。

關於習得年齡在神經迴路上造成的效果,第一語和第二語的神經迴路是否有區別,腦科學文獻討論眾說紛紜,有研究支持習得年齡早晚造成相關的神經活動差異(Kim et al. 1997),也有研究指出,語言的精熟程度才是造成神經活動差異的關鍵因素(Friederici et al., 2002)。Kim 等人的研究距今已有二十年,但是他成功的將語言習得研究發表在自然科學的首席期刊上,為語言學與神經科學跨領域研究必引的經典文獻。這個研究把分析的重點腦區放在布羅卡及維尼克區,發現第二語習得年齡較晚的受試者,處理第一語和第二語的腦區為左前額下迴鄰近但不重疊的區域。早期習得第二語的雙語者,第一語和第二語在左前額下迴的活化腦區則幾乎重疊。這個結果暗示第二語學習敏感期的存在。暫且不論不同的神經迴路有無優劣之分,這個發現清楚揭示了,習得年齡晚者之第二語使用的神經迴路是和母語不同的。

Chee 等人(1999)重複了 Kim 等的實驗,只是兩組受試者的第二語精熟程度都較高。這個實驗並沒有發現習得年齡造成神經活化區域的顯著差異,換言之,即使第二語的習得年齡較晚,如果精熟程度較高,處理第一語及第二語並沒有大腦皮質表徵的差異。只有在第二語精熟程度較差時,才有所謂的第一語和第二語的神經迴路差異(Chee et al. 1999; Friederici et al. 2002; Pallier et al. 2003)。

第二語的習得年齡是否造成神經迴路的差異,上述的結果看起來似乎互相矛盾,其實只是顯示了語言行為研究的複雜性,由於習得年齡和語言精熟程度還是有某種程度的相關,單切一個時間點為研究向度,可以預見研究結果會有歧異。因此,討論第二語習得的神經迴路時,以發展角度來觀察,可能比較有意義。觀察雙語者處理第二語神經迴路的發展軌跡,可以發現語言功能腦側化的現象,會隨著習得年齡增長漸漸停止(李如憲&曾志朗 2016)。再者,實驗的語言作業差異,也會造成神經迴路的差異,故在此分別討論句法處理和音韻處理的相關腦區。

在句法處理層次,Weber-Fox 和 Neville (1996)的事件相關電位研究指出,違背句法

規則的作業中，單語者和早期雙語者顯示連結神經活動上的差異，第二語習得年齡越晚，兩側腦半球的活化越多。早期雙語者處理第二語也是左側腦區活動為主。Wartenburger 等人 (2003) 的研究發現，在句法作業上，同樣為高精熟度的晚期雙語者較早期雙語者引發左右腦額下迴(bilateral IFG)的活化較大。語意作業中則僅有相對晚期雙語者有處理第一語及第二語的反應差異。Janiska 與 Pettito (2013)比較一出生就接受雙語環境的兒童和較晚接觸雙語的兒童，發現晚期接觸雙語兒童進行句法及語意判定作業時，有較強的前額葉活化。其他研究亦支持習得年齡越大，第二語處理的皮質活化相較於母語，差異也越大(Weber-Fox & Neville 2001)。

音韻處理層次方面，早期雙語者處理音韻訊息時，神經活化型態以早期發展的感知運動系統為主，左腦顳上迴、右額下迴、中央前迴及右顳上迴等區有較大活化。晚期雙語者則以較晚成熟的前額葉運作為主 (Hernández et al., 2013)。筆者將習得年齡造成的神經活化效果整理如下：

作業	第二語習得年齡早	第二語習得年齡晚
句法處理	左側活化為主 (Weber-Fox & Neville 1996)	兩側腦半球活化多 (Weber-Fox & Neville 1996); 左右額下迴 IFG (Wartenburger et al. 2003); 前額葉活化較強 (Janiska & Pettito 2013)
音韻處理	左腦顳上迴、右額下迴、中央前迴及右顳上迴等區有較大活化(發展上早期成熟的感知運動皮質) (Hernández et al. 2013)	以前額葉運作為主(較晚成熟的皮質)(Hernández et al. 2013)

