

數理資優能力、智力與大腦區域同質性 之相關研究*

吳清麟

國立臺灣師範大學學習科學學士學位學程、
學習科學跨國頂尖研究中心

郭靜姿

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

數理資優往往意味著高智力，但兩者並非同一概念。近期研究指出數理資優個體的大腦結構與常人不同，更發現數理資優與智力在大腦白質結構連結之差異。然而，卻鮮少研究從大腦區域同質性觀點探討數理資優、智力與大腦灰質結構的關係。是以，本研究招募 16 位數理資優大學生，平均年齡為 20.91 歲 ($SD = 1.75$) 為實驗組；以及招募 14 位平均年齡為 21.72 歲 ($SD = 0.92$) 的大學生為控制組。使用魏氏成人智力量表第三版評估個體智力，並以靜息態大腦取向分析數理資優個體與一般人的智力與其大腦區域同質性之相關。本研究通過臺北醫學大學行為與社會科學研究倫理委員會之審查。所有參與者皆在瞭解研究內容並簽署知情同意書之後才進行研究。研究結果發現，在包含數理資優與一般樣本中，智力與雙側額中迴、右側前扣帶迴、左側視丘之區域同質性皆為正相關。另一方面，排除年齡與智力影響後，數理資優個體在雙側中央前迴、頂上葉、額上迴、海馬旁迴、顳中迴與舌狀迴與一般人運作不同。此項結果驗證數理資優與智力資優在生理特質有同有異，靜息態大腦研究可增進教育工作者對這兩群學生的特質有更進一步瞭解。另外，在鑑定與發掘高智商及數理資優學生時，教育工作者更要思考如何運用不同的工具評量不同類別的資優。

關鍵詞：區域同質性、智力、數理資優、靜息態腦影像

-
- * 1. 本篇論文通訊作者：郭靜姿，通訊方式：kaykuo@ntnu.edu.tw。第一作者：吳清麟，通訊方式：chilin570@ntnu.edu.tw。
2. 本研究承蒙科技部（MOST 100-2511-S-003-055-MY3）贊助經費，感謝台灣心智科學腦造影中心和國立政治大學提供技術諮詢和儀器操作；同時感謝由教育部高教深耕計畫經費補助成立之國立臺灣師範大學學習科學跨國頂尖研究中心的支持。

智力 (Intelligence) 的神經基礎已被廣為探究 (Liu, Xiao, Shi, 2016; Mosing, Verweij, Madison, & Ullén, 2016; Saville et al., 2016; Song et al., 2008)，其中，有關資賦優異 (giftedness) 的大腦運作歷程亦愈來愈受到重視 (Navas-Sanchez et al., 2013)。資賦優異係指其智能優於同齡的常人，即智商 (intelligence quotient, IQ) 高於平均數兩個標準差。然而，特定領域的資優個體除了在智商具顯著優勢，其與常人的差異亦反映在神經功能，如：灰質密度 (郭靜姿等人, 2012a)、白質結構 (Navas-Sanchez et al., 2013；郭靜姿、陳學志、梁庚辰、高淑芬、吳清麟, 2019)。因此，若僅以智商評估個體是否資賦優異，無法確實區分在領域特定上的差異 (陳嘉成、陳柏霖、洪兆祥、薛人華, 2018；潘裕豐, 2019)。數理能力優異個體在各類資優中為多數 (郭靜姿等人, 2012a)，他們普遍具備廣泛知識且能靈活應用，並能彈性運用策略及擁有良好的後設認知及自我調節能力 (Jung, Grazioplene, Caprihan, Chavez, & Haier, 2010; Shore & Kanevsky, 1993; Yu, Chen, & Jen, 2017)。除此之外，數理資優個體具備較佳的流體智力、執行功能、工作記憶以及心像能力 (Desco et al., 2011; Lee et al., 2006; Singh & O'Boyle, 2004)，願意投入較多的時間分析問題本質，並在清楚陳述及歸類問題後，採取創新且有效的方式解決問題 (Geake and Hansen, 2005; O'Boyle et al., 2005)。

一、數理資優的大腦研究

先前的實徵研究已顯示數理資優的大腦結構與常人不同 (郭靜姿等人, 2012a, 2012b；郭靜姿等人, 2019)。頂額整合理論 (parieto-frontal integration theory, P-FIT) 歸納出大腦在推理與問題解決歷程中，額葉、頂葉、部份顳葉與扣帶迴等區域之認知功能會有一系列的交互作用 (Jung & Haier, 2007)。後續的功能性腦影像研究結果亦發現，數理能力優異個體從事三維心像旋轉作業或推理作業時，在雙側頂葉、額葉及前扣帶迴的神經迴路具有較大活化 (Lee et al., 2006; O'Boyle et al., 2005; Zhang, Gan, Wang, 2015)；並在大腦左右半球之間 (Singh & O'Boyle, 2004) 及在額葉與頂葉之間 (Desco et al., 2011; Prescott, Gavrilescu, Cunnington, O'Boyle, & Egan, 2010) 具有較強連結。結構性腦影像研究獲得一致性發現，數理資優個體在額葉與基底節 (basal ganglia) 以及胼胝體之大腦白質皆具有較佳的連結，顯示他們的大腦左右半球之間有較多的交互作用，上述區域與流體智力、視覺空間記憶皆有關 (Navas-Sanchez et al., 2013)。除此之外，數理資優個體在中央前迴、楔前葉、梭狀迴、顳上迴、顳下迴之灰質密度亦高於平均智力的控制組 (郭靜姿等人, 2012a)。

