

教育科學研究期刊 第五十七卷第二期

2012 年，57 (2)，25-64

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

郭靜姿

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

林慶波

國立陽明大學
神經科學研究所

張馨仁

臺北市立中山女子高級中學
特教組

周坤賢

國立陽明大學
神經科學研究所

曾琦芬

國立臺中科技大學
通識教育中心

張玉佩

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

林燁虹

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

摘要

本研究參與者包括 36 位高中數理能力優異學生 (16 男, 20 女) 及 37 位普通學生 (20 男, 17 女)。研究工具含: 「高中學校能力測驗」、「國中基測成績」與「磁振造影」(MRI)。MRI 係以 SPM 的像素型態分析方法 (VBM) 進行統計。研究結果顯示: 一、數優組與普通組在多個皮質區灰質容積有差異。數優組在 IQ 及數理能力相關的皮質區灰質容積高於普通組; 而普通組在動作及高級感覺皮質區灰質容積高於數理能力優異組。二、性別在多個皮質區灰質容積有差異。男生組在計算能力相關、訊息連結、負面情緒記憶等皮質區灰質容積顯著高於女生組; 而女生組在認知、高級感覺等皮質區灰質容積顯著高於男生組。三、綜合能力與性別的比較, 研究者推估先天能力與後天學習都與大腦發展有關。

關鍵字: 灰質容積、性別差異、磁振造影、數理能力優異

通訊作者: 郭靜姿, E-mail: kaykuo@ntnu.edu.tw

收稿日期: 2011/08/30; 修正日期: 2011/12/16、2012/03/15; 接受日期: 2012/05/11。

壹、前言

大腦的結構與功能是近幾年來科學家、心理學家及教育學者積極在研究的主題，借助高科技的造影技術之賜，我們可以在受試者進行一項認知作業時，同時觀察大腦在特定區域的活動型態。已往，在特殊教育中，有關大腦結構及功能的研究較偏重腦傷患者及身心障礙學生的功能缺損，對於資優學生的大腦研究較為欠缺。

近年來若干科學家以數理能力優異生為研究對象，試圖探究資優者的大腦；例如：以 fMRI 的掃描來比較數理能力優異生與普通生在做 3D 心像旋轉時大腦活化的血中含氧量變化 (O'Boyle, 2005)、比較數理能力優異生、普通生及大學生大腦半球間的交互作用情形 (Singh & O'Boyle, 2004)，以及資優生在解決心像旋轉問題時的表現 (O'Boyle, 2005)。上述研究都以 fMRI 作為研究工具，能知道大腦的活化區塊，不過，以 MRI 作為研究工具來探討大腦結構的，其研究對象目前多僅限於普通生，研究結果指出，智力與灰質容積在額葉 (BA 10, BA 11, BA 46, BA 47)、顳葉 (BA 21, BA 37)、頂葉 (BA 40)、枕葉 (BA 19)、小腦、楔葉 (BA 5, BA 7, BA 24, BA 31) 與下葉有密切相關 (Colom, Jung, & Haier, 2006; Frangou, Chitins, & Williams, 2004; Haier, Jung, Yeo, Head, & Alkire, 2004; Reiss, Abrams, Singer, Ross, & Denckla, 1996; Wilke, Sohn, Byars, & Holland, 2003)。

以數理能力優異為對象的研究中，最重要也是最有名的要算是對科學家愛因斯坦腦結構的研究了，1985 年由 Diamond、Scheibel、Murphy 及 Harvey 於《實驗神經科學期刊》(Experimental Neurology) 所發表的「一個科學家的腦：艾伯特·愛因斯坦」，在其研究中發現，愛因斯坦的腦在第 39 區比一般人有較多的神經膠細胞，由此指出，愛因斯坦的神經細胞在新陳代謝需求上的增加。透過愛因斯坦的腦，後人才得以窺探天才科學家的腦部奧秘，然而，對於活生生的資優者，解剖其大腦不可能，幸而今日科技發達，人類得以在不侵入大腦的情況下，透過核磁共振儀及先進分析高科技技術掃描仍活潑運作的大腦，瞭解資優者大腦的結構與運作功能。

已往在資優學生的特質研究中，「性別差異」為熱門議題。許多美加地區的研究指出：男生在數學問題解決測驗的表現上優於女生，且男生在 SAT (Benbow, 1988; Benbow & Stanley, 1980) 及標準化成就測驗 (Walsh, Hickey, & Duffy, 1999) 的數學表現皆優於女生。在國際上如：TIMSS (The Third International Mathematics and Science Study) 的報告，男生在正式的數學評量表現也優於女生。Lubinski 與 Benbow (1992) 也發現即使以數學資優為受試的研究，男生在數學的得分亦遠高於女生，而女生比男生在數學與科學方面較無抱負 (Benbow, 1992)。

臺灣自 1973 年開始設立資優班，目前每年約鑑定出 1 萬名數理能力優異班學生 (含國中及高中)，已往的研究對於資優學生的心理特質及教學投入較多，但對於生理特質的研究投入

較少。目前跨領域合作進行基礎研究已蔚為趨勢，研究群於本研究中針對國內為數頗眾的數學能力優異學生進行大腦結構與功能的研究，以期對於資優學生的身心特質有更全面的瞭解；另外，性別差異是數理資優教學中最受重視的議題，亦是本研究所欲尋找的答案。

貳、文獻探討

一、大腦結構與智力

在行為特質與大腦結構的關聯研究中，與 IQ 相關的報導較多。雖然數學能力優異學生並非全屬高 IQ 學生，但數學能力又與 IQ 有若干相關，因此本節將智力納入探討。

最早，Andreasen、O'Leary 與 Ehrhardt (1993) 以 67 位健康的普通成人為研究對象探討智力與大腦結構的關聯，結果發現，大腦、顳葉、海馬回及小腦的容積與智力顯著相關；灰質、白質及腦脊液的體積也隨著年紀的改變而成熟。Reiss 等 (1996) 也發現前額葉區的灰質容積與智力顯著相關；Wilke 等 (2003) 則發現前扣帶 (BA 24) 與智能有直接的相關；Frangou 等 (2004) 以健康的青少年為研究對象，發現左前小腦、小腦、右額眶皮質 (orbitofrontal cortex) (BA 11, BA 47)、左額眶皮質 (BA 10, BA 11, BA 47)、丘腦 (thalamus)、扣帶 (cingulate) (BA 9, BA 24, BA 32) 及楔葉 (precuneus) (BA 5, BA 7, BA 24, BA 31) 等七個灰質區和智力有關。

Narr 等 (2007) 探討 65 位一般成人 (30 男, 35 女) IQ 與腦組織間 (厚度) 的關係及性別差異。研究結果發現，IQ 與前額眶 (BA 10, BA 11, BA 47)、雙側顳葉 (BA 20, BA 37, BA 36) 之皮質厚度有關；IQ 與右腦 BA 21 的顳葉、BA 19 的枕葉皮質厚度也有相關；不過僅有極少部分的扣帶區與 IQ 有關。女性的 IQ 與皮質區相關最明顯處為：前額葉區 (BA 10, BA 11, BA 47)、下顳葉 (BA 20)、顳-枕區 (BA 37, BA 36)。男性的 IQ 與皮質區相關最明顯處為中央顳-枕區 (BA 37)、BA 19 邊緣、BA 30 等區。男性之 IQ 與皮質呈負相關之處為：左下頂葉皮質。

另外，Li 等 (2009) 以 79 位健康的年輕人研究智力與大腦訊息處理的效率，結果發現，智力與兩半球神經網路的連結效率有顯著的正相關，也指出高智力可能是平行處理訊息的高效率導致。

綜合上述文獻，與智力相關顯著的灰質區含：小腦、前額眶 (BA 10, BA 11, BA 47)、顳葉 (BA 20, BA 37, BA 36)、丘腦、扣帶 (BA 9, BA 24, BA 32) 及楔葉；與男性 IQ 呈負相關之處為：左下頂葉皮質；而與 IQ 相關的皮質區在性別是有差異的；另外，兩半球訊息連結的效率也與智力有關。

二、數理能力與性別差異

有些學者指出，數理能力的性別差異主要來自於社會與文化因素 (Baker & Jones, 1993;

Catsambis, 1994; Eccles, Wigfield, Harold, & Blumenfeld, 1993; Hyde, Fennema, Ryan, Frost, & Hopp, 1990) 及女生對於數理的信心較低 (Hargreaves, Homer, & Swinnerton, 2008; Kenney & Silver, 1997; Lindquist, 1989)。

國內王文伶 (2006) 以 32 名學前資優兒童為受試，探討資優兒童在進入小學環境前，其空間、語文和數量推理能力上，是否具有性別差異。結果發現，學前資優兒童的空間、語文和數量推理能力並無性別差異。Marshall 與 Smith (1987) 的研究發現，三年級的女生在計算的任務及非傳統的問題表現上較男生佳，但在以文字表達的問題上則無性別上的差異。而六年級的女生在計算的任務表現較男生好，但在非傳統的問題與文字表達的問題上則無性別上的差異。在 Hyde 等 (1990) 的後設分析研究發現：高中與大學男生在問題解決表現上較女生佳，但在小學與中學階段則稍微支持女生 (效果值基本上為 0)；此外，女生的計算能力在國小與中學階段表現較佳。由此觀之，性別差異在中學以後似較顯著。De Fraix、Nilsson 與 Herlitz (2006) 以 625 名 (285 男, 340 女) 分布在十個年齡層之成年人為受試，比較性別在認知能力的差異，也發現女性在片段回憶 (episodic recall)、臉部及語言辨認 (face and verbal recognition) 及語意流暢 (semantic fluency) 之表現優於男性；而男性在知覺空間能力的表現優於女性。De Fraix 等人指出性別差異在 35-90 歲間相當穩定。

Weiner 與 Robinson (1986) 以 139 名 (77 男, 62 女) 數學資優學生為受試，以數學推理測驗、語文推理測驗、空間能力評估及人格測驗為研究工具，比較資優男、女生在數學成就的表現，結果發現男生在數學推理能力的表現高於女生；另外，Casey 與 Brabeck (1989, 1990) 的研究則發現，男生在空間的任務表現上似乎較佳，特別是在旋轉的項目；Geary (1996) 發現，男性資優學生在幾何及視覺化 (visualization) 表現較優異。其他研究則指出：資優男生較資優女生有較優秀的數學、空間、技能 (Lubinski & Humphreys, 1990)、數學推理 (Benbow, 1988; Benbow & Stanley, 1980, 1983; Lubinski, Benbow, Shea, Eftekhari-Sanjani, & Halvorson, 2001; Weiner & Robinson, 1986)、數系推理 (Wang, 2006)、複雜的視覺空間處理 (如：心智旋轉) 及目標導向的動作技巧；不過女生在語言流暢、精細動作技巧、知覺速度、算術、路線記憶表現較男性為佳 (Halpern, 1992; Kimura, 1992; O'Boyle & Hellige, 1989; O'Boyle & Hoff, 1987; O'Boyle, Hoff, & Gill, 1995; Springer & Deutsch, 1998)。

三、數理能力與大腦結構

有些研究者指出，性別在數理能力的差異可能係因荷爾蒙的分泌不同導致大腦結構的差異 (Kimura, 1992; Thomas, 1993)。部分學者指出，數理的性別差異因素係基於兩性在數學相關的額葉與頂葉結構不同。Hanakawa、Honda、Okada、Fukuyama 與 Shibasaki (2003) 便指出梭狀回 (BA 37) 及後上頂葉與計算能力相關密切；而右腦前動作區 (右 BA 8) 與頂葉又與視覺空間能力有密切相關 (Hanakawa et al., 2002)。Dehaene、Molko、Cohen 與 Wilson (2004) 及 Dehaene、Piazza、Pinel 與 Cohen (2003) 指出頂葉內溝 (intraparietal sulci, IPS) 對於量的

抽象表徵及數字處理扮演重要的角色。Schmithorst 與 Brown (2004) 亦指出下頂葉與枕—顛連結區與複雜的數學作業處理有高度相關。Grabner 等 (2007) 也發現頂葉區 (尤其是左側角回) 與算數有關。Danker 與 Anderson (2007) 則發現頂葉與數學表徵有關, 而前額葉與數學推理有關。另外, Zhou 等 (2007) 發現頂葉溝 (IPS)、枕中回 (MOG) 及上枕回 (SOG) 與加法有關; 中央前回、輔動作區 (BA 6)、前後顛回與乘法有關。O'Boyle (2005) 運用 fMRI 評量資優組與普通組男生進行 3D 心像旋轉的大腦活化情形, 也發現資優組男生在雙側頂葉、額葉及前扣帶的活化較多。

綜上所述, 與數學能力相關的區域有: 梭狀回 (BA 37)、後上頂葉、頂葉內溝、左側角回、下頂葉、枕—顛連結區、枕中回、上枕回、右腦前動作區 (右 BA 8)、輔動作區 (BA 6)、前額葉、中央前回、前後顛回、前扣帶等。上述區域有若干如: 前額葉、前扣帶、頂葉也與 IQ 有關。

