

# 探索大腦與心智的小宇宙

郭柏呈\*



郭柏呈教授

瞭解人類心智運作的內涵，一直是心理學百年來的重要研究課題之一，對大腦的探索為揭開這些運作奧祕提供了關鍵線索。我的研究以人類記憶與注意為主題，運用多種非侵入性大腦功能影像技術，如功能性磁振造影（fMRI）、腦電圖儀（EEG）與腦磁圖儀（MEG），結合嚴謹的心理實驗方法，探討個體認知運作的過程及其大腦神經機制。

個體處理內外環境訊息時，受限於其認知容量，必須根據當下的情境與任務需求，透過記憶來引導注意力的分配，以實現靈活且動態的適應行為。其中，記憶負責儲存過往經驗，並以此為基礎影響知覺與行為；而工作記憶則透

\* 國立臺灣大學心理學系暨研究所副教授

過注意模板提供上而下的控制，進一步引導行為的有效執行。我的核心研究架構將此認知控制機制分為兩個路徑：預期性注意與回溯性注意。預期性注意預指的是通過上而下的控制，將認知資源優先分配給與注意模板相符的外部訊息或知覺表徵，從而在後續的知覺決策中，使這些外部訊息具有更大的競爭優勢；回溯性注意則是將認知資源優先分配給與注意模板相符的內部訊息或記憶表徵，使來自過去經驗的訊息在後續的記憶決策中占據優勢地位。基於此理論架構，我運用了多種大腦功能影像技術，系統性地探討記憶與注意在空間與時間維度上的神經動態過程。不論是針對外部訊息的預期性注意，還是針對內部訊息的回溯性注意，工作記憶的注意模板都能根據情境與任務需求進行動態調整，靈活排列訊息的優先性。這一過程包括抑制與當前任務無關的干擾訊息，並強化與目標相關的訊息，使其在競爭環境中脫穎而出，從而促進個體選擇與任務要求或行為目標相匹配的訊息。這些研究成果為我們提供了深入理解記憶與注意之間互動機制的重要線索，以下為簡要概述：

## 一、回溯性注意進行內在引導

從我就讀臺灣大學研究所期間到英國牛津大學擔任博士後研究員，研究重點聚焦於回溯性注意的認知與神經機制。我的研究探討回溯性注意是否能透過內在引導，幫助個體在維持有限記憶訊息時，抑制或忽略與當前作業無關的干擾刺激，克服知覺與記憶項目間的競爭，從而有效選擇與作業目標相關的訊息，以及這些心智運作所對應的神經機制。

返國後，先後在政治大學與臺灣大學心理系的服務期間，我更進一步探索回溯性注意與情緒記憶的交互作用，檢驗當記憶項目包含情緒訊息時，是否能增強其神經表徵；當情緒刺激不再與作業相關時，是否仍保持對有限注意資源的競爭性。更重要的是，個體是否能透過回溯性注意調控那些與作業無關但具威脅或恐懼性的干擾刺激。我與研究夥伴發現當回溯線索引導注意至威脅刺激的記憶表徵時，個體相較於中性刺激表現出更佳記憶準確性。透過 EEG 結合機器學習分析，我們計算腦波資料的空間與時間型態相似性，結果顯示回溯性注意在記憶維持階段僅需 200 至 300 毫秒即可重新活化威脅刺激的訊息表徵，而威脅刺激資訊的確展現了更強的競爭力與處理優先性，使時間與空間神經活化型態的相似性增加。此外，透過 fMRI 結合功能性聯結分析與機器學習對大腦神經表徵型態的預測，我們發現威脅刺激相較於中性刺激能大幅增強回溯性注意引導的運作，提高對於杏仁核與視覺皮質神經活動型態預測的正確性。當注

意力遠離威脅刺激後，杏仁核的神經活動恢復至隨機狀態，情感系統的反應強度及對威脅表徵的準確性也隨之下降。這些結果顯示個體能有效利用注意力調控機制，調節威脅刺激對神經系統的影響。

## 二、預期性注意進行外在引導

此系列研究以記憶為基礎，探討大腦預先引導注意至與外在知覺刺激有關的訊息表徵，並檢驗此歷程所涉及的神經機制。透過 EEG，我們藉由與視覺搜尋目標選擇相關的事件相關電位作為神經指標，發現個體在進行知覺與記憶表徵注意引導歷程時，啟動了共同的上而下控制機制，此機制展現了大腦在注意對內、外在訊息引導時，涉及相似的優先競爭處理機制。我們更首次統整了 fMRI 與 MEG 的資料，發現了內、外在的注意引導歷程調控共享了大腦前額葉皮質、後頂葉皮質，以及視覺皮質的神經運作，前額葉與後頂葉的神經網路可以透過處於 alpha 與 beta 頻段的腦波相位共振調節視覺皮質的神經反應，更重要的是這些腦訊號相位間的溝通發生在進行目標物的選擇之前，即個體只需要大約 200 毫秒就能啟動此注意引導機制。