二、靜息態的大腦研究與資優

雖然數理資優的大腦結構與功能運作已有如上所述的研究，然而目前尚無研究係由靜息態 (resting-state) 大腦的區域同質性 (regional homogeneity, ReHo) 取向探討數理資優個體在智力與大腦局部結構之連結。靜息態是指休息狀態，Raichle (2001) 指出大腦即使在無任務的狀態下仍在運作，其活動是內在、內發的 (intrinsic)，包括保留資訊以對資訊做出解釋和反應，及預測環境的需求。Raichle 的研究發現，大腦存在一個預設狀態的網路 (default mode network, DMN)，這個網路在休息狀態下仍持續啟動，但在任務狀態下它的活性卻比休息狀態下低。這個網路的後扣帶迴和楔前葉持續收集環境的資訊，當需要完成任務的時候，這種廣泛資訊收集則會降低。後扣帶迴和楔前葉所接收的資訊需要在內側前額皮層接受評估以確定資訊的重要性，意謂內側前額皮層在靜息狀態同樣是啟動的。

三、研究動機與意義

本研究擬探討數理資優個體的大腦結構與智力之關聯性。區域同質性可提供靜息態大腦在時間序列下局部區域相近體素間的相似性與同步性，意即大腦局部區域的連結強度。我們採用肯德爾和諧係數（Kendall's coefficient of concordance, KCC）測量在時間序列下特定區域的體素與其鄰近體素之間的相關性。區域同質性愈高表示該區域具有較多的神經激發活動，反之亦然（Wang, Song, Jiang, Zhang, Yu, 2011; Zang, Jiang, Lu, He & Tian, 2004）。既有研究指出區域同質性與常人智力呈現正相關，尤其在雙側頂下葉、海馬旁迴、顳上迴與右側視丘、額上迴、梭狀迴及左側頂上葉（Wang, et al., 2011）。其他結構性腦影像研究皆發現智力與大腦的灰質密度、灰質體積、白質體積具有正相關（Frangou, Chitins, Williams, 2004; Li et al., 2009; Narr et al., 2007; Reiss, Abrams, Singer, Ross, Denckla, 1996; Wilke, Sohn, Byars, Holland, 2003）；同時，擴散張量影像研究亦顯示智力與負責溝通左右半腦之胼肢體的連結強度為正相關（Navas-Sanchez et al., 2013）。多數研究結果皆與頂額整合理論一致，呼應智力與數個大腦區域的活動息息相關（Jung & Haier, 2007）。

本研究以探討數理資優、智力與大腦結構之關聯性為重點，首採用區域同質性取向分析數理資優個體與一般人的智力與大腦局部效率之相關，並排除年齡與智力的影響，比較數理資優個體與一般人在區域同質性的差異。根據頂額整合理論及過去研究發現（Jung & Haier, 2007; Navas-Sanchez et al., 2013），本研究假設個體智力與雙側的頂葉、額葉之區域同質性呈現正相關，數理資優則在額葉、頂葉、及扣帶迴等區域有較高同質性，但是否有其他數理資優區域同質性優勢的區域？

在研究意義上，本研究結果將可澄清一般資優與特定領域資優在神經心理特質的同與異。研究者等（郭靜姿等人，2012a）進行數理資優與普通生大腦灰質容積差異比較時，發現數理資優在智力相關的大腦灰質容積密度高於普通生，但也發現有些數理資優生在部份大腦區域（如：梭狀迴）灰質容積相對較高，在高智商學生則未發現。另外，郭靜姿等人（2019）對於數理資優生白質網路結構分析研究，發現數理資優在大腦局部區域內節點之間的傳遞效率較佳，並以左側額上迴尤甚；個別分析數理資優及一般組智力與大腦網路連結效率之相關結果則發現一般成人智力與大腦網路跨區域的連結效率顯著正相關，但數理資優則否，顯示數理資優大腦網路屬性與其智力無直接關係。以上兩個研究均顯示數理資優與智力資優在神經心理特質有同有異，靜息狀態的大腦研究可更增進我們對兩群學生之特質有更全面的瞭解。另外，在鑑定與發掘高智商及數理資優學生時，教育工作者更需要思考如何運用不同工具評定不同類別的資優。

方法

一、研究參與者

本研究招募 16 位數理資優成人，年齡介於 18 至 24 歲，平均年齡為 20.91 歲（ $SD = 1.75$ ）為實驗組；並招募 14 位年齡介於 20 至 24 歲（ $Mean = 21.72$, $SD = 0.92$ ）成人為控制組。所有參與者皆為神經功能正常的成年男性，母語皆為中文，並確保其在實驗進行前 24 小時內沒有飲用任何酒精飲品。本研究已通過臺北醫學大學行為與社會科學研究倫理委員會之審查。所有參與者皆在瞭解研究內容並簽署知情同意書之後才進行研究。若參與者未滿 20 歲，則須由其父母或監護人簽署知情同意書，該程序確保參與者完整瞭解本研究目標、訊息、及自身權利，同時確保自願參與本研究。

所有數理資優成人在高中皆就讀數理資優班，他們申請參與數理資優班的資格是在性向測驗或全國性會考之表現高於平均數兩個標準差，意即性向測驗或成就測驗任一項須達百分等級 97 以上。參加者目前就讀科系包括電機工程學系、資訊科學系、醫學系、生命科學系、生物資源與農

業學系。普通組學生在高中並未就讀數理資優班，其就讀科系包括農業經濟學系、國際企業學系、地質科學系、科技應用學系、機電工程學系、物理治療學系、資訊管理學系、光電科學與工程學系、人類發展與家庭學系、英語學系、健康促進與衛生教育學系及特殊教育系。

二、研究工具

(一) 魏氏成人智力量表第三版 (WAIS-III)