四、大腦結構與性別

在性別差異有關的大腦研究中, Kaufmann、Puetz、Wilke 與 Auer (2001) 以 92 位健康年輕男女為研究對象進行大腦容積的比較, 發現男性在內側額回及扣帶回灰質容積大於女性, 而女性在下額回、內側額回、雙側下頂葉、雙側顛葉、枕葉、小腦、雙側被殼灰質容積大於男性。Good 等 (2001) 以成年人為研究對象發現, 男性在上顛回前端、杏仁體、雙側海馬、雙側小腦灰質容積大於女性; 而女性雙側下額回、右側額眶、右緣上回、雙側中央溝、左角回、右下頂葉、右顛中回、左顛上溝、右顛平面、右橫顛回、左海馬旁回及後扣帶灰質容積大於男性。Chen、Sachdev、Wen 與 Anstey (2007) 以 78 位兒童為研究對象, 發現男生在左下顛回、中顛回、舌回、中腦及雙側小腦灰質容積大於女生; 而女生在右下頂葉、前扣帶背側、後扣帶、腹扣帶灰質容積大於男性。Yamasue 等 (2008) 發現, 年輕女性在雙側上顛回、雙側下額回、雙側腦島、雙側枕—顛區、雙側前扣帶、雙側視丘、左海馬旁回、左前額 (尤其是社會認知相關的雙側後下額及左前額內側); 而年輕男性在雙側小腦及雙側杏仁體灰質容積高於年輕女性。Cheng 等 (2009) 以 1.5 斯特拉 (Tesla) 的磁振造影儀 (MRI) 比較 50 位年輕男女的大腦差異, 結果也發現, 年輕男性在左杏仁核、右海馬旁回、雙側豆狀核灰質容積大於年輕女性; 而年輕女性在右蓋部、右下頂葉、右上額回、左枕側、雙側中央前回、右角回、右楔葉、左前額內側、右腦幹灰質容積大於年輕男性。

整體觀之, 男性灰質容積大於女生的皮質區在: 雙側小腦、上顛回前端、左下顛回、中顛回、舌回、中腦、內側額回、扣帶回、雙側海馬及與情緒相關的區域左杏仁核、右海馬旁回及雙側豆狀核等。女性灰質容積大於男生的皮質區為: 雙側中央前回、雙側中央溝、腹扣帶雙側下額回、下額回、右上額回、右側額眶、左前額內側、雙側顛葉、右顛中回、左顛上溝、右顛平面、右橫顛回、枕葉、左枕側、小腦、雙側被殼、前扣帶背側、後扣帶、後扣帶

右蓋部、右緣上回、下頂葉、右楔葉、左角回、右角回、左海馬旁回及右腦幹灰質灰質容積大於男性。

參、研究方法

一、研究參與者

本研究參與者取自台北市公立高中，含 36 位數學能力優異生（男 16 位，女 20 位）及 37 位普通生（男 20 位，女 17 位）。四組平均年齡為：16.09（數學組男生）、16.82（數學組女生）、16.78（普通組男生）、16.52（普通組女生）。參與研究前，每位受試者及其家長均簽署知情同意書。

研究者為瞭解組別在智力及成就表現的差異，將學生智力及基測（數學科及自然科）得分進行 t 檢定，結果如表 1 及表 2 所示。表 1 顯示數優組無論在智力及數學能力均顯著優於普通組 ($p < .001$)。表 2 顯示性別差異無論在數優組與普通組均未達顯著水準 ($p > .05$)。

性別在國中基測數學與自然科成績差異未達顯著水準，可能是本研究不同性別樣本的數學能力相當。當然，另一種有可能是基測題目難度較低，因此對於高能力群的鑑別度不夠。

二、研究工具

（一）高級中等學校能力測驗

本測驗修訂自「歐雷學校能力測驗」第八版（Otis-Lennon School Ability Test, Eighth Edition, OLSAT 8）的水準 G 版本，用來測量與學術性向及成就關係密切的語文、數量及圖形推理的能力（簡茂發、何榮桂、郭靜姿，2008）。該測驗含語文及非語文兩個分測驗，共計 70 題。此測驗之分測驗之內部一致性信度係數為 .646~.873，全測驗之內部一致性信度係數為 .824~.912。分測驗之重測信度為 .55~.65，全測驗之重測信度為 .67。效度方面，由性別、文理組、不同年級、不同班級及不同性質學校受試之得分進行差異檢定，結果顯示本測驗能區分不同能力學生程度之差異。以多因素性向測驗與學業成就求取本測驗之效標關聯效度，驗證結果頗佳。

（二）國中基本能力測驗

本研究為瞭解學生數學成就表現，以學生在國中入學高中之數學、自然成績，作為數學組與普通組成就表現的參照。

（三）核磁共振攝影（MRI 掃描）

係使用 1.5T 強度的主磁力場 MRI（General Electric, Milwaukee, WI, USA）進行大腦影像掃描。本研究借重臺北榮民總醫院之 MRI 施測。

表 1

數學能力優異組與普通組在國中基測與智力測驗得分之差異檢定

測驗名稱／組別	數理組 (N=36)		普通組 (N=37)		t 值
	M	SD	M	SD	
國中基測 (數學)	58.97	2.05	44.51	5.59	14.59***
國中基測 (自然)	56.06	3.29	43.16	5.30	12.44***
智商	120.76	7.08	106.34	9.88	7.11***
非語文智商	119.58	7.19	105.00	10.50	6.87***
語文智商	119.75	7.80	107.21	10.01	5.93***

*** $p < .001$.

表 2

性別／組別在國中基測 (數學、自然) 與智力測驗得分之差異檢定

測驗名稱 ／組別	數理男 (N=16)		數理女 (N=20)		t 值	普通男 (N=20)		普通女 (N=17)		t 值
	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
	Math	58.69	2.50	59.20		1.64	-0.74	43.05	4.96	
Science	56.56	3.01	55.65	3.53	0.82	42.65	6.36	43.76	3.80	-0.63
IQ	122.48	6.38	119.37	7.46	1.32	105.68	10.87	107.08	8.92	-0.42
Non-V IQ	121.87	7.01	117.75	6.97	1.76	103.70	10.32	106.46	10.83	-0.78
V IQ	120.61	5.89	119.06	9.15	0.59	107.39	12.28	107.01	7.04	0.11

測驗名稱 ／組別	數理男 (N=16)		普通男 (N=20)		t 值	數理女 (N=20)		普通女 (N=17)		t 值
	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
	Math	58.69	2.50	43.05		4.96	11.48***	59.20	1.64	
Science	56.56	3.01	42.65	6.36	8.04***	55.65	3.53	43.76	3.80	9.86***
IQ	122.48	6.38	105.68	10.87	5.44***	119.37	7.46	107.08	8.92	4.57***
Non-V IQ	121.87	7.01	103.70	10.32	5.97***	117.75	6.97	106.46	10.83	3.83***
V IQ	120.61	5.89	107.39	12.28	3.94***	119.06	9.15	107.01	7.04	4.43***

*** $p < .001$.

三、評量程序

評量程序包括人員訓練、蒐集學生能力資料、行為特質評量及 MRI 評量：

(一) 人員訓練

核磁共振影像儀為安全、穩定之醫學影像工具，參與研究之 3 名博士班、2 名碩士班學生及 1 位專任助理，均參加核磁共振影像儀之相關原理、操作及影像分析研習。

(二) 蒐集資料

本研究透過學校協助蒐集國中基測成績。基於研究需要，普通生組排除數理能力優秀的學生。

(三) 行為特質評量

到校實施「高中學校能力測驗」以蒐集學生智力成績。

(四) MRI 評量

在進行評量中，為了安全考量，參與 MRI 攝影的受試者不能穿戴有金屬扣子或相關金屬製品的衣物或首飾。為降低掃描時所產生的噪音，本研究提供受試者耳塞；為避免受試者因噪音頭部轉動而影響掃描，本研究於受試者耳朵兩側填塞泡沫填料。

四、研究問題與假設

本研究擬比較四組高中學生在大腦結構與性別之差異，依據文獻探討，本研究假設如下：

假設（一）：數理能力優異組在與智力相關的腦葉灰質容積顯著高於普通組，含：小腦、前額眶（BA 10, BA 11, BA 47）、雙側顳葉（BA 20, BA 37, BA36）、丘腦、扣帶（BA 9, BA 24, BA 32）及楔葉。而男性在左下頂葉皮質容積會低於普通組。

假設（二）：數理能力優異組在與數理能力相關的皮質區灰質容積顯著高於普通組，含：梭狀回（BA 37）、後上頂葉、右腦前動作區（right premotor）、頂葉內溝（IPS）、下頂葉、枕—顳連結區、左側角回、前額葉、枕中回、上枕回、中央前回、輔動作區、前後顳回等。

假設（三）：無論是資優組或普通組，男生組會在情緒與數學計算相關的腦葉灰質容積顯著高於女生組，含：梭狀回、雙側小腦、舌回、雙側豆狀核的被殼、右旁海馬回（右杏仁核）、顳回、扣帶回等。

假設（四）：無論是資優組或普通組，女生組會在計畫推理與高級感覺相關的腦葉灰質容積顯著高於男生組，含：上額回、中額回、下額回、眶回、下頂葉等。

假設（五）：數理資優組的性別差異及普通組的性別差異，會在部分腦葉灰質容積不同。數理資優男生會在與視覺化及空間相關的腦葉灰質容積高於數理資優女生；數理資優女生會在與語言、精細動作相關的腦葉灰質容積高於數理資優男生。

五、資料處理分析

(一) 組別在行為特質之差異檢定

本研究將蒐集之量化資料利用 SPSS 13.0 for Windows 電腦套裝軟體進行資料處理，以描述統計分析各項測驗及量表之次數及平均數、標準差；以獨立樣本 t 考驗分析組別間的差異。

(二) MRI 施測與組別之差異分析 (3D T1 weighted image and DTI)

本研究所使用的大腦造影儀器為臺北榮民總醫院主磁力場強度為「1.5T MRI」，其所使用的造影線圈為八通道之頭部線圈 (8 channel head coil in TPE-VGH) (Excite II; GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA)。

當受試者進入造影儀器後，首先主試者會進行三平面的定位掃描以作為後續造影程序定位之用，其中矢狀切面定位點會沿著包含前連合 (anterior commissure) 至後連合 (posterior commissure) 的平面進行定位。之後藉由 FLAIR-FSPGR 造影序列取得 124 張連續的 T1 權重高解析度結構影像 (fluid-attenuated inversion-recovery fast spoiled gradient recalled echo)，其 T1 權重影像的造影參數如下：TR=8.548 ms，TE=1.836 ms，TI=400 ms，flip angle=15°，FOV=26×26 cm，matrix size=256×256，解析度=1.02×1.02 mm，切面厚度=1.5 mm。

以體素為基礎的型態學 (voxel-based morphometry, VBM) 分析之相關資料處理步驟：在此研究中，我們所使用的方法為最佳化之以體素為基礎的型態學分析法 (Optimized VBM)，此分析方法是 Ashburner 以及 Friston 所發展出來 (Ashburner & Friston, 2000)，並且由 Good 進一步加以最佳化而形成得一種影像分析法 (Good et al., 2001)。此完整的分析方法需要在 Matlab 6.5 (MathWorks, Natick, MA, USA) 環境下，並且透過 SPM2 加以執行 (statistical parametric mapping)。¹

為了進行以像素為基礎的群體型態分析以瞭解不同群體間灰質和白質體積是否有差異，我們以每一位受試者的每一個位於標準空間顱內體素所對應的組織體積為依變項，以全顱內體積 (total intracranial volume) 為共變數並以未校正的 p 值 ($p < .05$ ，未校正) 及叢集大於十個連續的體素作為條件，以定義出具有顯著組間差異的大皮質區域。隨後藉由 MNI 座標 (Montreal Neurological Institute) 找出具有最高 t 值的位置並且使用 Matthew Brett (MRC Cognition and Brain Sciences Unit, Cambridge, UK) 提供的非線性計算法 (Brett, Johnsrude, & Owen, 2002)，將 MNI 座標以非線性的分式轉換成 Talairach 座標，並藉由 Talairach 和 Tournoux atlas (Talairach & Tournoux, 1988) 的座標系統找出其對應的相關大腦組織。

¹ Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK; available online at: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>

肆、研究結果與討論

一、數理能力優異組與普通組之比較

(一) 研究結果

數理能力優異組與普通組受試經過 MRI 掃描後，進行複雜之群組分析，以 SPM 軟體進行 VBM，逐一比較大腦對位後之每個體素。

1. 全體數理能力優異學生灰質容積大於普通組學生之皮質區

圖 1 顯示數理能力優異組與普通組灰質容積不同的皮質區。由表 3 可知數理能力優異組在多個大皮質區塊的灰質容積較普通組高（群聚值 > 40 ， $p < .05 \sim p < .0001$ ），包括：(1) 額葉：右側中央前回（precentral gyrus）（BA 44）及雙側額下回（BA 47）；(2) 頂葉：左前楔葉（precuneus）（BA 7）、右後頂中回（BA 7, BA 43）；(3) 顳葉：雙側梭狀回（fusiform gyrus）（BA 37）、左上顳回（BA 41）；(4) 枕葉：左下顳回（inferior temporal gyrus）（BA 19）；(5) 左小腦、小腦前葉（culmen）；(6) 右下葉腦島（insula）（BA 13）；(7) 左邊緣葉的鉤部（uncus）（BA 38）。