表一：第二語習得年齡早晚在句法作業及音韻作業引起的神經迴路差異

從發展的角度來看雙語者處理語言的神經迴路，習得年齡造成的神經活動差異主要反應在句法處理及音韻處理上，語意處理相關的神經迴路較不受習得年齡影響。第二語接觸的年齡早晚，和修正改變大腦迴路的結果有關。接觸得越早，越能使用演化而來先天設

定的語言處理機制，也就是以左側化的腦區為主。「第二語習得年齡越大，則語言處理機制功能性左側化的反應趨於緩和穩定，並同時朝向擴散性的神經迴路相互連結的型態發展」。(李如蕙&曾志朗 2016: 167)。

四、重要文獻回顧：學習風格

身為外語教學者，可能經常被學生問及，到底要用什麼方法，才能背好單字、學好語法，把外語學好。常見的回答是：「根據你的學習風格而定。」如果你是文字型的，那你可能得多閱讀幾次。如果你是聽覺型的，可能得反覆聽。筆者任教的學校，大一新生入學時，學校會調查學生的學習風格，依照學生偏好的學習方式，建議學生適合的上課或作業型態。學習風格這個概念不僅在教育界很流行，在心理學也是熱門的討論話題：每個人都有自己偏好的資訊處理方法。乍看之下，這樣的理論似乎沒錯，課堂上的確可以觀察到各種不同的學習風格和學習偏好習慣 (Willing, 1993)。有些學習者拿著筆拼命抄，有些學習者喜歡在筆記上畫插圖做表格，有些學習者喜愛視覺圖片刺激。

再者，學習風格很容易被學習者拿來當學習效果不佳的藉口。學習成果不佳時，可以把責任歸咎教學方法不符合學習風格。坊間非常流行學習風格的測驗，這類測驗暗示學習者，只要確定學習風格，善用同一種方法練習，就能保證良好的學習效果。

行為研究文獻指出，學習成就和學習者偏好的資訊處理方式並沒有直接關聯 (Pashler et al. 2008)。一般人認為學習風格會影響學習表現，其實和學習者的主觀自我學習判斷意識有關。Knoll 等人(2017)的研究裡，施測者先請受試者填語文－視覺認知型態量表 (VVQ, Verbalizer-Visualizer Questionnaire)，接著每位受試者都得學習一組以語文表達的詞彙和一組以圖片表達的詞彙，接著自我判斷學習風格為何，最後以線索回憶測試評量學習成果。實驗發現，語文認知型態分數越高，自己判斷為語文型的分數也越高；同理，視覺認知型態分數越高，自我判斷為視覺型的分數也越高。另一方面，語文－視覺認知型態量表的分數和線索回憶評量的分數及自我判斷學習風格的結果並沒有相關。換言之，學習者自我判斷的學習風格，和客觀量表評估出來的學習風格，並不一定一致，而且學習風格和學習表現並沒有關聯。也就是說，學習者可能一廂情願認為自己是視覺型學習風格，卻不知其實自己語文認知能力並不亞於視覺處理能力，或語文認知方式更能提高學習成效，更沒有意識到成績和學習風格其實關係不大。「一個人偏好

的學習方式和有效率的學習方式是兩回事，再者，個人偏好的學習方式並不是學習風格，一般所謂的學習風格只是用來區分不同組別的類型，...，大部分支持學習風格的研究，並沒有達到科學的信度標準」(Kirschner 2017: 166)。儘管學習風格是普遍常見的現象，卻僅僅是學習者在有意識狀態下學習時的偏好，和學習表現卻完全是兩回事。學習的偏好並不能保證最佳學習效果 (Norman 2009; Macedonia 2015)。這也難怪 Kirschner 要在最近的論文裡疾呼停止宣揚學習風格的神話了。