本研究以魏氏成人智力量表為評估參與者智力的工具，其適用年齡由青少年到 89 歲成人。該量表為陳心怡與陳榮華 (2002) 修訂而成的中文版本，包括語文量表與作業量表，共有 14 個分量表，分別為詞彙、圖畫補充、類同、數符替代、算術、圖形設計、記憶廣度、矩陣推理、常識、連環圖系、理解、符號尋找、數字序列、物型配置，其中最後三項為替代測驗。可得語文理解、知覺組織、工作記憶、處理速度、語文智商、作業智商、及全量表智商。折半信度介於 .89 至 .98，時距 2 至 11 週的重測信度為 .86 至 .97。以魏氏成人智力量表修訂版 (WAIS-R) 為效標作業之同時效度介於 .86 至 .94。本量表建置有臺灣地區的常模以供參照。

(二) 磁振造影掃描

本研究使用國立政治大學台灣心智科學腦造影中心西門子 3T 高磁場磁振造影儀器，搭配 32 通道頭部線圈。所有參與者在掃描過程皆被要求保持頭部不要移動，並張開雙眼以保持清醒。靜息態磁振造影 (Resting-state fMRI) 採用回波平面成像 (echo planar imaging sequence)，靜息態影像掃描參數：TR = 2000ms，TE = 35ms，slice number = 32，matrix size = 64 × 64，FA = 84°，FOV = 192 mm，slice thickness = 3mm；T1 影像掃描參數：TR = 2530ms，TE = 3.30 ms，FA = 7°，matrix size = 256 × 256，FOV = 256 mm，slice number = 192，thickness = 1 mm，spatial resolution = 1 × 1 × 1 mm³。

三、研究程序

本研究採用一對一紙筆方式實施智力量表。實驗之初，主試者說明實驗目的及作業內容，並請參與者簽署知情同意書。先進行智力測驗，再掃描大腦影像。

首先，研究者實施魏氏智力 14 個分量表，作答時間約 120 至 150 分鐘。在行為作業結束後，讓參與者先休息 10 分鐘，再進行結構性影像與靜息態腦影像掃描，掃描時間約 20 分鐘。

四、資料處理與分析

(一) 心理特質分析

研究者整理參與者在魏氏智力量表各項分數，包括：語文理解、知覺組織、工作記憶、處理速度、作業智商、語文智商、以及全量表智商之描述統計，並以獨立樣本 *t* 檢定分析組別之間的差異。

(二) 大腦灰質結構分析

本研究採用 Statistical parametric mapping (SPM12) 進行腦影像的前置處理。為了使訊號達到平衡，我們排除前 10 個體素影像，僅以餘下的 194 體素進行影像校正；移除頭部移動上/下、左/右、前/後超過 2.0mm 及 2.0° 的參與者；根據 SPM12 內建大腦圖譜模板將參與者的腦影像其標準化為 3 × 3 × 3 mm³ 圖像；標準化腦影像透過帶通濾波 (band-pass filtered, 0.01-0.08Hz) 以及線性去趨勢化以減少低頻漂移和生理高頻雜訊。區域同質性指標係使用 DPABI (data processing & analysis for [resting-state] brain imaging) (Yan, Wang, Zuo, & Zang, 2016) 進行分析，該軟體係採用肯德爾和諧係數 (KCC) 的公式計算大腦各局部區域之同質性 (Zang et al., 2004)。為了減少 KCC

值受到個體差異變化的影響，我們透過將每個體素之間 KCC 除以全腦平均 KCC 來進行 ReHo 圖像的標準化。並採用 8mm 全寬半的高斯核對數據進行腦影像平滑化。

(三) 統計分析

本研究將進行三項分析探討數理資優、智力與大腦區域同質性之關係。首先，採用獨立樣本 *t* 檢定分析數理資優組與控制組在年齡與智力測驗各分數之差異；其次，採用相關分析所有參與者智商與大腦全區的區域同質性之關聯情形；最後，採用共變數分析，在排除年齡與智商的影響後，比較數理資優組與控制組在大腦各區的區域同質性之差異。

結果

一、數理資優組與一般組在智商之差異

魏氏成人智力量表施測結果顯示兩組在智商的差異達到顯著水準 ($p < .001$)。數理資優組在全量表智商的平均數為 134.75 ($SD = 4.47$, range 128-142)，普通組的平均數則為 114.71 ($SD = 5.44$, range 100-121)。數理資優組在語文智商的兩個分量表：語文理解 ($t = 4.38$, $p < .001$) 與工作記憶 ($t = 6.55$, $p < .001$) 均顯著高於普通組。在作業智商方面，數理資優組在知覺組織 ($t = 4.48$, $p < .001$) 與處理速度 ($t = 3.01$, $p < .01$) 亦顯著高於普通組。整體觀之，數理資優組在全量表智商 ($t = 11.08$, $p < .001$)、語文智商 ($t = 6.82$, $p < .001$) 及作業智商 ($t = 4.99$, $p < .001$) 均顯著優於普通組，結果詳見表 1。

表 1 數理資優與控制組在魏氏智力量表得分之差異分析摘要表

	數理資優 ($N = 16$)		控制組 ($N = 14$)		<i>t</i>
	平均數	標準差	平均數	標準差	
全量表智商	134.75	4.47	114.71	5.44	11.08**
語文智商	132.44	8.40	114.14	5.86	6.82**
語文理解	129.13	8.66	116.21	7.30	4.38**
工作記憶	130.25	10.93	105.43	9.64	6.55**
作業智商	131.13	9.93	113.00	9.94	4.99**
知覺組織	127.50	10.75	110.86	9.40	4.48**
處理速度	127.75	13.51	111.50	16.10	3.01*

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

二、智商與大腦區域同質性之相關分析

所有參與者的全量表智商與其在左側額中迴 (BA 9, $r = .71$, $p < .001$)、右側額中迴 (BA 8, $r = .61$, $p < .001$)、左側視丘 ($r = .64$, $p < .001$)、右側前扣帶迴 (BA 32, $r = .50$, $p < .01$) 的區域同質性呈現正相關。其結果詳見表 2 與圖 1。