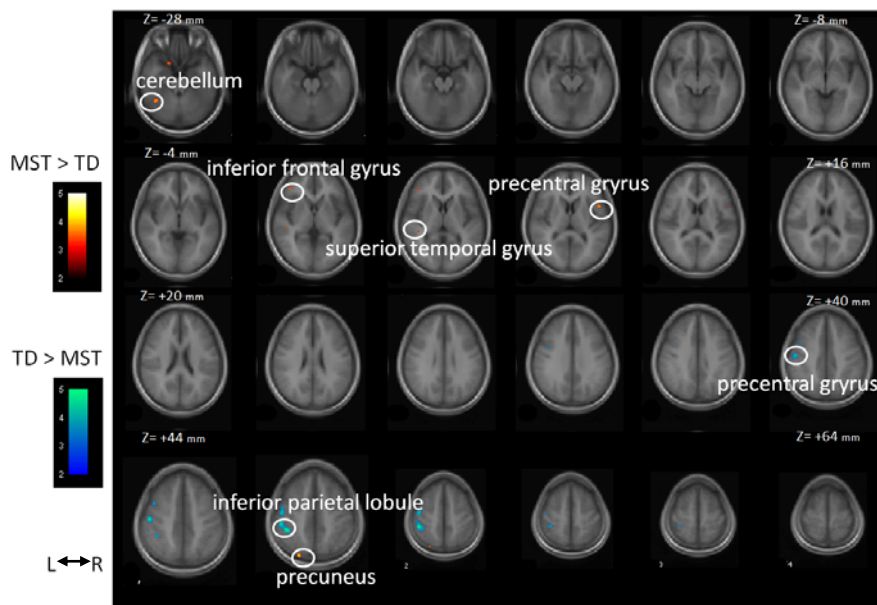


圖1. 數理能力優異組與普通組灰質容積不同的皮質區²

² 圖 1 至圖 5 為彩色圖片，電子檔請參本刊網頁：<http://jories.ntnu.edu.tw>

表3

全體數學能力優異組灰質容積大於普通組之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Frontal</u>				<u>Frontal</u>			
93	50, 10, 7	PCG, BA 44	3.84***	101	-42, 39, -2	Sub-G, BA 10	3.67***
13	42, 33, -3	MFG, BA 47	3.48**	16	-10, 28, 48	MFG, BA 8	3.21**
<u>Temporal</u>				<u>Temporal</u>			
40	59, -52, -21	FG, BA 37	3.28**	22	-42, 21, -1	IFG, BA 47	3.14**
<u>Parietal</u>				<u>Parietal</u>			
12	16, -53, 71	Postc. G., BA 7	3.02**	396	-34, -57, -14	FG, BA 37	3.01**
15	65, -15, 14	Postc. G., BA 43	3.00**	65	-44, -31, 3	STG, BA 41	3.78***
<u>Sub-lobar</u>				<u>Sub-lobar</u>			
40	44, -28, 24	Insula, BA 13	3.04**	51	-26, -73, 50	Precuneus, BA 7	4.04****
				15	-8, -77, 50	Precuneus, BA 7	3.55***
				<u>Limbic</u>			
				42	-20, 10, -26	Uncus, BA 38	3.54***
				<u>Occipital</u>			
				396	-50, -55, -7	ITG, BA 19	3.21**
				<u>Cerebellum</u>			
				396	-40, -54, -21	AL, Culmen	3.80***
				62	-30, -39, -38	Cerebellum	3.18**

註：Postc. G.為 Postcentral Gyrus 之縮寫。

** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

2. 全體普通組學生灰質容積大於數學能力優異學生之皮質區

由圖 1 及表 4 可知，普通組在部分皮質區域的灰質容積高於數學能力優異組。包括：(1) 額葉：雙側中央前回（雙側 BA 4，左 BA 6）及右額中回（middle frontal gyrus）（右 BA 6）；(2) 頂葉：雙側下頂小葉（inferior parietal lobule, bilateral）（BA 40）及右顳－頂連接部位（temporal parietal junction）（右 BA 40）；(3) 枕葉：右側枕中回（BA 19）；(4) 邊緣葉：左鉤部（BA 28）、右鉤部（uncus）（右 BA 20）、左旁海馬回（左 BA 28）。

3. 數學能力優異男生與普通組男生灰質容積有顯著差異的皮質區

數學能力優異組男生灰質容積高於普通組男生的皮質區如圖 2 及表 5 所列，包括：(1) 雙側小腦；(2) 顳葉：左顳上回（BA 41）、雙側顳下回（BA 20, BA 21）、雙側梭狀回（BA 37）、右梭狀回（BA 20）；(3) 額葉：右側額上回（BA 6）、雙側額中回（BA 8）、左額中回（BA 6, BA

表 4

全體普通組灰質容積高於數理能力優異組之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Frontal</u>				<u>Frontal</u>			
24	32, -26, 64	PCG, BA 4	3.71***	1569	-53, -14, 39	PCG, BA 4	4.61****
157	34, -13, 52	PCG, BA 4	3.63***	23	-32, -14, 63	PCG, BA 6	3.41**
157	40, -3, 54	MFG, BA 6	3.53***	<u>Parietal</u>			
<u>Parietal</u>				1569	-44, -37, 46	IPL, BA 40	4.85****
144	38, -37, 46	IPL, BA 40	3.32**	1569	-53, -29, 46	IPL, BA 40	4.54****
91	51, -55, 29	TPJ, BA 40	3.02**	<u>Limbic</u>			
<u>Limbic</u>				18	-16, -26, -9	PHG, BA 28	3.22**
31	28, -8, -42	Uncus, BA 20	3.44**	23	-16, -1, -25	Uncus, BA 28	2.76**
<u>Occipital</u>							
68	46, -79, 13	MOG, BA 19	3.21**				

** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

10)、右額下回 (BA 44); (4)枕葉: 右枕下回 (BA 19)、右舌回 (BA 30)、左側枕中回 (BA 19); (5)頂葉: 右後頂中回 (BA 43); (6)邊緣葉: 右扣帶 (BA 32)、右旁海馬回 (BA 35); (7)下葉: 右腦島 (BA 13)。

普通組男生灰質容積高於數理能力優異男生的皮質區如圖 2 及表 6 所列, 包括: (1)額葉: 中央前回 (右 BA 4, 雙側 BA 6)、左額上回 (BA 10, BA 11)、左額下回 (BA 11)、左額中回 (BA 8)、右額中回 (BA 6); (2)頂葉: 雙側 BA 40 (中央後回、下頂葉、緣上回)、右楔葉 (BA 18, BA 19)、左角回 (BA 39); (3)顳葉: 左顳中回 (BA 21)、雙側顳下回 (BA 20)、左上顳回 (BA 22)、右顳上回 (BA 13); (4)邊緣葉: 左扣帶 (BA 31)。

4. 數理能力優異組女生與普通組女生灰質容積有顯著差異的皮質區

如圖 3 及表 7, 數理能力優異組女生灰質容積大於普通組女生的皮質區包括: (1)頂葉: 雙側後頂中回 (BA 7, BA 5)、左前楔葉 (BA 7, BA 3)、左上頂葉 (BA 7)、左下頂葉 (BA 7); (2)顳葉: 雙側梭狀回 (BA 37); (3)額葉: 額中回 (右 BA 47, 右額中回 BA 10, 左額中回 BA 6)、左額下回 (BA 10); (4)枕葉: 右楔葉 (BA 19); (5)左小腦; (6)下葉: 腦島 (BA 13); (7)丘腦: 枕核。

如圖 3 及表 8, 普通組女生灰質容積大於數理能力優異女生的皮質區包括: (1)顳葉: 海馬回、尾核、右上顳回 (BA 39, BA 38)、右下顳回 (BA 20); (2)頂葉: 左中央前回 (BA 2)、

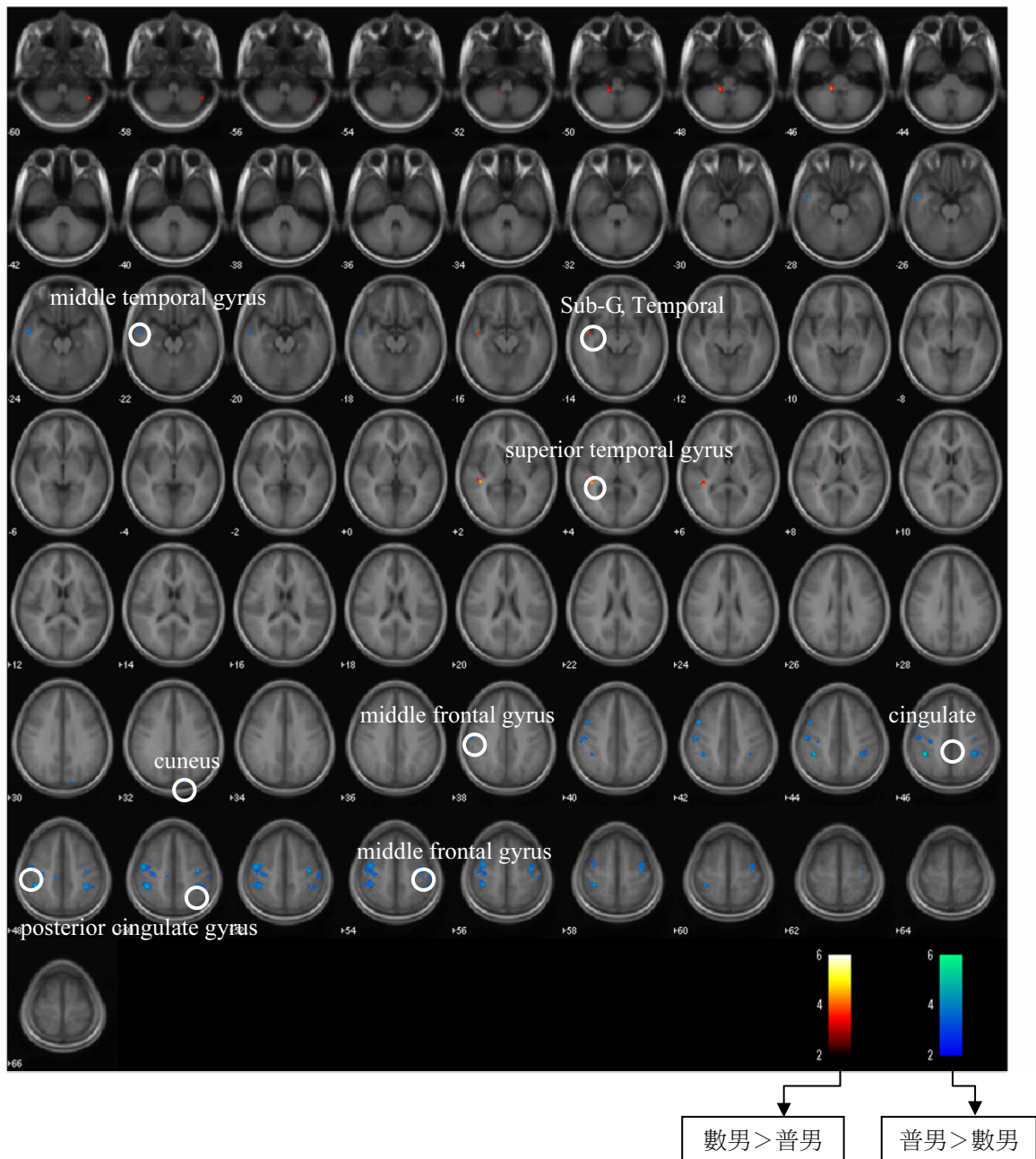


圖2. 數理能力優異組男生與普通組男生灰質容積差異之處

右下頂葉 (BA 40); (3)額葉: 左上額回 (BA 9, BA 8)、右額中回 (BA 9)、左下額回 (BA 9); (4)枕葉: 枕中回 (右 BA 19, 左 BA 18)、梭狀回 (右 BA 19, 左 BA 18)、左舌回 (BA 19)、左下枕回 (左 BA 18); (5)邊緣葉: 旁海馬回 (右 BA 36, 左 BA 30)、右鉤部 (BA 20, BA 38)、左後扣帶 (BA 30); (6)腦下葉: 雙側尾核體、尾核頭、右丘腦; (7)左前小腦: 小腦頂。

表 5

數學能力優異男生灰質容積大於普通男生的皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Frontal</u>				<u>Frontal</u>			
11	4, 41, 38	MFG, BA 8	3.01**	10	-10, 51, 9	MFG, BA 10	3.03**
21	6, 30, 57	SFG, BA 6	3.06**	12	-2, 45, 36	MFG, BA 6	3.29**
63	50, 7, 16	Frontal, IFG, BA 44	2.49*	66	-4, 26, 45	MFG, BA 8	3.44**
<u>Temporal</u>				<u>Temporal</u>			
41	38, -13, -20	Sub-G, BA 20	2.75*	10	-34, 0, -32	ITB, BA 20	3.04**
	40, -28, -14	Fusiform G, BA 20	3.03**	237	-50, -51, -8	ITG, BA 20	3.31**
<u>Parietal</u>				<u>Parietal</u>			
11	67, -15, 15	Postc. G., BA 43	3.04**	32	-46, -8, -13	Sub-G, BA 21	3.87***
<u>Limbic</u>				<u>Limbic</u>			
26	14, 44, -6	Anterior Cingulate, BA 32	3.31**	88	-38, -55, -19	Fusiform G, BA 37	2.78*
99	26, -15, -24	Parahip. G. BA 35	3.12**	97	-42, -31, 3	STG, BA 41	4.60****
<u>Sub-lobar</u>				<u>Occipital</u>			
63	48, 10, 7	Insula, BA 13	2.95**	237	-51, -70, -8	MOG, BA 19	3.36**
<u>Occipital</u>				<u>Occipital</u>			
32	42, -78, -1	IOG, BA 19	3.58***	237	-51, -59, -5	MOG, BA 19	2.97*
<u>Cerebellum</u>				<u>Cerebellum</u>			
53	20, -41, 0	Lingual G, BA 30	3.54***	255	-14, -45, -36	Cerebellum	4.36****
<u>Cerebellum</u>				<u>Cerebellum</u>			
72	44, -59, -48	Cerebellum	3.89***		-14, -70, -34	Cerebellum	3.52***
84	8, -64, -29	Cerebellum	2.98*		-24, -52, -39	Cerebellum	3.20**

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

(二) 討論

1. 不同能力組別在與 IQ 相關之皮質區的差異

全體數學能力優異組與普通組之比較結果，對照文獻 (Colom et al., 2006; Frangou et al., 2004; Haier et al., 2004; Reiss et al., 1996) 指出與 IQ 相關的區域，相同的部位含：雙側小腦、左亞腦回 (sub-gyral) (左 BA 10)、雙側額下回 (BA 47)、顳葉的雙側梭狀回 (雙側 BA 37)、右後頂中回 (右 BA 7, BA 43) 及左前楔葉 (左 BA 7)、右前扣帶 (右 BA 32)；不同的部位是在丘腦 (Frangou et al., 2004)，全體數學能力優異組與普通組之比較結果在丘腦的差異未達