我跟學生與合作夥伴，更進一步透過 EEG 發現不同記憶內容對工作記憶容量產生不同程度的影響，其中最重要的是 alpha 頻帶的神經振盪與個體工作記憶容量有密不可分的關係，讓我們可以使用 alpha 頻帶的神經振盪作為追蹤維持不同記憶內容與其容量的神經指標（圖一），透過機器學習技術對大腦中、低頻帶的神經振盪分析結果更加強此研究發現。此外，我們也使用 MEG 與 EEG 檢驗個體對記憶測驗準備時間的可預期程度，發現對記憶測驗準備的時間預期性能調節記憶維持階段的 alpha 頻帶神經振盪，大腦後頂葉的 alpha 頻帶神經振盪的訊號更可以預測個體對外在注意引導的反應速度，顯示此神經網路與 alpha 頻帶神經振盪在預期性注意引導歷程的重要性（圖二）。我也透過行為實驗，探討作業脈絡與學習經驗對預期性注意歷程與工作記憶容量的影響，發現來自於先前的訊息處理與選擇經驗，會自動且無意識地預先形成特定的作業脈絡，得以調控個體在此脈絡下的注意資源分配。

整合這些發現，我的研究貢獻在於整合多種腦影像研究方法與行為測量，系統性地探討人類大腦為因應當下之情境與作業脈絡，透過記憶引導回溯性或預期性注意力（圖三），以進行記憶（內在）與知覺（外在）目標項目的選擇，不同腦區間神經細胞集團透過腦波訊號的共振完成聯繫與溝通使個體能克服心智訊息處理的容量限制，完成複雜的心智運作。

除了藉由預期性注意與回溯性注意探討記憶與注意互動的神經機制之外，我的研究也包含了整合大腦功能影像分析方法與以認知神經科學為基礎的應用，以下為簡要概述：

### 三、整合大腦功能影像分析方法

近年來，我跟學生與合作師長一起運用多變項型態分析技術，整合 fMRI 與 MEG 等經影像訊號，探索記憶辨認歷程中不同知覺刺激（人臉與中文字）倒立效果的大腦神經活化型態與動態變化（圖四）。fMRI 所具備的空間解析度讓我們能精確定位與記憶辨認倒立效果相關的腦區，展現其功能區域化及腦區間的功能性聯結；而 MEG 則憑藉其卓越的時間解析度，反映記憶辨認歷程中神經活動的動態變化。我們將 MEG 的訊號源推論結果與 fMRI 的腦區定位進行比較，顯現了人臉與中文字在記憶辨認歷程中倒立效果的神經活動，在時間與空間上的相似性與相異性。這些研究不僅包含了本土文化（如繁體中文字）對認知神經機制的影響，也為跨影像技術整合提供了方法學上的貢獻。我與研究團隊更持續鑽研整合 fMRI 與 MEG 等功能影像技術的神經訊號，運用多變項分析，並結合深度學習探索心智運作在空間與時間上的神經特徵，深化對人類認知機制的理解。