圖 1 上方為所有參與者全量表智商與其左側額上迴、左側視丘、右側額上迴、前扣帶迴之區域同質性呈現顯著正相關之影像圖；下方為相關散佈圖。

表2 全量表智商與區域同質性顯著相關的大腦區域

大腦區域	BA	Voxels	MNI (mm)			r
			x	y	z	
左側額中迴	9	25	-33	45	36	.71**
右側額中迴	8	23	48	21	45	.61**
左側視丘		64	-6	-18	21	.64**
右側前扣帶迴	32	21	24	39	12	.50*

註：BA = Brodmann area = 布洛德曼腦區；Voxel = 體素；MNI = Montreal Neurological Institute standard brain = 蒙特羅神經協會標準大腦圖譜。

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

三、數理資優組與一般組在大腦區域同質性之差異

在控制年齡與智商的影響後，數理資優組在雙側的中央前迴 (BAs 4, 6, 9)、頂上葉 (BA 7)、額上迴 (BA 10)、扣帶迴 (BAs 24, 31)、前扣帶迴 (BAs 24, 25)、內側額上迴 (BAs 6, 8, 9, 10)、右側顳上迴 (BA 22)、楔前葉 (BA 31)、中央後迴 (BA 7)、額中迴 (BA 10)、腦島 (BA 13)、額下迴 (BA 47)、楔葉 (BA 18)、左側視丘、後扣帶迴 (BA 30)、海馬旁迴 (BA 19)、顳中迴 (BA 21)、舌狀迴 (BA 18) 皆具有較高的區域同質性。其結果詳見表 3 與圖 2。上述發現的區域部分支持頂額整合理論 (Jung & Haier, 2007)，顯示數理資優與智力之間共同的大腦運作區域為雙側額中迴、左側視丘、右側前扣帶迴；然而數理資優組在雙側中央前迴、頂上葉、額上迴、及海馬旁迴、顳中迴與舌狀迴與一般人運作不同。

討論

本研究首以靜息態大腦的區域同質性指標探討數理資優個體與一般人在智力與大腦結構之連結，並比較數理資優與一般人的差異，藉以釐清智力與數理資優的神經機制。結果發現，在包含數理資優與一般人樣本中，智力與區域同質性在雙側的額中迴、左側視丘、右側前扣帶迴皆呈現正相關，皆與頂額整合理論 (P-FIT) 所述部份相同 (Jung & Haier, 2007)。另一方面，在排除年齡與智力影響後，數理資優個體在雙側的中央前迴、頂上葉、額上迴、扣帶迴、前扣帶迴、額中迴，與右側的顳上迴、楔前葉、中央後迴、額中迴、腦島、額下迴、楔葉、以及左側的視丘、後扣帶迴、海馬旁迴、顳中迴、舌狀迴的區域同質性皆顯著高於一般人，上述區域部分支持頂額整合理論 (Jung & Haier, 2007)，顯示數理資優與智力之間共同的大腦運作區域為雙側額中迴、左側視丘、右側前扣帶迴；然而在雙側中央前迴、頂上葉、額上迴、及海馬旁迴、顳中迴與舌狀迴，數理資優有與一般人運作不同之處。

個體智力與其大腦結構息息相關 (Haier, Jung, Yeo, Head, & Alkire, 2004)，其中，額中迴與前扣帶迴皆為頂額整合理論所述與全量表智商有關的大腦區域 (Frangou et al., 2004; Gong et al., 2005; Pfeleiderer et al., 2004; Shaw et al., 2006; Wilke et al., 2003)。同時，雙側的額中迴皆與智力顯著相關，支持智力涉及大腦左右半球的共同運作 (Navas-Sanchez et al., 2013)。頂額整合理論指出個體從事推理或智力相關行為時，會先由顳葉 (BAs 21, 37) 與枕葉 (BAs 18, 19) 處理聽覺與視覺訊息；再由頂葉 (BAs 7, 39, 40) 整合訊息並加以抽象化；緊接著，透過外側前額葉 (dorsolateral prefrontal cortex) (BAs 6, 9, 10, 45, 46, 47) 評估問題內容；最後，由前扣帶迴 (BA 32) 選擇欲執行的反應並抑制其他無關的反應 (Jung & Haier, 2007)。視丘雖然未出現在頂額整合理論，惟視丘介於皮質下層與大腦皮層之間，為感覺訊息的傳遞中樞，對於記憶與情緒皆扮演極重要的角色。過去研究亦指出視丘的區域連結及灰質密度與智力顯著相關 (Frangou et al., 2004)，提供本研究結果有力的支持。