表 6

普通男生灰質容積大於數理能力優異男生的皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Frontal</u>				<u>Frontal</u>			
31	12, -20, 69	PCG, BA 6	3.17**	19	-24, 36, -22	IFG, BA 11	3.96***
1240	40, -11, 50	PCG, BA 4	4.60****	20	-32, 60, -13	SFG, BA 11	3.10**
	40, -3, 54	MFG, BA 6	4.09****	1701	-42, -39, 44	SG, BA 10	5.22****
<u>Temporal</u>				<u>Temporal</u>			
				77	-48, 10, 38	MFG, BA 8	4.71****
22	55, -15, -35	ITG, BA 20	3.06**	1701	-48, -5, 48	PCG, BA 6	4.61****
42	46, -48, 19	STG, BA 13	2.73*	<u>Temporal</u>			
44	67, -30, -17	ITG, BA 20	2.94*	28	-40, -54, 12	Lobe, STG, BA 22	3.25**
<u>Parietal</u>				<u>Parietal</u>			
				340	-65, -18, -13	MTG, BA 21	3.42**
1240	36, -39, 44	IPL, BA 40	4.42****		-55, -11, -33	ITG, BA 20	2.95*
<u>Occipital</u>				<u>Occipital</u>			
					-53, -5, -22	MTG, BA 21	4.50****
249	16, -86, 32	Cuneus, BA 19	3.47**	<u>Parietal</u>			
	10, -90, 23	Cuneus, BA 19	3.15**	1701	-38, -34, 55	PCG, BA 40	4.66****
	14, -83, 19	Cuneus, BA 18	2.66*	81	-42, -60, 34	Angular, BA 39	3.52***
				<u>Cingulate</u>			
				45	-12, -23, 45	BA 31	4.14****

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.顯著水準 ($p > .05$)。

在男生組的比較中，數理能力優異組大於普通組的皮質區與文獻指出之 IQ 相關的區域相同者為雙側小腦、前額 (BA 6, BA 8, BA 10)、左梭狀回 (BA 37)、前楔葉 (BA 7)、枕中回 (BA 19) 及前扣帶 (BA 32)；普通組男生灰質容積高於數理能力優異男生的皮質區，與文獻指出之 IQ 相關的區域相同者為雙側顳下回 (BA 20)、右楔葉 (BA 19)。Narr 等 (2007) 指出男性的 IQ 與皮質區相關最明顯處為：中央顳-枕區 (BA 37)、BA 19 邊緣、BA 30 等區，本研究中的數理優異男生在雙側梭狀回 (BA 37) 及枕中回 (BA 19) 特別發達，普通組則在右楔葉 (BA 19) 特別發達。

在女生組的比較中，數理能力優異組女生灰質容積大於普通組女生的皮質區與文獻指出之 IQ 相關的區域相同者為額中回 (BA 47)、額下回 (BA 10)、頂葉 (BA 5, BA 7)、顳葉 (BA 20, BA 37)、左小腦及丘腦相同 (Frangou et al., 2004)；Narr 等 (2007) 指出女性的 IQ 與皮質區相關最明顯處為：前額葉區 (BA 10, BA 11, BA 47)、下顳葉 (BA 20)、顳-枕區 (BA 37)。

本研究結果與文獻有極一致的發現。

普通組女生灰質容積大於數理能力優異女生的皮質區中，與 IQ 相關者如下：右丘腦、右下顳回 (BA 20) (Frangou et al., 2004)。

下頂葉是與 IQ 及數理能力有關的區域，但全體數理能力優異組在此區灰質密度低於普通組 (參見表 4)。不過依據 Narr 等 (2007) 的研究，下頂葉容積與 IQ 成負相關，因此本研究結果也符合文獻。

小結

綜合言之，本研究假設 (一) 數理能力優異組在與智力相關的腦葉灰質容積高於普通組，大部分假設獲得支持。但是以單純性別比較資優與普通的大腦差異，則研究發現與文獻更加符合。另外，男性數理能力優異學生在下頂葉灰質密度低於普通組，女性數理能力優異生卻不然，此點亦與研究假設 (一) 相符。

3. 不同能力組別在與數理能力相關之皮質區的差異

全體數理能力優異組與普通組之比較結果，數理能力優異組在下列文獻指出與數理能力相關的區域灰質容積高於普通組：顳葉的雙側梭狀回 (雙側 BA 37)、後頂葉 (BA 43) (Hanakawa et al., 2003)、前顳回 (BA 41) (Zhou et al., 2007)、頂葉前楔葉 (BA 7) (Danker & Anderson, 2007; Grabner et al., 2007)、前額葉 (Danker & Anderson, 2007)、中央前回 (BA 44) (Zhou et al., 2007)。不過，有部分皮質區是文獻中指出與數理相關的皮質區，如：輔動作區 (BA 6) (Zhou et al., 2007)。結果卻顯示普通組灰質容積較高。這是與研究假設相反之處。推測 BA 6 尚司其他功能，如：動作執行 (BI BA 6)、動作－認知連結 (Hanakawa et al., 2003)、知覺－視覺－動作 (右 BA 6) 等 (引自 Lloyd, 2007)。雙側下頂小葉 (inferior parietal lobule) (BA 40) 及右顳部頂骨連接部位 (temporal parietal junction) (右 BA 40) 也是與數理能力相關之處；但不同的發現是：普通組灰質容積十分顯著地高於數理能力優異組。

以男生組做比較，數理能力優異男生在與數理能力相關的皮質區容積大於普通男生，如：左顳上回 (BA 41)、右顳中回 (BA 37)、雙側顳下回 (BA 20, BA 21)、雙側梭狀回 (BA 37)、右梭狀回 (BA 20)、右側額上回 (BA 6)、雙側額中回 (BA 8)、左額中回 (BA 6, BA 10)、右額下回 (BA 44)、雙側枕中回 (BA 19)、後頂中回 (BA 43)、右扣帶 (BA 32) 等 (Hanakawa et al., 2003; Hanakawa et al., 2002)。不過，就前動作區 (BA 6, BA 8) 觀之，資優組與普通組各有容積較大的小塊，只是部位不同，推論前動作區的各小塊區所司功能不同。普通組男生灰質容積高於數理能力優異男生，而與數理能力相關的皮質區，是在下頂葉 (BA 40) (Schmithorst & Brown, 2004)、左側角回 (BA 39) (Grabner et al., 2007)、右楔葉 (BA 19) 及左扣帶 (BA 31)。

以女生組做比較，數理能力優異組女生灰質容積大於普通組女生的皮質區中，與文獻指出之數理能力相關的區域相同者為梭狀回 (BA 37)、頂葉前楔葉 (BA 7) (Danker & Anderson,

2007; Grabner et al., 2007)、前動作區 (BA 6, BA 8)、中央前回 (右 BA 7)、前後顳回 (BA 20, BA 21)、扣帶等。普通組女生灰質容積大於數理能力優異女生的皮質區，與數學能力相關者如：下顳回 (BA 20)、枕中回 (BA 19)、下頂葉 (BA 40) 等。

(1) 性別與組別間交互作用的存在

有趣的是，資優組的男生在尾核體灰質容積高於普通組男生 ($p < .05$)；資優組女生在尾核體灰質容積卻顯著低於普通組的女生 ($p < .05$)；尾核體與刺激—反應的回饋及連結學習相關，在學習中也扮演重要的角色 (Seger & Cincotta, 2005)，此部分發現宜再結合功能性造影評量做更多的探討。

(2) 小結

整體言之，本研究假設 (二) 數理能力優異組在與數理能力相關的腦葉灰質容積高於普通組，大部分假設獲得支持；未獲支持的部分在下頂小葉 (BA 40)、左側角回 (BA 39)、枕中回 (BA 19)，普通組灰質容積在這三處反而高於數理能力優異組。另外，在本研究有差異但文獻未提及的皮質區為：右下葉腦島 (insula)、左邊緣葉的鉤部 (uncus)，這些部位可能與其他功能有關。

二、性別差異比較

(一) 研究結果

1. 數理能力優異男生灰質容積高於數理能力優異女生之皮質區

如圖 4 及表 9 所示，數理能力優異男生灰質容積高於數理能力優異女生之皮質區 (群聚值 > 50 , $p < .001 \sim p < .0001$) 包括：(1) 下葉 (Sub-lobar)：雙側豆狀核的被殼 (putamen)、右尾核體、左內側蒼白球；(2) 邊緣葉：右旁海馬回 (右杏仁核) (amygdale)；(3) 雙側小腦；(4) 顳葉：左梭狀回 (BA 37)、左顳上回 (左 BA 41, 右 BA 38)、雙側顳下回 (BA 20, BA 21)；(5) 枕葉：左枕中回 (BA 19)、左舌回 (lingual gyrus) (BA 18)。

2. 數理能力優異女生灰質容積高於數理能力優異男生之皮質區

如圖 4 及表 10 所示，數理能力優異女生灰質容積低於數理能力優異男生之皮質區 (群聚值 > 50 , $p < .001 \sim p < .0001$) 包括：(1) 額葉：右眶回 (右 BA 11)，上額回 (右 BA 10, 右 BA 11, 左 BA 6)、中額回 (右 BA 6, 右 BA 10, 左 BA 9)、雙側下額回 (雙側 BA 11)、左額下回 (左 BA 11)；(2) 頂葉：下頂小葉 (inferior parietal lobule) (BA 40)、雙側頂後中回 (雙側 BA 5)；(3) 顳葉：左上顳回 (左 BA 21)、左中顳回 (左 BA 21)；(4) 雙側下視丘；(5) 邊緣葉：扣帶回 (左 BA 23)。

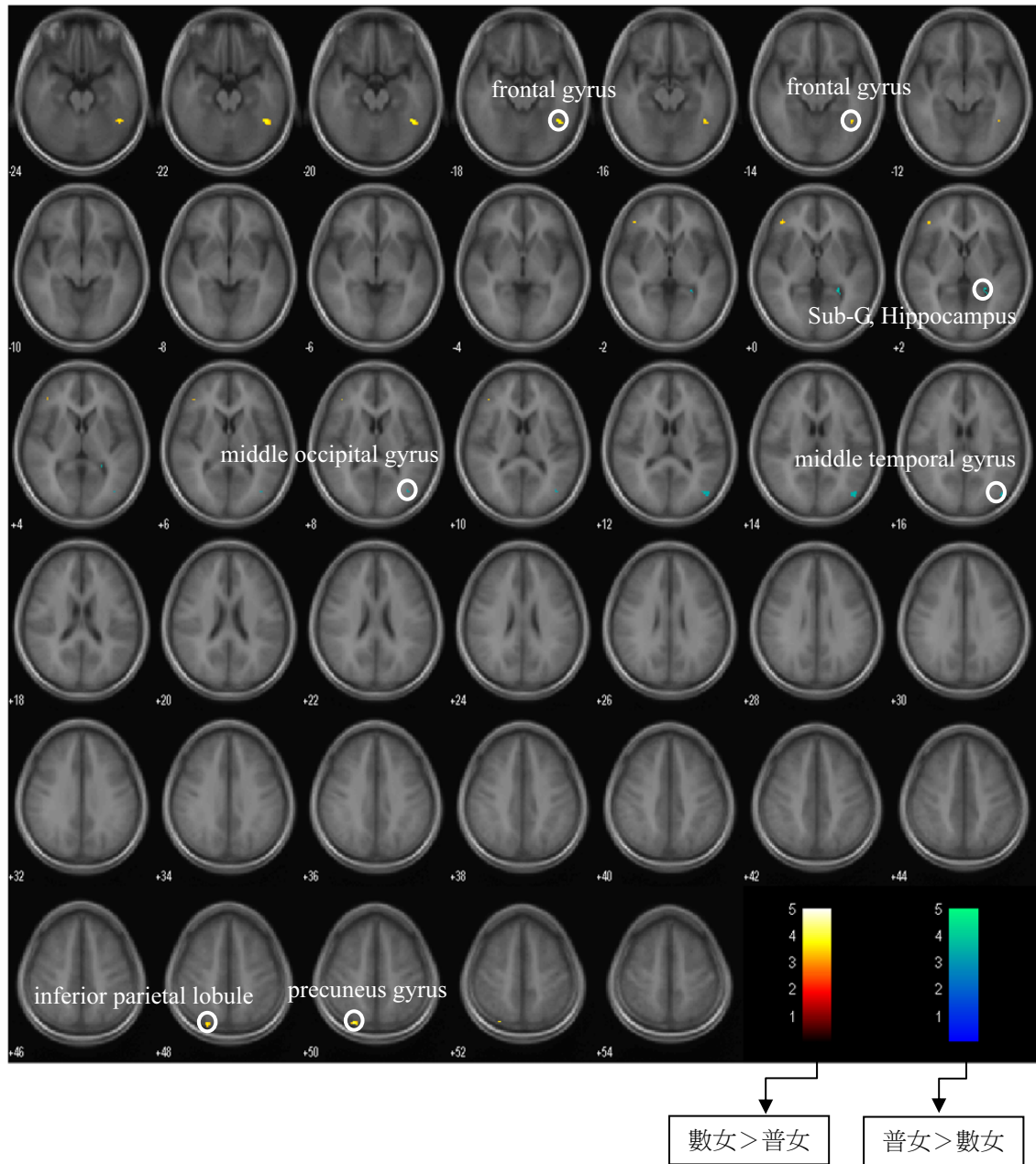


圖3. 數理能力優異組女生與普通組女生灰質容積差異之處

3. 普通組男生灰質容積高於普通組女生之皮質區

如圖 5 及表 11 所示，普通組男生灰質容積高於普通組女生之皮質區（群聚值 > 50 ， $p < .001 \sim p < .0001$ ）包括：(1)顯葉：雙側梭狀回（雙側 BA 37）、左中顳回（左 BA 21）；(2)額葉：左胼胝體下區（左 BA 34）；(3)邊緣葉：旁海馬回（右 BA 19，left amygdala）、後扣帶