教學者該配合學習者的學習偏好嗎？配合學習偏好是否能改善學習成效？Massa 與 Mayer (2006) 調查不同學習風格的受試者，發現他們學習新知的表現其實沒有差異，也就是學習風格沒有優劣之分。Massa 與 Mayer 的實驗裡，針對不同學習風格的受試者，提供兩種學習方案：給予文字型學習者輔以文字資訊，針對視覺型則是輔以圖片資訊。實驗發現，視覺型的學習者和文字導向的學習成就，並沒有因為得到偏好的學習管道而改善，也就是配合學習風格並不會改變學習成就。

不管學習者的學習風格為何，學習環境是否與學習風格媒合，從資訊感知管道來看，不管是年輕或年長的學習者都比較容易吸收圖片傳達的訊息 (Constantinidou & Baker 2002)。圖片對於第二語詞彙學習的幫助也很大，最近已有不少認知神經科學實證研究證明圖片的確有加強詞彙記憶的效果 (Bisson et al. 2014; Takashima et al. 2014)。學習外語詞彙如果搭配肢體動作，不僅可以提升詞彙短期記憶效果，更能使詞彙儲存至長期記憶，其效果遠比光以聽或閱讀學習詞彙的方式好 (Macedonia et al. 2011; Mayer et al. 2015)。

從神經連結迴路的觀點來看，首次學習一個語言或詞彙時，整個神經網絡首次以特別的方式活化。要把這個資訊記下來，必須可以重新提取相同的活化模式。神經網絡跟著外在刺激及環境特性調整：神經細胞活化時，神經細胞之間的連結會被註記下來。有用的突觸會擴建，沒有用的會被修剪。當某個神經細胞經常被另一個神經細胞刺激時，其連結會逐漸穩固，未來再次活化時也會比較容易。這便是所謂的長期增強作用 (Long-term potentiation, LTP)。長期增強作用的相反機制為長期抑制作用 (Long-term depression, LTD)。因為缺乏刺激讓神經迴路之間的連結穩固，沒有用的突觸會漸漸退化，訊息傳導長期下來會越來越衰弱。學習風格也是如此，如果學習者認為自己適合視覺型的學習方法，就會掉入自己設下的陷阱，久而久之，他本來就擅長的視覺資訊處理會越來越強 (長期增強)，原本不擅長的聽覺資訊處理會荒廢而受到長期抑制。結果學

習者的聽覺學習管道可能就此衰弱，語言聽力可能無法提升。

腦的思考模式像網絡一樣，學習時，腦會調整神經細胞之間的連結。資訊會被分工處理，所以單一的學習管道效果並不好。學習風格的觀念看似理想，但似乎過度簡化了腦的認知歷程，也有礙多重感知的運用能力。假設學習風格真的存在，照理應該可以找到腦解剖或功能上的證據。事實上，目前仍然沒有神經科學研究找到可以支持學習風格理論的相關證據。相反的，單一學習者如果能夠同時運用不同的學習風格，以不同的感知管道學習，學習成效最好（Romanelli et al. 2009）。

腦活化模式越廣泛，模式越穩固，重新提取也較容易。舉例來說，學習德文 Himbeere 這個詞時，如果除了聽以外（聽覺皮質活化），如果能看見真的覆盆子（視覺皮質活化），動手寫一下（運動皮質活化）、觸摸一下甚至嚐嚐看（感知運動），這個詞的表徵便能建立在多重經驗的神經網絡上（Pulvermüller & Fadiga 2010）。這個道理就像我們聞到臭豆腐的味道時，眼前可能會浮現夜市賣臭豆腐的攤子一樣。由此可知，依照個人學習風格去背單字的效果，一味使用單一方法，反而限制了大腦學習的可能性。