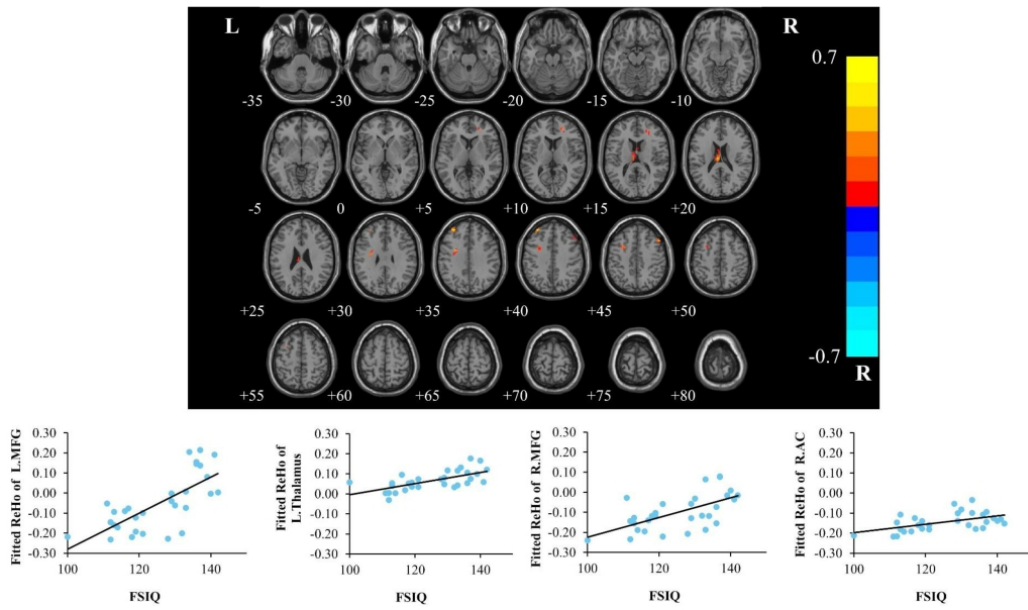


圖1 所有參與者全量表智商與其左側額上迴、左側視丘、右側額上迴、前扣帶迴之區域同質性呈現顯著正相關

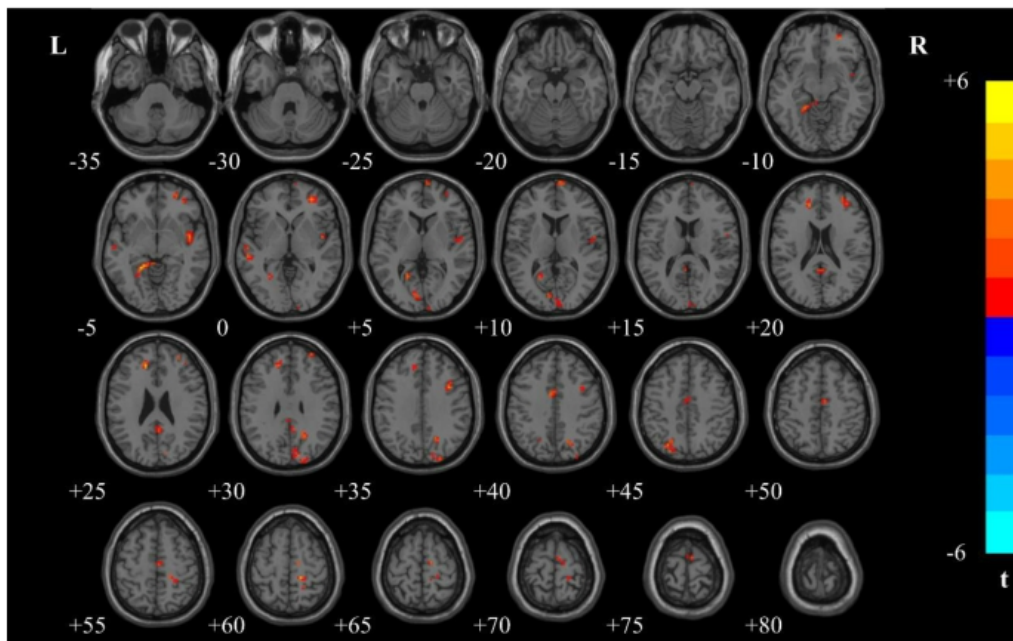


圖2 數理資優組與普通組在大腦各部區域同質性之差異

註：活化區域包括雙側的中央前迴、頂上葉、額上迴、扣帶迴、前扣帶迴、內側額上迴，右側顳上迴、楔前葉、中央後迴、額中迴、腦島、額下迴、楔葉，左側視丘、後扣帶迴、海馬旁迴、顳中迴、舌狀迴。顏色柱表示兩組分析的t值。

表3 數理資優組較普通組具有較高區域同質性之大腦區域

大腦區域	BA	Voxels	MNI (mm)			peak <i>t</i> value
			x	y	z	
左側顳中迴	21	27	-57	-30	0	4.19**
右側顳上迴	22	48	45	-3	-6	4.44**
右側額中迴	10	52	30	48	0	4.31**
右側額下迴	47	10	48	15	0	3.77*
右側額上迴	10	28	30	54	30	3.94**
左側額上迴	10	10	-24	54	6	3.49*
右側腦島	13	15	36	-21	21	4.97**
右側楔葉	18	50	12	-84	27	4.43**
右側楔前葉	31	27	18	-54	33	4.77**
左側視丘		13	-18	-27	12	3.82**
左側海馬旁迴	19	41	-21	-45	-6	5.83**
左側後扣帶迴	30	21	-21	-57	6	4.24**
右側前扣帶迴	25	13	3	6	-9	4.15**
左側前扣帶迴	24	10	-9	30	15	3.72*
右側頂上葉	7	11	30	-63	54	5.02**
左側枕上迴	7	31	-27	-69	45	4.38**
左側舌狀迴	18	13	-15	-81	-6	4.34**
左側扣帶迴	24	45	-6	0	39	4.01**
右側扣帶迴	31	48	3	-48	27	3.85**
左側內額中迴	6, 8, 9	39	-15	39	24	5.13**
右側內額中迴	6, 10	23	6	72	9	4.21**
右側中央後迴	7	19	12	-57	66	4.04**
右側中央前迴	4, 9	45	15	-33	60	4.90**
左側中央前迴	6	11	-30	6	33	3.84**

註：BA = Brodmann area = 布洛德曼腦區；Voxel = 體素；MNI = Montreal Neurological Institute standard brain = 蒙特羅神經協會標準大腦圖譜。

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

值得一提的是，不同於以往的研究僅以一般人為樣本，本研究參與者包括數理資優個體及一般人，結果仍部分支持頂額整合理論，除了表示額中迴與前扣帶迴的運作與個體智力密不可分，且具有跨樣本的實徵支持，更進一步發現視丘對於個體智力與推理亦相當關鍵。