表 7

數學能力優異女生灰質容積大於普通女生的皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Frontal</u>				<u>Frontal</u>			
25	42, 33, -3	MFG, BA 47	4.11****	15	-4, -14, 71	MFG, BA 6	3.81***
31	28, 40, 16	MFG, BA 10	3.07**	113	-42, 39, -2	Sub-G, BA 10	3.68***
<u>Temporal</u>				<u>Temporal</u>			
377	61, -34, -17	ITG, BA 20	3.18**	73	-42, -53, -21	FG, BA 37	2.92*
	59, -49, -18	FG, BA 37	3.50****	73	-46, -55, -11	FG, BA 37	2.85*
	44, -51, -14	FG, BA 37	3.88****	<u>Parietal</u>			
<u>Parietal</u>				24	-8, -77, 48	BA 7	3.25**
37	18, -49, 71	PCG, BA 7	3.95****	30	-16, -59, 67	SPL, BA 7	3.60***
<u>Occipital</u>				41	-14, -61, 53	SPL, BA 7	3.73***
11	26, -90, 23	Cuneus, BA 19	3.09**	47	-42, -64, 47	IPL, BA 7	3.52***
<u>Insula</u>					-6, -43, 70	PCG, BA 5	2.90*
40	42, -28, 22	BA 13	3.08**		-14, -43, 63	SPL, BA 7	3.14**
				<u>Cerebellum</u>			
				34	-36, -43, -37	Cerebellum	3.25**
				<u>Thalamus</u>			
				45	-20, -27, 7	Pulvinar	3.32**
				<u>Precuneus</u>			
				55	-28, -73, 50	BA 7	4.28****
				24	-8, -77, 48	BA 7	3.25**

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

回(右 BA 30); (4)下葉: 右側被殼、雙側帶狀核; (5)左小腦; (6)枕葉: 右楔葉(右 BA 18)、左梭狀回(左 BA 19)。

4. 普通組女生灰質容積高於普通組男生之皮質區

如圖 5 及表 12 所示, 普通組男生灰質容積低於普通組女生之皮質區(群聚值 > 50 , $p < .001 \sim p < .0001$) 包括: (1)額葉: 上額回(左 BA 8, 雙側 BA 9, 右 BA 11)、中額回(右 BA 6, 右 BA 8, 雙側 BA 10, 雙側 BA 11, 右 BA 32)、額下回(右 BA 11)及眶回(右 BA 11); (2)頂葉: 雙側楔前葉(雙側 BA 7)、後中回(右 BA 5)、頂下小葉(左 BA 40)、上頂葉(左 BA 7); (3)中腦: 右側乳頭體(right mammillary); (4)下葉: 雙側尾核頭(bilateral caudate head)、雙側

表 8

普通女生灰質容積大於數學能力優異女生的皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
RH				LH			
<u>Temporal</u>				<u>Frontal</u>			
15	22, 12, -33	STG, BA 38	3.10**	17	-14, 50, 38	SFG, BA 8	3.16**
108	32, -33, 0	Caudate Tail	2.89*	34	-2, 48, 31	SFG, BA 9	3.55***
	26, -43, 2	Sub-G, Hippocampus	3.74***	<u>Parietal</u>			
174	38, -17, -31	ITB, BA 20	3.21**	86	-53, -27, 47	PCG, BA 2	3.75***
276	53, -61, 21	STG, BA 39	3.07**	<u>Occipital</u>			
<u>Parietal</u>				64	-36, -87, 14	MOG, BA 18	3.31**
46	55, -43, 28	IPL, BA 40	2.86*	<u>Lingual Gyrus</u>			
<u>Limbic</u>				19	-14, -82, 1	BA 17	3.08**
108	32, -50, 6	Parahi, BA 30	2.87*	132	-2, -62, -5	BA 19	3.24**
174	38, -9, -33	Uncus, BA 20	2.87*	74	-14, -1, 18	Caudate Body	2.91*
	28, 2, -42	Uncus, BA 38	3.17**		-14, -11, 21	Caudate Body	2.80*
<u>Occipital</u>					-8, 4, 5	Caudate Head	2.58*
276	38, -71, 9	MOG, BA 19	3.35**	36	-26, -48, 2	Parahi G, BA 30	3.19**
	46, -75, 17	MTG, BA 19	3.58***				

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

尾核 (bilateral caudate body); (5)左小腦 (left cerebellum); (6)枕葉: 左舌回 (左 BA 18)。

(二) 討論

茲將本研究結果與文獻相較整理羅列於表 13。

1. 男生灰質容積高於女生之皮質區

(1) 同於文獻發現

如表 13，數學能力優異男生灰質容積高於數學能力優異女生之皮質區，與過去文獻指出一般性別大腦結構差異相較，相同處包括：雙側小腦 (Chen et al., 2007; Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008)、舌回、雙側豆狀核的被殼 (putamen) (Kaufmann et al., 2001)、右旁海馬回 (右杏仁核) (Cheng et al., 2009; Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008)、左顳上回 (Good et al., 2001)、左顳下回 (BA 20, BA 21) (Chen et al., 2007)、扣帶回 (Kaufmann et al., 2001)。

而普通組男生灰質容積高於普通組女生之皮質區，與文獻相較，相同處包括：包括：小腦 (Chen et al., 2007; Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008)、中顳回 (Good et al., 2001)、旁

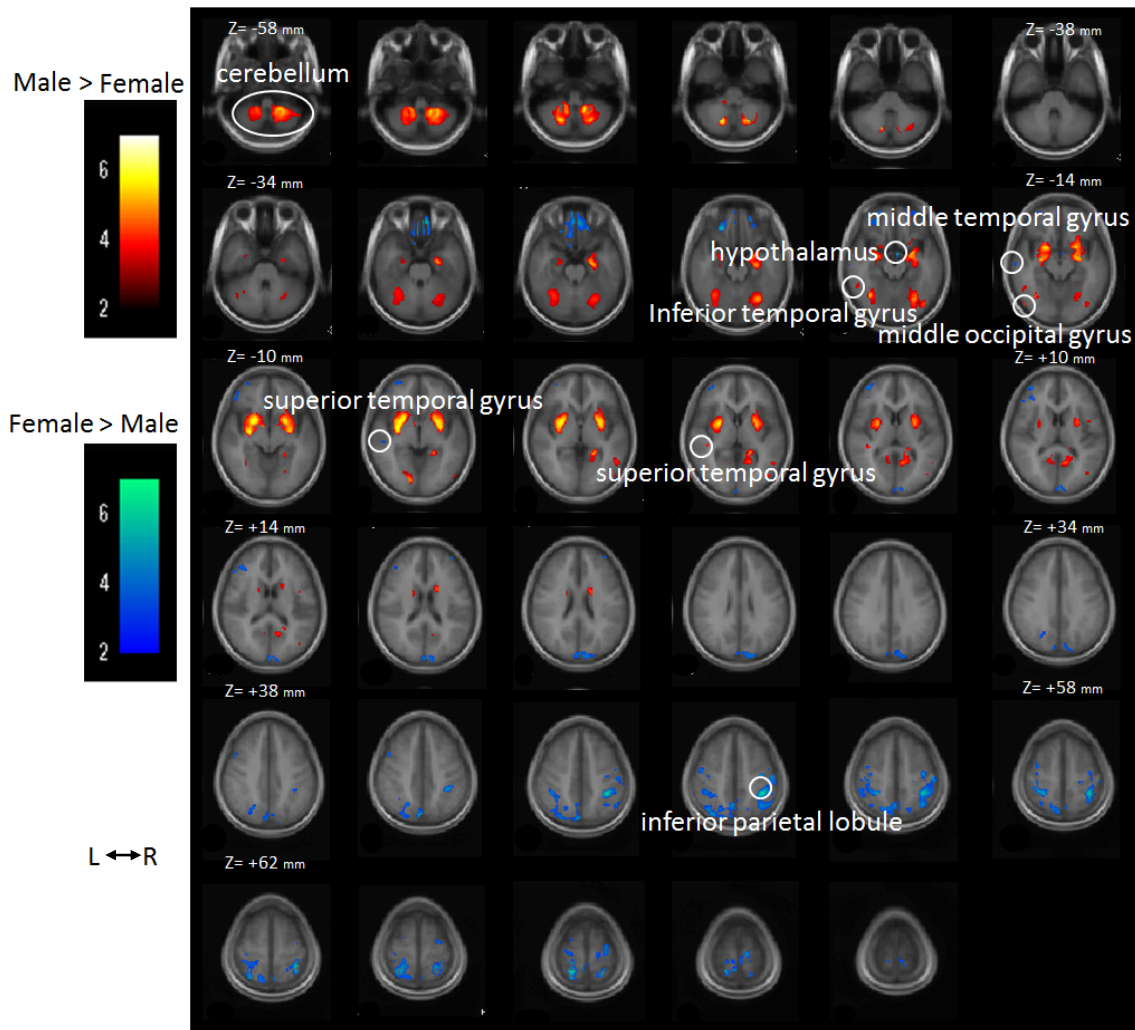


圖4. 數理能力優異組男女生灰質容積不同之皮質區

海馬回（右 BA 19，左杏仁體）（Cheng et al., 2009; Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008），後扣帶回（右 BA 30）（Chen et al., 2007; Kaufmann et al., 2001; Yamasue et al., 2008）、右側被殼（Kaufmann et al., 2001）。

兩組男生同樣都在與數學計算相關的梭狀回（Hanakawa et al., 2003）、小腦、被殼、旁海馬回的杏仁體灰質容積大於女生，這或許是性別差異在大腦結構的共同或先天差異，因為無論資優與否，兩組男生都在這些皮質區灰質容積大於女生，同時，就單一組別看，男、女在智力及成就差異不顯著，代表先天智能及後天學習無顯著差異，那麼大腦結構的差異可以推論是先天構造的差異。本部分結果符合研究假設（三）。

表 9

數理能力優異男生灰質容積高於數理能力優異女生之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
<u>Temporal Lobe</u>				2566	-30, -8, -6	L LN, MGP	4.83****
2646	-36, -61, -12	L FG, BA 37	5.56****	178	16, 7, 18	R Caudate Body	4.51****
2646	-32, -59, -19	L FG, BA 37	4.11****	<u>Occipital Lobe</u>			
58	-40, -33, 5	L STG, BA 41	4.36****	2646	-14, -80, -1	L Lingual, BA 18	4.76****
184	-53, -49, -13	L ITG, BA 20	3.85***	42	-51, -72, -8	L MOG, BA 19	4.08****
<u>Limbic Lobe</u>				<u>Cerebellum</u>			
3038	26, -8, -11	R PHG, amygdale	5.74****	7085	22, -70, -35	R Cerebellum	5.68****
<u>Sub-lobar</u>				7085	14, -51, -41	R Cerebellum	5.60****
2566	-30, -8, -6	L LN, Putamen	5.99****	7085	22, -51, -45	R Cerebellum	5.48****
2566	-30, -8, -6	L LN, Putamen	5.92****	1613	-18, -70, -35	L Cerebellum	5.68****
107	-18, 3, 16	L LN, Putamen	3.92***	1613	-14, -49, -43	L Cerebellum	5.02****
3038	22, 5, -9	R LN, Putamen	5.74****	1613	-12, -56, -41	L Cerebellum	4.86****
3038	30, -4, -5	R LN, Putamen	5.74****				

*** $p < .001$. **** $p < .0001$.

表 10

數理能力優異女生灰質容積高於數理能力優異男生之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
<u>Frontal</u>				50	24, -2, 41	R MFG, BA 6	3.46**
1845	-24, 36, -22	L IFG, BA 11	6.22****	<u>Temporal</u>			
614	22, 36, -22	R IFG, BA 11	4.51****	72	-65, -16, -13	L MTG, BA 21	3.75***
614	8, 43, -26	R OG, BA 11	5.47****	66	-51, -25, -4	L STG, BA 21	3.50***
1845	-2, 45, -26	L RG, BA 11	5.00****	<u>Parietal</u>			
1845	-4, 30, -27	L RG, BA 11	4.85****	10642	38, -38, 46	R IPL, BA 40	6.25****
614	20, 48, -21	R SFG, BA 11	4.60****	10642	-22, -43, 67	L PocG, BA 5	5.93****
92	-50, 12, 36	L MFG, BA 9	4.19****	10642	36, -42, 59	R PocG, BA 5	5.88****
81	38, 53, 14	R SFG, BA 10	4.04****	<u>Limbic</u>			
110	36, 60, -5	R SFG, BA 10	3.41**	52	-2, -16, 27	L cingulate, BA 23	3.22**
110	26, 62, -6	R MFG, BA 10	3.23**	<u>Hypothalamus</u>			
110	42, 54, -8	R MFG, BA 10	3.21**	82	4, -3, -15	R Hypothalamus	4.98****
54	-22, 1, 63	L SFG, BA 6	3.72****	82	-4, -3, -17	L Hypothalamus	4.12****

** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

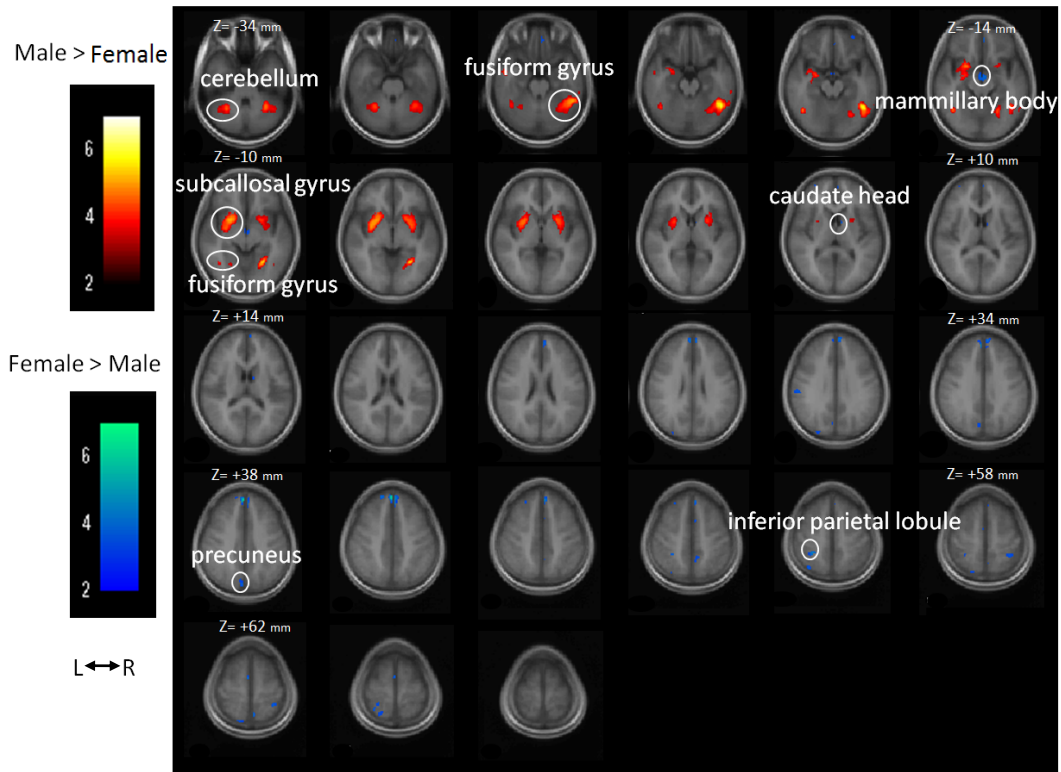


圖5. 普通組男女生灰質容積不同的皮質區

表 11

普通組男生灰質容積大於普通組女生之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
				197	6, -56, 14	R PC, BA 30	3.28**
<u>Frontal</u>							
1876	-24, 7, -9	L SCG, BA 34	5.14****				
<u>Temporal</u>				1876	-32, 0, -5	L Claustrum	4.94****
3036	48, -53, -14	R FG, BA 37	6.04****	1394	28, 17, -1	R Claustrum	3.76***
3036	51, -46, -20	R FG, BA 37	5.03****	1394	28, 0, -5	R LN, Putamen	4.53****
1199	-44, -57, -11	L FG, BA 37	4.87****	1394	24, 8, -4	R LN, Putamen	4.50****
149	-51, -5, -22	L MTG, BA 21	4.60****				
149	-55, 0, -32	L MTG, BA 21	3.45**	93	-24, -59, -5	L FG, BA 19	3.59****
<u>Limbic</u>				197	14, -69, 18	R Cuneus, BA 18	3.43**
3036	26, -55, -4	R PHG, BA 19	5.58****				
1876	-26, -5, -15	L PHG, Amygdala	4.26****	1199	-28, -56, -24	L Cerebellum	4.63****

** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

表 12

普通組女生灰質容積大於普通組男生之皮質區

Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value	Cluster size	Coordinates	Anatomical Location	t-value
<u>Frontal</u>				94	-59, -22, 29	L IPL, BA 40	3.79***
454	-2, 48, 33	L SFG, BA 9	6.35****	601	4, -57, 60	R Precuneus, BA 7	4.27****
562	4, 56, 23	R SFG, BA 9	4.30****	601	4, -48, 47	R Precuneus, BA 7	3.65***
562	4, 39, 40	R MFG, BA 8	4.74****	1476	-4, -76, 39	L Precuneus, BA 7	3.99***
454	-16, 48, 36	L SFG, BA 8	4.26****	1476	-20, -65, 59	L SPL, BA 7	3.87***
562	4, 46, 36	R MFG, BA 6	4.73****	601	34, -42, 57	R Postcentral gyrus, BA 5	4.01****
114	4, -1, 59	R MFG, BA 6	3.65***	<u>Sub-lobar</u>			
454	-4, 54, 21	L MFG, BA 10	4.10****	359	8, 4, 3	R Caudate Head	3.94***
66	-30, 58, 3	L MFG, BA 10	3.60***	87	-8, 4, 5	L Caudate Head	3.82***
68	4, 57, 5	R MFG, BA 10	3.72***	359	12, -5, 19	R Caudate Body	3.70***
68	6, 63, 10	R BA 10	3.65***	87	-12, -3, 19	L Caudate Body	3.54***
252	4, 48, -14	R MFG, BA 11	3.89***	87	-14, -11, 21	L Caudate Body	3.30**
127	-4, 42, -17	L MFG, BA 11	3.00**	<u>Occipital</u>			
252	4, 41, -26	R Rectal gyrus, BA 11	3.71***	118	-6, -72, -8	L Lingual Gyrus, BA 18	3.36**
60	30, 54, -16	R SFG, BA 11	3.62***	<u>Cerebellum</u>			
252	14, 41, -26	R Orbital gyrus, BA 11	3.48**	118	0, -62, -4	L Cerebellum	3.45**
117	4, 10, 44	R MFG, BA 32	3.72***	118	-2, -73, -15	L Cerebellum	3.38**
<u>Parietal</u>				<u>Midbrain</u>			
1476	-30, -40, 52	L IPL, BA 40	4.80****	359	4, -8, -11	R Mammillary Body	4.15****

** $p < .01$. *** $p < .001$. **** $p < .0001$.

小腦司許多功能，含認知、情意、技能等。除負責動作平衡功能外，Salman (2002) 即指出小腦與動作及其他認知活動的時間感有密切關聯；Schutter 與 Honk (2005) 指出小腦影響情緒控制；Willson、Bower 與 Sherrard (2007) 也指出小腦與空間能力密切相關。不只男生較女生在小腦灰質容積大於女生，數理能力優異女生小腦也普通女生較為發達。小腦的功能在此無法一一詳述，請參見表 14 之說明。

表 13

本研究結果與性別差異文獻之比較一覽

	男 > 女		女 > 男	
	普通組	數優組	普通組	數優組
小腦	Bi. Cerebellum (Chen, 2007)	Bi. Cerebellum (The authors)	Cerebellum (Kaufmann et al., 2001)	
	L. Cerebellum (The authors)	Cerebellum (The authors)	L. Cerebellum (The authors)	
額葉	Frontal (Zilles, Kawashima, Dabringhaus, Fukuda, & Schormann, 2001)		Frontal (Cheng et al., 2009; Dean Rabinowicz, Petetot, de Courten-Myers, 1996a; Lüders et al., 2005; Narr et al., 2006)	Bi. IFG, R. Orbital G.
	L. IFG (Blanton et al., 2004)		Lüder (Cheng et al., 2009; Im et al., 2006; Lüders et al., 2005)	Bi. SFG, Bi. MFG
	MFG (Kaufmann et al., 2001)		IFG (Kaufmann et al., 2001)	L. Rectal G. (The authors)
			L. SFG (Im et al., 2006)	
			MFG (Kaufmann et al., 2001)	
	L. subcallosal G. (The authors)		Bi. SFG, Bi. MFG, R. Orbital G.	
			R. Rectal G. (The authors)	
頂葉	Parietal (Zilles et al., 2001)		Parietal (Dean, Rabinowicz, Petetot, de Courten-Myers, 1996b)	R. IPL
	Cingulated G. (Kaufmann et al., 2001)		cingulate (Chen et al., 2007)	Bi. Postc. G. (The authors)
	L. Precuneus (Verchinski et al., 2000)		IPL (Kaufmann et al., 2001; Chen et al., 2007; Cheng et al., 2009; Verchinski et al., 2000)	
			Bi. SPG (Im et al., 2006)	
			L. Precuneus (Verchinski et al., 2000)	
			L. Postcentral G. (Im et al., 2006)	
			L. IPL, Bi. Precuneus, L. SPL, R. Postc. G. (The authors)	

(續)

表 13

本研究結果與性別差異文獻之比較一覽（續）

	男 > 女		女 > 男	
	普通組	數優組	普通組	數優組
顳葉、枕葉、中腦	Temporal (Dean et al., 1996a, 1996b; Narr et al., 2007)	Temp. L. ITG, L. STG L. FG (The authors)	Bi. Temporal (Kaufmann et al., 2001; Narr et al., 2007)	L. STG, L. MTG (The authors)
	L. ITG (Chen et al., 2007)		L. Temporal Pole (Im et al., 2006)	
	R. MTG (Chen et al., 2007)	Occi. Lingual MOG (The authors)	Bi. STG (Im et al., 2006) L. STG (Lüders et al., 2005) L. MTG (Verchinski et al., 2000)	
	L. FG, R. Cuneus (The authors)		L. Lingual, R. Mammillary (The authors)	
基底核	Insula (Dean et al., 1996a)	Bi. Putamen	Bi. Putamen (Kaufmann et al., 2001)	Bi. Hypothalamus
	Mid Brain (Chen et al., 2007)	R. Caudate L. Globus		(The authors)
	R. Putamen (Kaufmann et al., 2001)	Pallidous (The authors)		
	Bi. Claustrum, R. Putamen (The authors)		Bi. Caudat Head, Bi. Caudate Body (The authors)	
邊緣葉	Bi. Parahippocampal G. L. Amygdale (Cheng et al., 2009)	R. Amygdale (The authors)		L. Cingulate (The authors)
	R. Lentiform Nucleus (Cheng et al., 2009)			
	R. Hypothalamus			
	R. Posterior Cingulate			
	L. Amygdala (The authors)			

被殼位於腦下葉，數理能力優異男生在此區灰質容積極顯著高於數理能力優異女生。

杏仁體均屬於邊緣系統。邊緣系統包含海馬體及杏仁體在內，支援多種功能例如情緒、行為及長期記憶。數理能力優異組男生及普通組男生在杏仁體的灰質容積均高，杏仁體司負面的情緒，推測男生在負面情緒記憶的特質不同於女生。

表 14
小腦功能說明

功能	相關研究摘要
情緒	<ul style="list-style-type: none"> ● 情緒調節（小腦的活動與焦慮、恐懼及悲傷情緒等負向情緒有關；若小腦功能或結構失常，可能會導致情緒性的疾病；如憂鬱、精神分裂症等）（Schutter & Honk, 2005） ● 行為的情緒調節、精神方面的疾病（如：沮喪、精神病）、情緒困擾（如：喜、怒、惡）（Paquier & Mariën, 2005） ● 與恐懼有關（Leaton, 2003）
認知	<ul style="list-style-type: none"> ● 語言、說話、記憶（程序性的學習、同類聯想的學習、長期記憶、工作記憶）、視覺空間技能（視覺空間、空間認知）、視覺動作的想像、執行功能（計畫、轉換心向、抽象推理）、注意力（優化感官的訊息品質，以協調選擇注意力的動向；如：注意力的導向、分配及轉換）、思考的調節、動作及感知任務短暫訊息精確表現的利用（即運動輸出及感知歷程的時間調整或感官動作的學習）（Paquier & Mariën, 2005） ● 小腦若損壞，可能造成：語言障礙（包括：語法缺失、類失語症、語意檢索缺損、句法理解困難、語音口語流暢工作的下降）、運動語言障礙（構音困難、緘默症、語言失用症）（Paquier & Mariën, 2005） ● 語言；與說話的感知、文字工作記憶及詞彙檢索有關（小腦受損的病患具語法型態學使用的損害，亦即無法區辨具語法或非語法的句子）（Justus, 2004） ● 小腦受損會讓各種不同的認知知覺歷程變慢（Salman, 2002） ● 空間學習（與右小腦半球有關）（Willson et al., 2007） ● 手眼協調的內在模式不只包括動作控制，同時也包括認知；它們可形成預測及控制功能的認知處理歷程（從事認知任務時，後小腦會活化）（Iacoboni, 2001） ● 貯藏動作記憶（Ito, 2000；引自Ioffe, Chernikova, & Ustinova, 2007）、動作的學習（包括對錯誤訊號的回饋學習）（Ioffe et al., 2007） ● 可預期多種感官事件的學習，包括行動的感官結果的預測，且其輸出可排除自發運動的觸覺的知覺（可從視覺目標及四肢本體感受器的感官輸入來成功地預測，其輸出可用以引導四肢控制的前饋以降低錯誤的路徑）（Nixon, 2003）
動作	<ul style="list-style-type: none"> ● 幫助協調動作（如：手眼協調）（Iacoboni, 2001; Miall, Reckess, & Imamizu, 2001） ● 動作控制的重要角色（包括：預期、動作掌握的時間、感覺動作同步、感覺動作的連結及肌肉活動量的大小的協調）（Manto & Bastian, 2007） ● 動作的學習（Blazquez, Hirata, & Highstein, 2004） ● Multijoint運動的控制（Schweighofer, Spolstra, Arbib, & Kawato, 1998） ● 在視覺引導手臂運動及前庭眼睛運動之脈絡相依的順應歷程中，扮演極關鍵的角色（Lewis, 2003） ● 隨意的眼睛運動（voluntary eye movement）（Robinson & Fuchs, 2001）