五、認知神經科學與外語教學實務

筆者個人經驗，身為新手教師進入課堂時，大多以自己學習歷程及經驗來備課，講求的是教學者本身傳播知識的深度和廣度，較少注重學習者特性。教學者在台上傾囊相授，講得滔滔不絕，卻發現學生反應不如預期，學習效果更與教學者的努力不成正比。台上一分鐘，台下十年功，經驗的累積可以造就優秀的教學者。除了向資深教學者請益，參考認知科學的研究成果，也可以提供教學者一個方向。認知神經科學已不再侷限在基礎研究領域，它大幅地改變了人們對學習認知的理解，也可用來檢測教學法的成效。以下筆者將以文獻的重要發現為軸，討論認知神經科學對外語教學實務(以大學德語教學為例)的啟示，提出教學想法。

邊緣系統與學習

現代認知神經學習理論特別強調邊緣系統的角色，因為海馬迴、扣帶迴及杏仁體扮演了資訊的把關角色。一旦邊緣系統判定刺激是無關緊要的，接下來的課程內容再怎麼

豐富，恐怕學習者也不會把這個資訊繼續傳遞到大腦皮質區處理。對教學者來說，如何讓學習者感受教學內容「切身性」便是首要課題。台灣的大學生學習德文，大多缺乏在日常生活中使用德語的機會，德語對學生來說仍然有相當的距離感。

以講解德語語法未來完成式 Futur II 來說，傳統的語法教學以教學者為中心，通常是教學者講解語法規則後，直接給學習者例句。筆者也非常贊成給學生例句，讓學生對該語法規則有初步的認識。有經驗的教學者都知道，語法規則講得再仔細再清楚，都沒有學生親自實做來得有效。認知神經科學研究也證實了，知識不會從教學者的腦直接傳達到學習者的腦，學習者必須重新建構知識。回到未來完成式的例子，這個語法最常用的功能就是預測未來某事可能會完成，如果能用科幻場景為例，讓學生自己先建構用到這個語法的場景，即使不直接用德文，而是用中文（依附既有的神經網絡），至少，場景是由學習者來創造，就朝「製造切身性」進了一步。想像場景和實際經歷場景在神經迴路的效果是一樣的。建構語法場景時，如果可以實際運用學習者的姓名（中文無妨）、關心的議題、背景，再讓學習者運用語法知識造句，這個句子就不再是教學者提供的遙不可及的句子，而是和自己有關的。例如：教學者請學習者想想西元二三〇〇年世界應該是什麼樣子，可先詢問學生平常最喜歡做什麼事，學生如果回答旅行，再請學生想想二三〇〇年人類的旅行方式為何，可以到什麼地方旅行等，再應用 Futur II 的語法來造句。

邊緣系統主掌情緒處理，對學習情境反應敏感，學習情境如果引發負面聯想，可能會造成學習者無法繼續處理資訊。這種「引導式」的造句練習除了漸進式地拉近學生和語法的距離，也幫助教學者營造正面愉快的學習氛圍，讓邊緣系統分泌增強突觸連結的神經傳遞介質，打開關卡，使語法知識進入皮質層處理，成為學生切身的語法知識。即使沒有神經科學的提示，經驗豐富的教學者也非常清楚教學情境氣氛和提高學生的動機非常重要，因此帶著一顆愉悅心情進入課堂，營造輕鬆自然的上課氣氛，也是教學者時時刻刻要提醒自己的。

學習依附在既有知識的神經元連結

教學者都有這樣的經驗：學生有時候會提出一些千奇百怪的問題，例如：為什麼這個介系詞一定要和與格 Dativ 連用，為什麼另一個介系詞又非得跟受格 Akkusativ 連用？

針對這種「為什麼」的問題，筆者也經常被問得啞口無言，語言使用就是約定俗成，語言學家能做的也就是整理出一個適合用於教學的語法，讓學生有系統地學習。然而，學習者即便得到一個解釋或答案，懂得該語法來龍去脈，也不表示他就能應用該語法規則。中文和德語分屬兩支不同的語系，語法差異很大，有些德文語法概念根本沒有對應的漢語語法可以對照。再者，即使解釋得鉅細靡遺，也不代表學習者真的「記得住」。