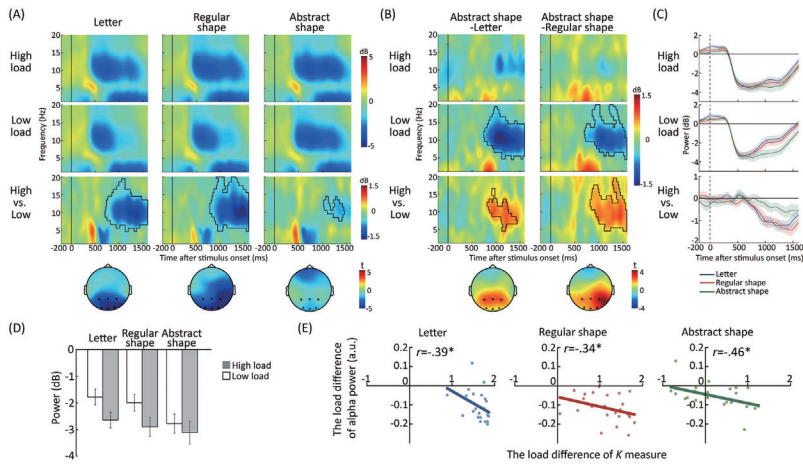
### 四、以認知神經科學為基礎的應用

未來，我希望逐步發展以認知神經科學為基礎的應用研究，將實驗成果延伸至實際場域。例如，我的研究團隊近期針對沒有射擊經驗的生手，記錄其在射擊作業中扣發板機前瞄準階段的 EEG 訊號，探討大腦神經振盪與射擊準確度之間的關聯。我們開發了一種手指運動偵測裝置，安裝於實驗用手槍的板機上，可精確記錄扣發時間點，並回推至擊發前 2.5 秒的時間窗口。在這段期間，我們觀察到 alpha 與 beta 頻帶的神經振盪動態，先後反映了視覺注意的分配、視覺與運動的協調，以及整合性認知控制等心智運作歷程。透過線性模型分析，我們得以預測每次射擊的準確度，顯示板機擊發前的大腦神經振盪模式對射擊表現具有指標意義。未來，我將持續探索此類認知神經科學取向的應用研究，並致力於將這些研究成果轉化為實際訓練工具，提升相關領域的實務效能。

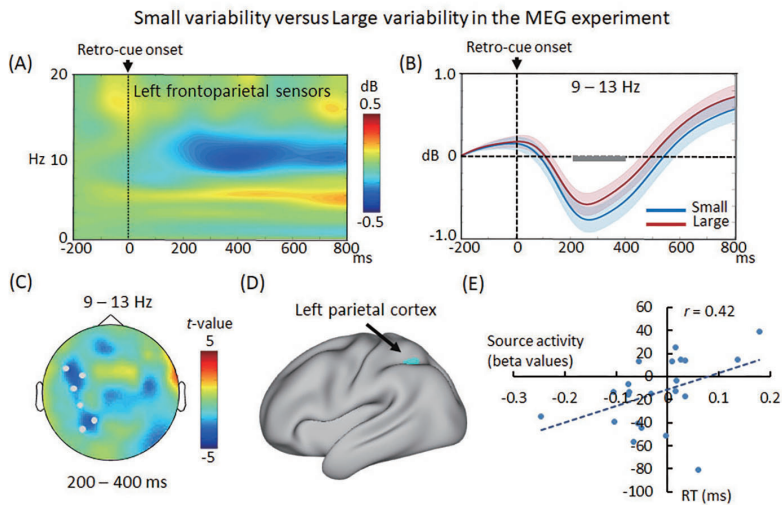
## 五、總結

我的研究系統性地探討人類大腦在記憶與注意等認知歷程中的互動機制，特別是在因應當下情境與作業脈絡時的表現。fMRI 研究顯示前額葉、後頂葉與感覺皮質之間的功能性聯結，EEG 與 MEG 則展現了不同頻帶腦波的快速動態變化。通過整合多種大腦功能影像技術與行為測量，我建立了大腦神經活動型態與認知行為表現的相關性，並進一步研究記憶如何引導注意分配，實現彈性且動態的內、外在訊息調控，幫助個體克服心智容量的限制。我將持續鑽研 fMRI 與 MEG 等影像技術的整合，運用多變項分析、機器學習與深度學習挖掘心智運作在空間與時間上的神經特徵，我也致力於將認知神經科學的實驗成果應用於實際場域，為認知神經科學研究提供更廣泛的影響與價值。