本研究排除全量表智商與年齡的影響後，發現數理資優在額葉、頂葉、顳葉及扣帶迴的區域同質性皆顯著高於一般人，上述區域與頂額整合理論所述一致 (Jung & Haier, 2007)，顯示數理資優在涉及推理與問題解決之大腦區域有較佳的局部效率。頂額整合理論不只陳述個體智力的大腦運作，同時亦詮釋與推理有關的腦神經功能，這也是為何已排除智力的影響，仍有許多區域與頂額整合理論相符。

然而，數理資優雖然與高智商部分正相關，但兩者並非同一概念 (Kalbfleisch, 2004)。本研究亦發現許多區域不同於頂額整合理論所述，包括：扣帶迴與後扣帶迴、中央前迴及中央後迴、楔葉與楔前葉、海馬旁迴、舌狀迴、顳上迴、腦島、視丘。其中，扣帶迴、中央後迴及楔葉形成的連結與執行功能有關 (Desco et al., 2011)；後扣帶迴與棋藝認知 (chess cognition) 的運作有關 (Chen et al., 2003)；中央前迴、頂上葉與顳上迴則與數理成就有關 (郭靜姿等人, 2012a; Zhou et al., 2007)；楔前葉、扣帶迴與視丘在演繹推理的過程具顯著活化 (Fangmeier, Knauff, Ruff, & Sloutsky, 2006)；海馬旁迴在人類與猴子研究中，皆指出涉及記憶的運作 (Suzuki, Zola-Morgan, Squire, & Amaral, 1993; Wang et al., 2011)；腦島與類比推理有關 (Wharton et al., 2000)，舌狀迴在數理資優的性別差異研究中，獨見於男性 (郭靜姿等人, 2012b)。上述發現呼應數理資優具有較佳的執行功能、推理、工作記憶 (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003; Desco et al., 2011; Geake & Hansen, 2005; Lee et

al., 2006; O'Boyle et al., 2005; Prescott et al., 2010; Singh & O'Boyle, 2004), 亦支持數理資優與智力為不同的概念。

結論與建議

一、結論

本研究結果有助於教育工作者對於數理資優與一般智能資優在生理特質的差異有更深度的瞭解。結合研究者等人在 2012 年與 2019 年對於數理資優生大腦灰質容積及白質網路結構的發現，可以說明數理資優生在生理上一方面與高智商學生相同具有殊異於普通生的推理及問題解決能力相關機制；另一方面在大腦結構及靜息狀態下的腦部運作亦異於常人。

數理資優個體除了在頂額整合理論所述區域，在涉及執行功能、數理運算、推理、記憶等大腦區域亦顯著優於一般人。因此可以說明資優教育工作者在鑑別不同類別資優時常採用不同的鑑定工具，而非以高 IQ 做為鑑定各類資優的統一指標。

此外，靜息狀態下仍持續運作的資優生大腦，或可說明資優生在生理上是淺眠的、多夢的 (Storfer, 1990)、精力旺盛的、高張力及具敏感特質 (Chang & Kuo, 2013; Chang & Kuo, 2019)，因此在中樞神經連結耗能過多的情況下，相對地周邊神經連結需要資源時產生匱乏現象，常有皮膚過敏、鼻子過敏、近視等不適症狀 (Storfer, 1990)，需要徵詢醫生意見補充相關營養，此點是資優教育教師及家長需要進一步瞭解之處。

二、建議

本研究在取樣上僅以數理資優男性為樣本，可推論性可能受到影響；不過，因數理資優生的大腦在性別之差異十分明顯 (郭靜姿等人, 2012b)，若混合兩組結果進行解釋，區分性可能不足，故本研究先以男性為研究對象。未來可再擴展研究對象至女性或其他類別資優，當累積更多資訊，將可全面瞭解各種類型資優的神經心理機制。

參考文獻

- 郭靜姿、張馨仁、張玉佩、周坤賢、林燁虹、陳雪君、林慶波 (2012a)：高中數理資優班學生心理特質與大腦結構之研究。*教育心理學報*, 43(4), 805-832。[Kuo, C.-C., Chang, H.-J., Chang, Y.-P., Chou, K.-H., Lin, Y.-H., Chen, H.-C., & Lin, C.-P. (2012a). Psychological traits and brain structures of mathematically and scientifically senior high school talented students. *Bulletin of Educational Psychology*, 43(4), 805-832.]
- 郭靜姿、林慶波、張馨仁、周坤賢、曾琦芬、張玉佩、林燁虹 (2012b)：高中數理能力優異班學生與普通班學生大腦結構及性別差異之研究。*教育科學研究期刊*, 57(2), 25-64。[Kuo, C.-C., Lin, C.-P., Chang, H.-J., Chou, K.-H., Tseng, C.-F.-C. Chang, Y.-P., & Lin, Y.-H. (2012b). Sex