前文提到學習為大腦知識的重組，第二語詞彙學習依附在母語的心理詞彙庫。使用既有的突觸連結學習新知，母語的角色不容忽視。過去的外語教學強調課程應該盡量以目的語輸入為主，以求快速提升學習者的外語程度。這類主張過份消極強調母語的角色，反而忽略了初級階段的學習者應透過母語先建立足夠的詞彙量，才能達到閱讀目的語的目標（賈冠杰 2008）。

認知神經科學的研究，其實早就被坊間教學或教材研發商，搶著發揚光大。坊間這些所謂的「神經學習法」水準參差不齊，其中不乏誇大不實的說法，例如學習風格、右腦開發。然而仔細檢視這些方法，筆者也發現幾個非常值得一試的方法，例如以顏色（現有的神經迴路）記憶德語詞性或介系詞的特性。要掌握德語的格位語法，奠定名詞詞性基礎是非常重要的。筆者曾在課堂請學生將德語詞彙依顏色區分做單字手冊，例如陽性詞彙使用藍色，陰性詞彙使用紅色，中性詞彙使用黑色，並請學生做筆記時分別紀錄在不同的筆記本或不同的欄位，避免空間記憶混淆了顏色的記憶。這個以顏色分詞性的實驗為時兩學期。由於這個實驗為自願性質，參與的受試者樣本數並不是很大，所以筆者僅能從幾位學生的口頭訪談中取得質性反饋。大部分用此法學習詞彙的學生表示，記得某個詞彙的顏色，比記得它的冠詞容易得多。由於德語名詞的冠詞詞性本身並沒有具體意義，所以要記憶名詞的冠詞詞性特別困難，於是有教學者提出圖片聯想記憶術有利詞性學習的主張，建議學習者以某具體圖像來取代冠詞，並與要記憶的名詞做圖像聯想，如此便能有效促進名詞冠詞詞性的學習效果（Heinrich 2016）。

Sperber 早在 1989 年就曾經指出，儘管記憶術對於學習意義匪淺，但是德語做為外語的教學現場仍然鮮少應用。教學者經常要求學生要記憶資料，但卻鮮少傳授記憶術。本文並不是要否定傳統智性教學法的重要性，而是希望從認知神經科學的角度去檢視坊間外語教學法或學習術，對大學的外語教學有何啟示。

外語學習的敏感期，配合發展軌跡

外語學習沒有絕對的關鍵期，儘管大學外語學習者的年齡已經超過了所謂的敏感期，語意學習方面仍然可達母語水準。相較之下，晚期外語學習者的音韻處理較難達到母語水準，也需要學習記憶文法規則，才能確保句法的正確度。從發展軌跡看來，早期習得第二語者的語言腦側化明顯比晚習得者明顯。晚習得者的神經迴路範圍較大，經常分佈在兩側腦葉，其實和筆者支持的多元學習如出一轍。晚習得者較不依賴演化而來的左側化腦區，而是隨著發展軌跡擴展。多元的學習管道活化腦區範圍較大，突觸連結較穩定，神經傳導速度較快。大學德文系學生學習德文起始點晚，音韻處理能力較弱，大一的語言練習課程格外重要。先會唸、先會聽再處理語意，是語言學習的普遍原則（Rueckl et al. 2015）。筆者以為，這個研究成果可當為課程時數及順序安排的考量，例如：大一基礎課程以口說聽力為主，大二以上才漸進式帶入系統性的語法教學。