（續）

表 14

小腦功能說明（續）

功能	相關研究摘要
	<ul style="list-style-type: none"> ● 與手指的運動有關（小腦受傷的病人在掐東西時，無法以拇指和食指來掐，僅能用食指）（Glickstein, Waller, Baizer, Brown, & Timmann, 2005） ● 姿勢（主要為：反重力與平衡（balance）的功能、定向與方向的想像）與平衡（equilibrium）的控制（小腦對新的姿勢任務的學習，為本能綜效作用的重組～reorganization of natural synergies）（Ioffe et al., 2007） ● 動作控制，小腦在執行動作前，會在感覺輸入時利用前饋系統（feed-forward system），來促進動作的精確性；缺乏小腦，會造成笨拙、運動失調、張力過低、構音困難、損害精細動作及視覺動作的協調（Salman, 2002） ● 協調精熟的隨意運動；控制運動張力、姿態與步態（Paquier & Mariën, 2005） ● 自主行為（autonomic behaviour）（如：痛、渴、餓）（Paquier & Mariën, 2005）

(2) 不同於文獻發現

數優組之性別差異與文獻不同之處，在數理能力優異男生灰質容積高於數理能力優異女生之皮質區尚包括：梭狀回（BA 37）、右尾核體、左枕中回等。

普通組之性別差異與文獻不同之處與文獻不同處在：普通組男生灰質容積高於普通組女生之皮質區尚包括：額葉的左胼胝體下區（左 BA 34）、雙側帶狀核（claustrum）、梭狀回（BA 37，左 BA 19）、右楔葉（右 BA 18）。

(3) 小結

梭狀回與數學計算相關密切（Hanakawa et al., 2003），兩組男生同樣都在與數學計算相關的皮質區高於女生，這指出性別的計算能力有所不同。

被殼和尾核合稱「紋狀體」（striatum），控制我們的自動化動作（Carter, 1998）。數理能力優異男生在右尾核體、左枕中回等均高於數理能力優異女生。尾核體及被殼是基底核系統的主要輸入通道。基底核包含兩大迴路，分別成為直接通路（direct pathway）和間接通路（indirect pathway），尾核（caudate nucleus）和額葉相連（額葉+尾狀核又稱為「大額葉」（Goldberg, 2001），負責自動化思考，推論數理能力優異男生之自動化控制能力不同於數理能力優異女生。

胼胝體負責兩半球的訊息連結，帶狀核亦為基底核一環，普通組男生在胼胝體、帶狀核灰質容積高於普通組女生。推測普通組男生之神經連結較普通組女生快速。Sax（2005）曾指出男性較女性在驅動區灰質密度較高，本研究有一致的發現。

另外，本研究發現數理能力優異學生在左半球很多處灰質密度高於普通生，但在右半球則較少，這是否凸顯兩半球的不均衡發展？

2. 女生灰質容積高於男生之皮質區

(1) 同於文獻發現

整體觀之，女性灰質容積大於男生的皮質區為下頂葉（Chen et al., 2007; Good et al., 2001; Kaufmann et al., 2001; Verchinski et al., 2000）、中央後回、額下回（Chen et al., 2007; Good et al., 2001; Kaufmann et al., 2001; Yamasue et al., 2008）、海馬旁回（Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008）、顳回（Good et al., 2001; Schlaepfer et al., 1995; Verchinski et al., 2000; Yamasue et al., 2008）及扣帶（Chen et al., 2007; Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008）。

如表 13 所示，數學能力優異女生灰質容積高於數學能力優異男生之皮質區與以一般性別差異的比較文獻對照，相同之處包括：額眶（Good et al., 2001）、上額回（Im et al., 2006）、中額回、雙側下額回（Good et al., 2001）、下頂葉（Good et al., 2001）、顳回（Good et al., 2001; Kaufmann et al., 2001; Yamasue et al., 2008）、後頂中回（Im et al., 2006）、雙側下視丘（Yamasue et al., 2008）、扣帶回（Good et al., 2001; Yamasue et al., 2008）。

普通組女生灰質容積高於普通組男生之皮質區，與以一般性別差異的比較文獻對照，相同之處包括包括：上額回（Cheng et al., 2009）、中額回（Good et al., 2001）、下額回（Yamasue et al., 2008）、眶回（Good et al., 2001）、下頂葉（Cheng et al., 2009; Good et al., 2001）。

數學能力優異女生在雙側下視丘較諸男生有大的灰質容積。下視丘與許多維持生命的重要功能有關，對於神經系統與內分泌系統做密切的聯繫。它可能是飲、食、快感等的中樞，又是維持正常體溫所不可缺少的。

兩組女生同在額回與下頂葉較諸男生有大的灰質容積。額葉負責多項高層認知及情意能力如：自我意識、自我控制、掌控邊緣系統（limbic system）、掌管思考、評估和計畫等；下頂葉屬於鏡像神經元的一環，與同理心有密切的相關（Cheng et al., 2009; Cheng et al., 2008; Cheng, Tzeng, Decety, Imada, & Hsieh, 2006; Cheng, Yang, Lin, Lee, & Decety, 2008）。

(2) 不同於文獻發現

資優組女生在扣帶回灰質容積高於資優組男生。扣帶回是腦的邊緣系統的一部分，其功能牽涉情感、學習和記憶。扣帶回對於負向的行為後果有警戒的功能，猶如馬路上的紅燈指示器對於學習及情緒、行為控制扮演重要角色（Joshua & Todd, 2005），它是前額葉與中額葉的連結區，執行自由意志、意識到情緒的發生、產生意識痛覺、調節壓力、藉由控制杏仁核控制表達不愉快的感覺。推論數學能力優異女生在此部分特質優於數學能力優異男生。

普通組女生灰質容積高於普通組男生之皮質區，與以一般性別差異的比較文獻對照，不同之處包括：前楔葉（雙側 BA 7）、上頂葉（左 BA 7）、右側乳頭體、雙側尾核頭、雙側尾核、左小腦及左側舌回（左 BA 19）。小腦及尾核體功能不再重述。前楔葉（雙側 BA 7）及上頂葉（左 BA 7）與智力、數學能力均有高度相關；乳頭體對於記憶的形成甚為重要。

(3) 小結

綜合上述結果與討論，研究假設（四）及研究假設（五）獲得支持。大腦結構有性別差異之皮質區與多數文獻符合；然而，本研究發現不同能力組別間有不同的結構差異之處。此種原因可能是因數理能力優異女生在先天、後天都不同於普通女生，因此造成性別差異的區域有殊異。

伍、結論與建議

總結本研究，研究者發現，高中數理能力優異班學生與普通班學生在大腦的結構比較中，顯示有多個皮質區灰質容積有差異，數優組在 IQ 及數理能力相關的皮質區灰質容積高於普通組；而普通組在動作及高級感覺皮質區灰質容積高於數理能力優異組。性別在多個皮質區也顯示灰質容積有極顯著的差異，男生組在計算能力相關、訊息連結、負面情緒記憶等皮質區灰質容積顯著高於女生組；而女生組在認知、學習、記憶、同理心相關等皮質區灰質容積顯著高於男生組。不過，不同能力組（數優組與普通組）在大腦結構的差異，無論是組別或性別差異均有殊異。

本研究發現與文獻有許多相同之處，但是無論在能力或性別差異比較中，我們所發現殊異的區域也有與文獻不同者。過去多數文獻來源為西方國家、為普通樣本，或許種族與能力的差異，使得我們有與文獻不同的發現。本研究以數理能力優異學生為樣本，國外相關的文獻較少，未來針對特殊群體與普通群體不同的發現，研究者將結合功能性造影的評量求取更多、更深入的答案。

綜合四組不同能力高中學生與性別的差異比較，雖然數理能力優異學生本身或普通學生本身互相比較或可解釋先天在大腦結構的差異（單一性別組的 IQ 與成就差異均未達顯著水準）；而數理能力優異學生與普通生相互比較的結果或可解釋為先天或後天交互影響所造成（這樣的結果可能是先天的父母遺傳、也可能是由後天的學習、教材教法或環境等因素所造成）。但無論如何，研究者推估先天能力與後天學習都與本研究中四組學生在大腦結構的差異是有關的。

另外，本研究中的高中男性數理能力優異學生灰質容積大於高中普通生或高中女性數理能力優秀學生的皮質區大多位於左半球，右半球灰質容積大於其他組學生的皮質區較少；他們在高級感覺區及前動作區灰質容積也極端顯著低於高中普通生及女性學生，這些隱含發展的不均衡現象。以下為資優教育工作者可以思考的問題及努力的方向：

一、高中數理資優生左腦發展較超前、右腦則發展未如左腦？右腦與直覺、水平、統整、感性等能力有密切相關，資優教育如何加強右腦相關能力的發展？

二、高中數理資優生高級感覺統整能力較弱？同理心較普通生低？（左、右 BA 40 灰質

密度顯著低於普通生) 資優教育教師如何協助學生高級感覺能力的提升? 理性、感性, 如何並進?

三、在腦資源總量相同的前提下, 資優生的父母若希望孩子面面均優, 則認知、情意、技能三方面均需培育與重視, 如何協助資優生掘長、補短? 如何在各方面教學求取平衡?

四、在教學現場中不難發現身心障礙學生中不乏具有傑出才能表現者, 他們具有雙重特教的需求; 而另一方面, 資優生也常有身心發展不均衡的現象, 有時弱勢領域的輔導需求不亞於優勢的發展, 資優教育教師如何多發掘與輔導雙重需求的學生?

誌謝

本研究經由行政院國家科學委員會科學教育發展處(計畫編號: NSC95-2614-S-003-018-MY3)的經費支持, 始得以完成實驗以及論文撰寫工作; 另外, 臺北市立建國高級中學、臺北市立成功高級中學、臺北市立第一女子高級中學、臺北市立中山女子高級中學、臺北市立明倫高級中學 73 位學生全力配合參與評量工作, 特此致謝。

參考文獻

一、中文文獻

王文伶 (2006)。資優兒童的空間、語文、和數量推理能力之性別差異：一個試驗研究。人文與社會學報，1 (9)，221-236。

【Wang, W.-L. (2006). Gender differences in gifted children's spatial, verbal, and quantitative reasoning abilities: A preliminary study. *Journal of Humanities and Social Science*, 1(9), 221-236.】

簡茂發、何榮桂、郭靜姿 (2008)。高級中等學校能力測驗 (修訂)。臺北市：中國行為科學社。

【Chian, M.-F., Ho, R.-G., & Kuo, C.-C. (2008). *Senior High School Ability Test* (Revised from the Otis-Lennon School Ability Test, OLSAT 8). Taipei, Taiwan: Chinese Behavior Science Society.】

二、外文文獻

Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., & Ehrhardt, J. (1993). Intelligence and brain structure in normal individuals. *American Journal of Psychiatry*, 150(1), 130-134.

Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry—The methods. *NeuroImage*, 11, 805-821.

Baker, D. R., & Jones, D. P. (1993). Creating gender equality: Cross-national gender stratification and mathematical performance. *Sociology of Education*, 66(2), 91-103.

Benbow, C. P. (1988). Sex differences in mathematical reasoning ability in intellectually talented preadolescents: Their nature, effects, and possible causes. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(2), 169-183.

Benbow, C. P. (1992). Academic achievement in math and science between ages 13 and 23: Are there differences in the top one percent of ability? *Educational Psychology*, 84(1), 51-61.

Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1980). Sex differences in mathematical ability: Fact or artifact? *Science*, 210, 1262-1264.

Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1983). Sex differences in mathematical reasoning ability: More facts. *Science*, 222, 1029-1031.

Blanton, R. E., Levitt, J. G., Peterson, J. R., Fadale, D., Sporty, M. L., Lee, M., ...Toga, A. W. (2004). Gender differences in the left inferior frontal gyrus in normal children. *NeuroImage*, 22(2), 626-636.

Blazquez, P. M., Hirata, Y., & Highstein, S. M. (2004). The vestibulo-ocular reflex as a model system for motor learning: What is the role of the cerebellum? *Cerebellum*, 3(3), 188-192.

Brett, M., Johnsrude, I. S., & Owen, A. M. (2002). The problem of functional localization in the

- human brain. *Neuroscience*, 3, 243-249.
- Carter, R. (1998). *Mapping the mind*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Casey, M. B., & Brabeck, M. M. (1989). Exceptions to the male advantage on a spatial task: Family handedness and college major as a factor identifying women who excel. *Neuropsychologia*, 27(5), 689-696.
- Casey, M. B., & Brabeck, M. M. (1990). Women who excel on a spatial task: Proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition*, 12(1), 73-84.
- Catsambis, S. (1994). The path to math: Gender and racial-ethnic differences in mathematics participation from middle school to high school. *Sociology of Education*, 67(3), 199-215.
- Chen, X., Sachdev, P. S., Wen, W., & Anstey, K. J. (2007). Sex differences in regional gray matter in healthy individuals aged 44-48 years: A voxel-based morphometric study. *NeuroImage*, 36, 691-699.
- Cheng, Y., Chou, K.-H., Decety, J., Chen, I.-Y., Hung, D., Tzeng, O. T.-L., & Lin, C.-P. (2009). Sex differences in the neuroanatomy of the human mirror-neuron system: A voxel-based morphometric investigation. *Neuroscience*, 158, 713-720.
- Cheng, Y., Lee, P.-L., Yang, C.-Y., Lin, C.-P., Hung, D., & Decety, J. (2008). Gender differences in the mu rhythm of the human mirror-neuron system. *PLoS ONE*, 3(5), e2113.
- Cheng, Y., Tzeng, O. J. L., Decety, J., Imada, T., & Hsieh, J.-C. (2006). Gender differences in the human mirror system: A magnetoencephalography study. *NeuroReport*, 17(11), 1115-1119.
- Cheng, Y., Yang, C.-Y., Lin, C.-P., Lee, P.-L., & Decety, J. (2008). The perception of pain in others suppresses somatosensory oscillations. *NeuroImage*, 40, 1833-1840.
- Colom, R., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2006). Distributed brain sites for the g-factor of intelligence. *NeuroImage*, 31(3), 1359-1365.
- Danker, J. F., & Anderson, J. R. (2007). The roles of prefrontal and posterior parietal cortex in algebra problem solving: A case of using cognitive modeling to inform neuroimaging data. *NeuroImage*, 35, 1365-1377.
- De Fraix, C. M., Nilsson, L., & Herlitz, A. (2006). Sex differences in cognition are stable over a 10-year period in adulthood and old age. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(3-4), 574-587.
- Dean, D. E., Rabinowicz, T., Petetot, J. M. C., & de Courten-Myers, G. (1996a). Morphologic gender differences in the human brain: I. Left cerebral neocortex. *NeuroImage*, 3, S573.
- Dean, D. E., Rabinowicz, T., Petetot, J. M. C., & de Courten-Myers, G. (1996b). Morphologic gender differences in the human brain: II. Right cerebral neocortex. *NeuroImage*, 3, S574.

- Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, *14*(2), 218-224.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*(3), 487-506.
- Diamond, M. C., Scheibel, A. B., Murphy, G. M., Jr., & Harvey, T. (1985). On the brain of a scientist: Albert Einstein. *Experimental Neurology*, *88*(1), 198-204.
- Eccles, J., Wigfield, A., Harold, R. D., & Blumenfeld, P. (1993). Age and gender differences in children's self- and task perceptions during elementary school. *Child Development*, *64*(3), 830-847.
- Frangou, S., Chitins, X., & Williams, S. C. R. (2004). Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *NeuroImage*, *23*(3), 800-805.
- Geary, D. C. (1996). Sexual selection and sex differences in mathematical abilities. *Behavioral and Brain Science*, *19*(2), 229-284.
- Glickstein, M., Waller, Baizer, J., Brown, J. S., & Timmann, D. (2005). Cerebellum lesions and finger use. *Cerebellum*, *4*(3), 189-197.
- Goldberg, E. (2001). *The executive brain: Frontal lobe and the civilized mind*. New York, NY: Oxford.
- Good, C. D., Johnsrude, I., Ashburner, J., Henson, R. N. A., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. J. (2001). Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: A voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *NeuroImage*, *14*, 685-700.
- Grabner, R. H., Ansari, D., Reishofer, G., Stern, E., Ebner, F., & Neuper, C. (2007). Individual differences in mathematical competence predict parietal brain activation during mental calculation. *NeuroImage*, *38*, 346-356.
- Haier, R. J., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K., & Alkire, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *NeuroImage*, *23*(1), 425-433.
- Halpern, D. E. (1992). *Sex differences in cognitive abilities*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hanakawa, T., Honda, M., Okada, T., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2003). Neural correlates underlying mental calculation in abacus experts: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, *19*, 296-307.
- Hanakawa, T., Honda, M., Sawamoto, N., Okada, T., Yonekura, Y., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2002). The role of Rostral Brodmann Area 6 in mental operation tasks: An integrative

- neuroimaging approach. *Cerebral Cortex*, 12, 1157-1170.
- Hargreaves, M., Homer, M., & Swinnerton, B. (2008). A comparison of performance and attitudes in mathematics amongst the 'gifted'. Are boys better at mathematics or do they just think they are? *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 15(1), 19-38.
- Hyde, J. S., Fennema, E., Ryan, M., Frost, L. A., & Hopp, C. (1990). Gender comparisons of mathematics attitudes and affect. *Psychology of Women Quarterly*, 14(3), 299-324.
- Iacoboni, M. (2001). Playing tennis with the cerebellum. *Nature Neuroscience*, 4(6), 555-556.
- Im, K., Lee, J.-M., Lee, J., Shin, Y.-W., Kim, I. Y., Kwon, J. S., & Kim, S. I. (2006). Gender difference analysis of cortical thickness in healthy young adults with surface-based methods. *NeuroImage*, 31, 31-38.
- Ioffe, M. E., Chernikova, L. A., & Ustinova, K. I. (2007). Role of cerebellum in learning postural tasks. *Cerebellum*, 6(1), 87-94.
- Joshua, B., & Todd, B. (2005). Learned predictions of error likelihood in the anterior cingulate cortex. *Science*, 307(5712), 1118-1121.
- Justus, T. (2004). The cerebellum and English grammatical morphology: Evidence from production, comprehension, and grammaticality judgments. *Cognitive Neuroscience*, 16(7), 1115-1130.
- Kaufmann, C., Puetz, B., Wilke, M., & Auer, D. P. (2001). Gender differences in GM brain morphology: Voxel based morphometry in 92 healthy young women and men. *NeuroImage*, 13, S989.
- Kenney, P. A., & Silver, E. A. (1997). *Results from the sixth mathematics assessment of the National Assessment of Educational Progress*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Kimura, D. (1992). Sex differences in the brain. *Scientific American*, 267, 119-125.
- Leaton, R. (2003). Fear and the cerebellum. *Molecular Psychiatry*, 8, 461-462.
- Lewis, R. F. (2003). Context-dependent adaptation of visually-guided arm movements and vestibular eye movements: Role of the cerebellum. *Cerebellum*, 2(2), 123-130.
- Li, Y.-H., Liu, Y., Li, J., Qin, W., Li, K.-C., Yu, C.-S., & Jiang, T.-Z. (2009). Brain anatomical network and intelligence. *PloS Computational Biology*, 5(5), e1000395. doi:10.1371/journal.pcbi.1000395
- Lindquist, M. M. (1989). *Results from the fourth mathematics assessment of the National Assessment of Educational Progress*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Lloyd, D. (2007). "What do Brodmann Areas do?," Or: *Scanning the Neurocracy*. Hartford, CT: Program in Neuroscience.

- Lubinski, D., & Benbow, C. P. (1992). Gender differences in abilities and preferences among the gifted: Implication for the math-science pipeline. *Current Directions in Psychological Science*, 1(2), 61-66.
- Lubinski, D., Benbow, C. P., Shea, D. L., Eftekhari-Sanjani, H., & Halvorson, M. B. J. (2001). Men and women at promise for science excellence: Similarity not dissimilarity. *Psychological Science*, 12(4), 309-317.
- Lubinski, D., & Humphreys, L. G. (1990). A broadly based analysis of mathematical giftedness. *Intelligence*, 14, 327-355.
- Lüders, E., Narr, K. L., Thompson, P. M., Woods, R. P., Rex, D. E., Jancke, L., ...Toga, A. W. (2005). Mapping cortical gray matter in the young adult brain: Effects of gender. *NeuroImage*, 26(2), 493-501.
- Manto, M., & Bastian, A. J. (2007). Cerebellum and the deciphering of motor coding. *Cerebellum*, 6(1), 3-6.
- Marshall, S. P., & Smith, J. D. (1987). Sex differences in learning mathematics: A longitudinal study with item and error analyses. *Educational Psychology*, 79(4), 372-383.
- Miall, R. C., Reckess, G. Z., & Imamizu, H. (2001). The cerebellum coordinates eye and hand tracking movements. *Nature Neuroscience*, 4(6), 638-644.
- Narr, K. L., Woods, R. P., Thompson, P. M., Szeszko, P., Robinson, D., Dimtcheva, T., ...Bilder, R. M. (2007). Relationships between IQ and regional cortical gray matter thickness in healthy adults. *Cerebral Cortex*, 17(9), 2163-2171.
- Nixon, P. D. (2003). The role of cerebellum in preparing response to predictable sensory events. *Cerebellum*, 2(2), 114-122.
- O'Boyle, M. W. (2005). Some current findings on brain characteristics of the mathematically gifted adolescent. *International Education Journal*, 6(2), 247-251.
- O'Boyle, M. W., & Hellige, J. B. (1989). Cerebral hemisphere asymmetry and individual differences in cognition. *Learning and Individual Differences*, 1(1), 7-35.
- O'Boyle, M. W., & Hoff, E. J. (1987). Gender and handedness differences in mirror-tracing random forms. *Neuropsychologia*, 25(6), 977-982.
- O'Boyle, M. W., Hoff, E. J., & Gill, H. S. (1995). The influence of mirror reversals on male and female performance in spatial tasks: A componential look. *Personality and Individual Differences*, 18(6), 693-699.
- Paquier, P. F., & Mariën, P. (2005). A synthesis of the role of the cerebellum in cognition. *Aphasiology*, 19(1), 3-19.

- 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*(5), 1763-1774.
- Robinson, F. R., & Fuchs, A. F. (2001). The role of the cerebellum in voluntary eye movements. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 981-1004.
- Salman, M. S. (2002). The cerebellum: It's about time! But timing is not everything—New insights into the role of the cerebellum in timing motor and cognitive tasks. *Journal of Child Neurology*, *17*(1), 1-9.
- Sax, L. (2005). *Why gender matters: What parents and teachers need to know about the emerging science of sex differences*. New York, NY: Broadway Books.
- Schlaepfer, T. E., Harris, G. J., Tien, A. Y., Peng, L., Lee S., & Pearlson, G. D. (1995). Structural differences in the cerebral cortex of healthy female and male subjects: A magnetic resonance imaging study. *Psychiatry Research*, *61*(3), 129-135.
- Schmithorst, V. J., & Brown, R. D. (2004). Empirical validation of the triple-code model of numerical processing for complex math operations using functional MRI and group independent component analysis of the mental addition and subtraction of fractions. *NeuroImage*, *22*(3), 1414-1420.
- Shutter, D. J. G., & Honk, J. V. (2005). The cerebellum on the rise in human emotion. *Cerebellum*, *4*(4), 290-294.
- Schweighofer, N., Spoelstra, J., Arbib, M. A., & Kawato, M. (1998). Role of the cerebellum in reaching movements in humans. II. A neural model of the intermediate cerebellum. *European Journal of Neuroscience*, *10*(1), 95-105.
- Seger, A., & Cincotta, M. (2005). The roles of the Caudate Nucleus in human classification learning. *The Journal of Neuroscience*, *25*(11), 2941-2951.
- 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*(2), 371-377.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1998). *Left brain, right brain*. New York, NY: W. H. Freeman.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York, NY: Thieme.
- Thomas, H. (1993). A theory explaining sex difference in high mathematical ability has been around for some time. *Behavioral and Brain Sciences*, *16*(1), 187-215.
- Verchinski, B., Meyer-Lindenberg, A., Japee, S., Kohn, P., Egan, M., Bigelow, L., ... Weinberger, D. (2000). Gender differences in gray matter density: A study of structural MRI images using

- voxel-based morphometry. *NeuroImage*, *11*, S228.
- Walsh, M., Hickey, C., & Duffy, J. (1999). Influence of item content and stereotype situation on gender differences in mathematical problem solving. *Sex Roles*, *41*(3-4), 219-240.
- Wang, W.-L. (2006). Gender differences in gifted children's spatial, verbal, and quantitative reasoning abilities: A preliminary study. *Journal of Humanities and Social Science*, *1*, 221-236.
- Weiner, N. C., & Robinson, S. E. (1986). Cognitive abilities, personality and gender differences in math achievement of gifted adolescents. *Gifted Child Quarterly*, *30*(2), 83-87.
- 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*(1), 202-215.
- Willson, M. L., Bower, A. J., & Sherrard, R. M. (2007). Developmental neural plasticity and its cognitive benefits: Olivocerebellar reinnervation compensates for spatial function in the cerebellum. *European Journal of Neuroscience*, *25*(5), 1475-1483.
- Yamasue, H., Abe, O., Suga, M., Yamada, H., Rogers, M. A., Aoki, S., ...Kasai, K. (2008). Sex-linked neuroanatomical basis of human altruistic cooperativeness. *Cerebral Cortex*, *18*(10), 2331-2340.
- 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*(2), 871-880.
- Zilles, K., Kawashima, R., Dabringhaus, A., Fukuda, H., & Schormann, T. (2001). Hemispheric shape of European and Japanese brains: 3-D MRI analysis of intersubject variability, ethnical, and gender differences. *NeuroImage*, *13*, 262-271.

Journal of Research in Education Sciences

2012, 57(2), 25-64

Sex Differences in Brain Structure between Students Talented in Math and Science and Developed Peers

Ching-Chih Kuo

Department of Special Education,
National Taiwan Normal University

Ching-Po Lin

Institute of Neuroscience,
National Yang-Ming University

Hsin-Jen Chang

Special Education Section,
Taipei Municipal Zhong Shan Girls High
School

Kun-Hsien Chou

Institute of Neuroscience,
National Yang-Ming University

Christine
Chi-Fen Tseng

Center of General Education,
National Taichung University of
Science and Technology

Yu-Pei Chang

Department of Special
Education, National Taiwan
Normal University

Yeh-Hong Lin

Department of Special
Education, National Taiwan
Normal University

Abstract

In this study, we compare the sex differences in brain structure between math- and science-talented (MST) students and their typically developed (TD) peers, involving 36 MST (16 male and 20 female) and 37 TD (20 male and 17 female) students. The research instruments used in this study were the “High School Intelligence Test,” the “Basic Competence Test for Junior High School Students,” and magnetic resonance imaging (MRI). MRI data were processed with voxel-based morphometry (VBM) implemented in statistical parametric mapping (SPM). The results show that (1) MST students displayed larger gray matter volumes than TD students did in the cortical regions related to intelligence and math/science achievement scores; TD students showed larger gray matter volumes than MST students did in motor and somatosensory cortical regions; (2) Male students showed greater gray matter volumes than female students did in the cortical regions involved in mathematical tasks, information processing, and negative emotions; female students showed larger gray matter volumes than their male counterparts did in higher cognitive and somatosensory cortical regions; (3) The results of this study indicate that both innate and acquired abilities might affect brain development.

◆ 64 ◆ 高中數理能力優異班學生

郭靜姿、林慶波、張馨仁、周坤賢、曾琦芬、張玉佩、林燁虹

Keywords: gray matter volume, sex difference, magnetic resonance imaging (MRI), talent in math and science