- differences in brain structure between students talented in math and science and developed peers. *Journal of Research in Education Sciences*, 57(2), 25-64.]
- 郭靜姿、陳學志、梁庚辰、高淑芬、吳清麟 (2019)：數理資優大腦白質網路結構分析之研究。 *教育心理學報*, 50(3), 389-406。 [Kuo, C.-C., Chen, H.-C., Liang, K.-C., Kao, S.-S.-F., & Wu, C.-L. (2019). White matter network connectome of mathematical and scientific talents. *Bulletin of Educational Psychology*, 50(3), 389-406.]
- 陳嘉成、陳柏霖、洪兆祥、薛人華 (2018)：劍的雙面刃－國中數學科不同成就學生學習組型差異之分析。 *教育科學研究期刊*, 63(3), 105-130。 [Chen, C.-C., Hung, C.-H., Chen, P.-L., & Hsueh, J.-H. (2018). Double-edged sword: Different learning behavior patterns for junior high school mathematics. *Journal of Research in Education Sciences*, 63(3), 105-130.]
- 陳榮華、陳心怡 (2002)： *魏氏成人智力量表第三版 (WAIS-III) 中文版*。臺北：中國行為科學社。 [Chen, Y.-H. & Chen, H.-Y. (2002). *Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS) III. Chinese version*. Taipei, Taiwan: Chinses Behavioral Science Corporation.]
- 潘裕豐 (2019)：高中美術資優班學生創造力、學業成就與藝術表現之關係研究。 *教育科學研究期刊*, 64(1), 267-285。 [Pan, Y.-F. (2019). Relationships between the creativity, academic achievement, and art performance of artistically gifted senior high school students. *Journal of Research in Education Science*, 64(1), 267-285.]
- Chang, H. J. & Kuo, C. C. (2013). Overexcitabilities: Empirical studies and application. *Learning and Individual Differences*, 23, 53-63.
- Chang, Y.P. & Kuo, C.C. (2019). The correlations among emotional development, over-excitabilites and personal maladjustment. *Archives of Psychology*, 3(5), 1-27. Retrieved from <https://doi.org/10.312196/aop.v3i5>.
- Chen, X. C., Zhang, D., Zhang, X. C., Li, Z. H., Meng, X. M., He, S. & Hu, X. P. (2003). A functional MRI study of high-level cognition-II. The game of GO. *Cognitive Brain Research*, 16, 32-37.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Psychology Press*, 20(3), 487-506.
- Desco, M., Navas-Sanchez, F. J., Sanchez-Gonzalez, J, Reig, S., Robles, O., Franco, C., Guzman-De-Villoria, J. A., Garcia-Barreno, P., & Arango, C. (2011). Mathematically gifted adolescents use more extensive and more bilateral areas of the fronto-parietal network than controls during executive functioning and fluid reasoning tasks. *Neuroimage*, 57, 281-292.
- Fangmeier, T., Knauff, M., Ruff, C. C., & Sloutsky, V. (2006). fMRI evidence for a three-stage model of deductive reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 320-334.

- Frangou, S., Chitins, X., & Williams, S. C. R. (2004). Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *Neuroimage*, *23*, 800-805.
- Geake, J. G. & Hansen, P. C. (2005). Neural correlates of intelligence as revealed by fMRI of fluid analogies. *Neuroimage*, *26*, 555-64.
- Gong, Q. Y., Sluming, V., Mayes, A., Keller, S., Barrick, T., Cezayirli, E. & Roberts, N. (2005). Voxel-based morphometry and stereology provide convergent evidence of the importance of medial prefrontal cortex for fluid intelligence in healthy adults. *Neuroimage*, *25*, 1175-1186.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkire, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, *23*, 425-433.
- Jung, R. E., Grazioplene, R., Caprihan, A., Chavez, R. S., & Haier, R.J. (2010). White matter integrity, creativity, and psychopathology: Disentangling constructs with diffusion tensor imaging. *PLoS One*, *5*, e9818.
- Jung, R. E., Haier, R. J. (2007). The parieto-frontal integration theory (PFIT). of intelligence: converging neuroimaging evidence. *Behavioral & Brain Sciences*, *30*, 135-154.
- Kalbfleisch, M. L. (2004). Functional neural anatomy of talent. *Anatomical record. Part B, New anatomist*, *277*, 21-36.
- Lee, K. H., Choi, Y.Y., Gray, J. R., Cho, S. H., Chae, J. H., Lee, S., & Kim, K. (2006). Neural correlates of superior intelligence: Stronger recruitment of posterior parietal cortex. *Neuroimage*, *29*, 578-586.
- Li, Y. H., Liu, Y., Qin, W., Li, K. C., Yu, C. S., & Jiang, T. Z. (2009). Brain anatomical network and intelligence. *PLOS Computational Biology*, *5*, e1000395.
- Liu, T. R., Xiao, T., & Shi, J. N. (2016). Fluid intelligence and neural mechanisms of conflict adaptation. *Intelligence*, *57*, 48-57.
- Mosing, M. A., Verweij, K. J.H., Madison, G., & Ullén, F. (2016). The genetic architecture of correlations between perceptual timing, motor timing, and intelligence. *Intelligence*, *57*, 33-40.
- Narr, K. L., Woods, R. P., Thompson, P. M., Szeszko, P., Robinson, D., Dimtcheva, T., Gurbani, M., Toga, A.W., & Bilder, R. M. (2007). Relationships between IQ and regional cortical gray matter thickness in healthy adults. *Cereb. Cortex*, *17*, 2163-2171.
- Navas-Sanchez, F. J., Aleman-Gomez, Y., Sanchez-Gonzalez, J., Guzman -De-Villoria, J. A., Franco, C., Robles, O., Arango, C., & Desco, M. (2013). White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient. *Human Brain Mapping*, *35*, 2619-2631.