學習風格神話：多元管道、用進廢退

儘管沒有科學證據，學習風格的迷思在教學實務上仍然佔有一席之地，筆者並不是要反駁「適性教學」的原則，而是希望從另一角度思考，帶給教學者及學習者一個新的觀念：學習風格和學習成效並沒有關係，不要受限學習習慣，換個方法學說不定會有意想不到的效果。以突觸連結用進廢退的觀點來看，外語教學與學習都應朝多元管道方向進行，穩固神經活化模式。從教學的技術層次來看，一個班級學生之多，同質性不一定很高，若真的要「適性」配合每一位學習者偏好的學習管道，恐怕顧此失彼。提供多元教學策略與學習管道，不僅讓每位學習者都有機會接觸到自己習慣的方法，也有機會開發其他學習潛力，增進學習成效。

雖然現行大學外文系課程，大致已朝聽、說、讀、寫不同的管道分門開課，但筆者想提倡的卻是單一課程內的多元教學。以國內大學德語詞彙課程為例，已有實證研究指出學生對多元教學法的接受程度高，也期待教學者提供不同的教學策略。葉聯娟（2007）的研究指出，除了在文段、單句中學語詞、單詞解說、造句和填空練習的傳統教學外，交互使用「智性教學、模擬語境的教學、語言遊戲、教室外實地實習、線上測驗」，對於「改善單純背誦記憶的語彙學習行為，提高學習者的學習動機及學習效果，多元詞彙

教學法的嘗試是極具意義的」(頁 238)。在葉聯娟(2008: 54)另一個囊括台灣及大陸學習者的量化研究中，更強烈支持多元教學法對學生的學習行為產生正向影響，「包括讓學習者的詞彙學習多元化——降低學生對『背誦強記學習法』的依賴——以及提高學生對自己詞彙學習行為的自覺和自主程度」。

進一步以語法課程為例，礙於台灣的學習者在升學壓力下，學生已經被教學者訓練成聽老師講課、記筆記的學習習慣，仍然非常偏好文字學習，任何文法規則都必須有清楚的文字說明，學習者才會覺得可以「理解」。如果教學者一味配合學生的學習偏好，可能只是令學習者主觀認為該方法有效。學習者反而沒有機會發掘其他管道可能更能提高學習成效。研究指出，學習者如果能夠同時運用不同的學習風格，以不同的感知管道學習，學習成效最好，圖片可以增強記憶成效，結合肢體動作更容易讓外語知識進入長期記憶。筆者認為，即使是文法規則這種看似只能以文字說明的內容，也應該以不同的感知管道傳授，例如在教授介系詞時，除了以文字及圖片說明，也可融合觸覺感知管道，給學習者實物操作，加強神經突觸的連結。

教學者使用的教學法也會影響學生的學習行為。身為教學者，光是配合學生的學習風格，很可能抹殺了大腦學習的可能性與可塑性。因此，教學者一方面可參考認知神經科學研究，發展外語教學的神經教學法，另一方面也應該鼓勵學習者打破學習風格的迷思，嘗試多元學習。

六、結論、限制與展望

神經教學法其實不是科學界的新鮮事，資歷豐富的教學者早就從經驗法則中，不知不覺應用大腦科學新知，實施了神經教學法。然而，結合認知神經科學與外語教學，讓教學者更進一步瞭解學習者的心智歷程，可以更有信心、更有科學根據去調整、優化教學法。認知神經科學研究應用範圍廣泛，除了提供教學者教學靈感、幫助教學者瞭解學習認知歷程外，更可用來檢測教學法的理論和效果。筆者前所列舉的以德語為例的教學策略，尚處於初探階段，下一步應該朝實證檢測、使用質性分析與量化研究進行教學策略研究，比較傳統課程和神經教學法課程的學習成效。新世紀的外語教學應建立在實證基礎上(evidence-based)。認知神經科學提供了另一個選擇視角，身為外語教學者，除了分析語言材料，也應該關心認知神經科學的新知，參與跨領域研究。