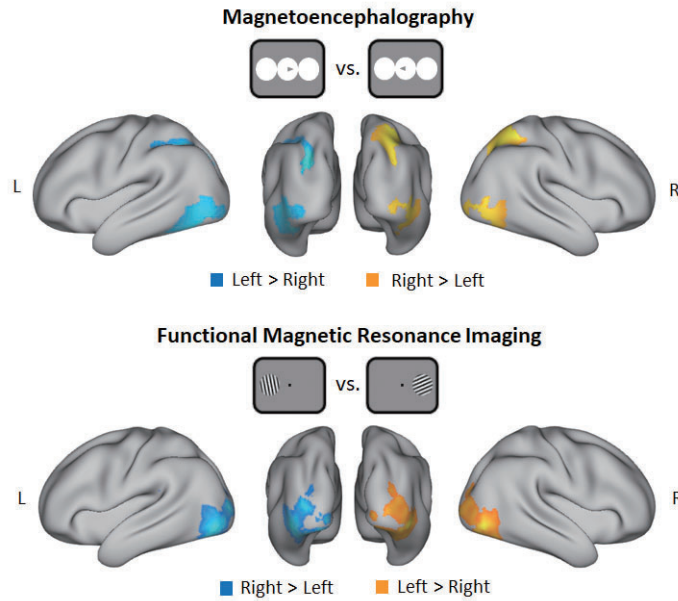
感謝國科會（科技部）對基礎科學研究的支持。我很幸運，一直有機會在很棒的地方，遇到很棒的師長與學生，做著探索人類大腦認知小宇宙的夢幻工作。感謝臺大心理系葉怡玉教授與梁庚辰教授，以及牛津大學實驗心理系 Kia Nobre 教授與已故 Mark Stokes 教授的指導與支持，精進我的想法，開拓我的視野，讓我能持續提升研究格局，挑戰未知；感謝國、內外合作夥伴的真誠分享與協助，提高了我的研究內容與品質；感謝過去與現在研究助理們對實驗室的照顧與協助；感謝學生們理解與支持我對研究的堅持與要求；感謝臺大心理系及理學院的長官與同仁，提供了我在學術工作上的幫助與鼓勵。謝謝我的父母、弟弟、太太和女兒，給我能量讓我在研究的小宇宙裡航行。



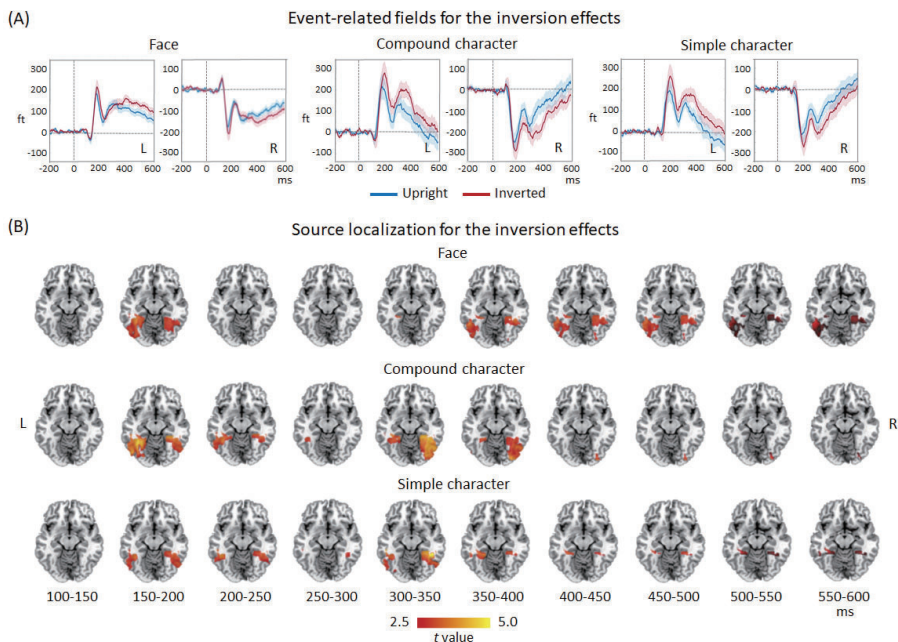
圖一：展示 alpha 頻帶的神經振盪可以追蹤維持不同記憶內容與其容量的神經指標（參考文獻：Ya-Ting Chen, Freek van Ede, & Bo-Cheng Kuo. (2022). Alpha oscillations track content-specific working memory capacity. *Journal of Neuroscience*, 42(38): 7285-7293.）



圖二：展示記憶測驗準備的時間預期性能調節記憶維持階段的 alpha 頻帶神經振盪，大腦後頂葉的 alpha 頻帶神經振盪的訊號可以預測個體對外在注意引導的反應速度（參考文獻：Fang-Wen Chen, Chun-Hui Li, & Bo-Cheng Kuo. (2023). Temporal expectation based on the duration variability modulates alpha oscillation during working memory retention. *Neuroimage*, 265, 119789.）



圖三：展示回溯性注意 MEG 結果（上）與預期性注意 fMRI 結果（下）相似性



圖四：展示記憶辨認歷程中不同知覺刺激倒立效果的大腦神經活化型態與動態變化，以及此歷程的 MEG 的訊號源估算（參考文獻：Chun-Hui Li, Man-Ying Wang, & Bo-Cheng Kuo. (2023). Tracking the temporal dynamics of the face-like inversion effect as revealed by Chinese characters using magnetoencephalography. *Cerebral Cortex*, 33, 8496-8509.）