- O'Boyle, M. W., Cunnington, R., Silk, T. J., Vaughan, D., Jackson, G., Syngeniotis, A., & Egan, G. F. (2005). Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research*, *25*, 583-587.
- Pfleiderer, B., Ohrmann, P., Suslow, T., Wolgast, M., Gerlach, A. L., Heindel, W., & Michael, N. (2004). N-acetylaspartate levels of left frontal cortex are associated with verbal intelligence in women but not in men: A proton magnetic resonance spectroscopy study. *Neuroscience*, *123*, 1053-58.
- Prescott, J., Gavrilescu, M., Cunnington, R., O'Boyle, M. W., & Egan, G. F. (2010). Enhanced brain connectivity in math-gifted adolescents: an fMRI study using mental rotation. *Cognitive Neuroscience*, *1*, 277-288.
- Raichle, M.E. (2011). The restless brain. *Brain Connect*, *1*(1), 3-12. DOI: 10.1089/brain.2011.0019
- Reiss, A. L., Abrams, M. T., Singer, H. S., Ross, J. L., & Denckla, M. B. (1996). Brain development, gender and IQ in children. A volumetric imaging study. *Brain*, *119*, 1763-1774.
- Saville, C. W.N., Beckles, K. D.O., MacLeod, C. A., Feige, B., Biscaldi, M., Beauducel, A., & Klein, C. (2016). A neural analogue of the worst performance rule: Insights from single-trial event-related potentials. *Intelligence*, *56*, 95-103.
- Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Rapoport, J. & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, *440*, 676-79.
- Shore, B. M., & Kanevsky, L. (1993). Thinking processes: Being and becoming gifted. In K. A. Heller, F. J. Moenks, & A. H. Passow (Eds.), *International handbook of research and development of giftedness and talent* (pp. 133-147). New York, NY: Pergamon Press.
- Singh, H., & O'Boyle, M. W. (2004). Interhemispheric interaction during visual information processing in mathematically gifted youth, average ability adolescents and college students. *Neuropsychology*, *18*, 371-377.
- Song, M., Zhou, Y., Li, J., Liu, Y., Tian, L. X., Yu, C. S., & Jiang, T. Z. (2008). Brain spontaneous functional connectivity and intelligence. *Neuroimage*, *41*, 1168-1176.
- Storfer, M. D. (1990). Unusual biological traits in intellectually gifted people. In M. D. Storfer (Ed.), *Intelligence and giftedness: The contribution of heredity and early environment* (pp. 382-411). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Suzuki, W. A., Zola-Morgan, S., Squire, L. R., & Amaral, D. G. (1993). Lesions of the perirhinal and parahippocampal cortices in the monkey produce long-lasting memory impairment in the visual and tactual modalities. *Journal of Neuroscience*, *13*, 2430-2451.

- Wang, L. Q., Song, M., Jiang, T. Z., Zhang, Y. T., & Yu, C.S. (2011). Regional homogeneity of the resting-state brain activity correlates with individual intelligence. *Neuroscience Letters*, 488, 275-278.
- Wharton, C. M., Grafman, J., Flitman, S. S., Hansen, E. K., Brauner, J., Marks, A. & Honda, M. (2000). Toward neuroanatomical models of analogy: A positron emission tomography study of analogical mapping. *Cognitive Psychology*, 40, 173-97.
- Wilke, M., Sohn, J. H., Byars, A. W. & Holland, S. K. (2003). Bright spots: Correlations of gray matter volume with IQ in a normal pediatric population. *Neuroimage*, 20, 202-215.
- Yan, C. G, Wang, X.-D., Zuo, X.-N., Zang Y.-F. (2016). *DPABI: Data Processing & Analysis for (Resting-State) Brain Imaging*. Beijing, China: Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences.
- Yu, H. P., Chen, C. M., & Jen, E. (2017). Incorporating nanotechnology into K-12 education, with a special focus on gifted students. In K. S. Taber, M. Sumida, & L. McClure (Eds.), *Teaching gifted learners in STEM subjects: Developing talent in science, technology, engineering and mathematics* (pp. 171-185). New York, USA: Routledge.
- Zang, Y., Jiang, T., Lu, Y., He, Y., & Tian, L. (2004). Regional homogeneity approach to fMRI data analysis. *Neuroimage*, 22, 394-400.
- Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2015). Mathematically gifted adolescents mobilize enhanced workspace configuration of theta cortical network during deductive reasoning. *Neuroscience*, 289, 334-348.
- Zhou, X., Chen, C., Zang, Y., Dong, Q., Chen, C., Qiao, S., & Gong, Q. (2007). Dissociated brain organization for single-digit addition and multiplication. *Neuroimage*, 35, 871-880.

收稿日期：2019年06月25日

一稿修訂日期：2019年06月26日

二稿修訂日期：2019年08月30日

三稿修訂日期：2019年10月14日

接受刊登日期：2019年10月14日

Bulletin of Educational Psychology, 2020, 51(3), 443-456
National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Regional Homogeneity Correlates with Mathematical and Scientific Talent and Intelligence Quotient

Ching-Lin Wu

Program of Learning Sciences

Institute for Research Excellence in Learning Sciences
National Taiwan Normal University

Ching-Chih Kuo

Department of Special Education
National Taiwan Normal University

Mathematical and scientific talented (MST) students are often thought to those who have high intelligence (IQ). Recently, many studies evaluating the neurological mechanism underlying mathematical and scientific talent indicate that certain talents are associated with different brain structures. Furthermore, white matter microstructure is connected differently in cases of mathematical and scientific talent and intelligence. However, research evaluating the relationship between MST, IQ, and gray matter microstructure using the method of regional homogeneity is rare. To address this issue, sixteen MST individuals with average age 20.91 ($SD = 1.75$) and 14 typically developed undergraduate with average age 21.72 ($SD = 0.92$) were recruited to participate this research. Participants were recruited from the Departments of Science, Electrical and Computer Engineering, Computer Science, Medicine, and Life Science and the Department of Bio-resources and Agriculture of Taiwanese universities. The participants were assessed intelligence using the Wechsler Adult Intelligence Scale-III and a resting-state brain approach. The present study was reviewed and approved by the Research Ethics Center of Taipei Medical University of Taiwan. All the participants signed an informed consent before the experiment began. The results demonstrated that for both the MST and control groups, intelligence and regional homogeneity were positively correlated with the middle frontal gyrus, anterior cingulate, and thalamus. After controlling for the influence of age and IQ, the local efficiencies of the frontal, parietal and temporal lobes, cingulate cortex, insula, and thalamus were higher in the MST group than those in the control group. These results are consistent with portions of the parieto-frontal integration theory that postulate that math-and science and intelligence work together in some brain regions, but operate independently in others. The findings of the present study contribute to a further understanding of the different traits between high IQ and math- and science as well as way to identify different kinds of talents.

KEY WORDS: Regional homogeneity, Intelligence, Mathematical and scientific talent, Resting-state