致謝

感謝兩位匿名審查者的寶貴意見及淡江大學外語學院重點研究計畫之經費補助。

七、參考文獻

- Anderson, J.R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg/Berlin/Oxford: Spektrum.
- Bialystok, E., & Hakuta, K. (1994). *In other words: The science and psychology of second-language acquisition*, Basic Books.
- Birdsong, D., & Molis, M. (2001). On the evidence for maturational constraints in second-language acquisition. *Journal of Memory and Language*, 44(2), 235-249.
- Bisson, M., Heuven, W. J., Conklin, K., & Tunney, R. J. (2014). The role of repeated exposure to multimodal input in incidental acquisition of foreign language vocabulary. *Language Learning*, 64(4), 855-877.
- Bonhoeffer, T., & Gruss, P. (2011). *Zukunft Gehirn: Neue Erkenntnisse, neue Herausforderungen; ein Report der Max-Planck-Gesellschaft*, CH Beck.
- Chang, E. F., Raygor, K. P., & Berger, M. S. (2015). Contemporary model of language organization: An overview for neurosurgeons. *Journal of Neurosurgery*, 122(2), 250-261. doi:10.3171/2014.10.JNS132647
- Chee, M. W., Tan, E. W., & Thiel, T. (1999). Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 19(8), 3050-3056.
- Constantinidou, F., & Baker, S. (2002). Stimulus modality and verbal learning performance in normal aging. *Brain and Language*, 82(3), 296-311.
- Dijkstra, T., & Van Heuven, W. J. (2002). The architecture of the bilingual word recognition system: From identification to decision. *Bilingualism: Language and Cognition*, 5(3), 175-197.
- Flege, J. E., & MacKay, I. R. (2004). Perceiving vowels in a second language. *Studies in Second Language Acquisition*, 26(1), 1-34.
- Friederici, A. D., Steinhauer, K., & Pfeifer, E. (2002). Brain signatures of artificial language processing: Evidence challenging the critical period hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(1), 529-534.

- Friedrich, G. (1995). *Die Praktikabilität der Neurodidaktik*. Frankfurt, Main u.a.: Lang.
- Heinrich, P. (2016). Deutsch lernen mit Mnemotechniken. Retrieved from <https://www.beste-tipps-zum-deutsch-lernen.com/>
- Herrmann, U. (2009a). Neurodidaktik - Neue Wege des Lehrens und Lernens. In U. Hermann (Ed.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. (pp. 9-16). Weinheim: Beltz Verlag.
- Herrmann, U. (2009b). Gehirnforschung und die neurodidaktische Revision schulisch organisierten Lehrens und Lernens. In U. Hermann (Ed.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. (pp. 148-181). Weinheim: Beltz Verlag.
- Hernández, M., Martin, C. D., Barceló, F., & Costa, A. (2013). Where is the bilingual advantage in task-switching? *Journal of Memory and Language*, 69(3), 257-276.
- Jasinska, K. K., & Petitto, L. (2013). How age of bilingual exposure can change the neural systems for language in the developing brain: A functional near infrared spectroscopy investigation of syntactic processing in monolingual and bilingual children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 6, 87-101.
- Johnson, J. S., & Newport, E. L. (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21(1), 60-99.
- Kim, K. H., Relkin, N. R., Kyoung-Min, L., & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388(6638), 171.
- Kirschner, P. A. (2017). Stop propagating the learning styles myth. *Computers and Education*, 106, 166-171. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.006>
- Knoll, A. R., Otani, H., Skeel, R. L., & Van Horn, K. R. (2017). Learning style, judgements of learning, and learning of verbal and visual information. *British Journal of Psychology*, 108(3), 544-563. doi:10.1111/bjop.12214
- Macedonia, M., Müller, K., & Friederici, A. D. (2011). The impact of iconic gestures on foreign language word learning and its neural substrate. *Human Brain Mapping*, 32(6), 982-998.
- Macedonia, M. (2015). Learning styles and vocabulary acquisition in second language: How the brain learns. *Frontiers in Psychology*, 6, 1800. doi:10.3389/fpsyg.2015.01800
- Massa, L. J., & Mayer, R. E. (2006). Testing the ATI hypothesis: Should multimedia

- instruction accommodate verbalizer-visualizer cognitive style? *Learning and Individual Differences*, 16(4), 321-335.
- Mayer, K. M., Yildiz, I. B., Macedonia, M., & von Kriegstein, K. (2015). Visual and motor cortices differentially support the translation of foreign language words. *Current Biology*, 25(4), 530-535.
- Norman, G. (2009). When will learning style go out of style? *Advances in Health Sciences Education*, (14), 1-4.
- Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J. B., LeBihan, D., Argenti, A. M., Dupoux, E., & Mehler, J. (2003). Brain imaging of language plasticity in adopted adults: Can a second language replace the first? *Cerebral Cortex*, 13(2), 155-161.
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest: A Journal of the American Psychological Society*, 9(3), 105-119. doi:10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x [doi]
- Piske, T., MacKay, I. R., & Flege, J. E. (2001). Factors affecting degree of foreign accent in an L2: A review. *Journal of Phonetics*, 29(2), 191-215.
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *The Journal of Anatomy*, 197(3), 335-359.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: Sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(5), 351-360.
- Romanelli, F., Bird, E., & Ryan, M. (2009). Learning styles: A review of theory, application, and best practices. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 73(1), 9.
- Roth, G. (2009). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In U. Hermann (Ed.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. (pp. 58-68). Weinheim: Bletz.
- Rueckl, J. G., Paz-Alonso, P. M., Molfese, P. J., Kuo, W. J., Bick, A., Frost, S. J., . . . Frost, R. (2015). Universal brain signature of proficient reading: Evidence from four contrasting languages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(50), 15510-15515. doi:10.1073/pnas.1509321112
- Singleton, D. M., & Ryan, L. (2004). *Language acquisition: The age factor*. Multilingual Matters.
- Sperber, H. G. (1989). *Mnemotechniken im fremdsprachenerwerb: Mit schwerpunkt Deutsch als Fremdsprache*. Iudicium-Verlag.

- Spitzer, M. (2000). *Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Heidelberg & Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Stern, E., Grabner, R., Schumacher, R., Neuper, C., & Saalbach, H. (2006). *Educational research and neurosciences – expectations, evidence, research prospects*. Berlin: Federal Ministry of Education and Research.
- Takashima, A., Bakker, I., Van Hell, J. G., Janzen, G., & McQueen, J. M. (2014). Richness of information about novel words influences how episodic and semantic memory networks interact during lexicalization. *Neuroimage*, 84, 265-278.
- Trepel, M. (2008). *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- Wartenburger, I., Heekeren, H. R., Abutalebi, J., Cappa, S. F., Villringer, A., & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 37(1), 159-170.
- Weber-Fox, C. M., & Neville, H. J. (1996). Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(3), 231-256.
- Weber-Fox, C., & Neville, H. J. (2001). Sensitive periods differentiate processing of open-and closed-class Words. An ERP study of bilinguals. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(6), 1338-1353.
- Willing, K., & Nunan, D. (1993). *Learning styles in adult migrant education*. National Centre for English Language Teaching and Research, Macquarie University.
- 李如蕙 & 曾志朗 (2016). 雙語處理的腦神經理論: 舊題新探,《語言暨語言學》,17(2), 147-193。
- 袁本治(2016)。《生理學》。台北：五南出版社。
- 張顯達(2006)。起點年齡與臺灣大學生英語成就，《英語教學》，30(3)，75-96。
- 梅錦榮(1998)。《神經心理學》。台北：桂冠圖書公司。
- 崔剛(2015)。《神經語言學》。北京：清華大學出版社。
- 葉聯娟(2007)。德語詞彙多元教學模式，《臺德學刊》，13，237-259。

葉聯娟(2008)。教學法對學生德語詞彙學習行為的影響，《臺德學刊》，15，22-55。

賈冠杰(2008)。多語心理詞彙模式與二語習得研究，《外語與外語教學》，6，27-28。