

國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系
教育心理學報，2012，43 卷，4 期，805-832 頁

高中數理資優班學生 心理特質與大腦結構之研究*

郭靜姿

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

張馨仁

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

張玉佩

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

周坤賢

國立陽明大學
神經科學研究所

林燁虹

國立臺灣師範大學
特殊教育學系

陳雪君

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

本研究受試者為高中數理資優班學生 36 人及普通學生 37 人，研究工具包括：「高中學校能力測驗」、「國中基測」、「我的特質量表」、MRI 及 SPM 的像素形態分析方法 (VBM)，所得之資料以 SPSS 及 VBM 進行統計考驗。主要發現如下：(一) 數理組在成就及智力測驗表現皆顯著優於普通組。(二) 數理組僅在智能過度激動特質作答得分顯著高於普通組，且智能過度激動特質與成就、智力間有顯著相關。(三) 以 Jung 與 Haier (2007) 的頂-額整合理論為基礎，在智力與推理歷程中，數理組和普通組處理訊息的區塊有所不同。(四) 數理組在左半球多處區域灰質密度高於普通組，普通組在右半球多處區域灰質密度高於數理組。(五) 語文智力與右上頂小葉的灰質密度有顯著負相關。(六) 數學成就、自然成就各與多處大腦區域之灰質密度有顯著正相關或負相關存在。(七) 五種過度激動特質亦各與大腦某些區域的灰質密度有顯著正相關或負相關存在。

關鍵詞：大腦結構、心理特質、灰質密度、過度激動、數理資優

國內在高中設有許多數理資優班，對於這些數理能力優異學生已往我們並未研究及大腦的發展情形。在我們探討數理能力優異的認知特質與心理特質之際，大腦結構及功能的運作狀況應可提供我們對數理能力優異學生更多的了解，而如果能聯結其心理特質的表現與生理特質的條件，相信亦是十分有意義的。不過，我們也可以發現心理特質與大腦聯結的研究多以 IQ 或遺傳基因為議題，其他心理特質評量工具則較少。

*1. 本論文之通訊作者為林慶波副教授，通訊方式：chingpolin@gmail.com

2. 本論文承蒙國科會科教處經費之補助（計畫編號：NSC 95-2614-S-003-018-MY3），特此致謝。

3. 本研究之完成要感謝台北市五所高中共 73 位學生參與，研究始得以順利進行，特此致謝。

過去我們在國內對於各類資優學生的過度激動特質做了不少研究，除了 IQ 外，究竟國內占資優類別人數最多的數理能力優異學生，其過度激動特質與大腦結構間關聯如何呢？瞭解腦的運作可讓我們發現人類發展潛能的科學依據（Carter, 1998），而過去十幾年來，學者以各種精密儀器探索人類複雜動作、認知的歷程，並透過強而有力的造影技術，從放射性物質的半衰期到局部磁場的變化，窺探個體在進行認知作業時，其大腦特定區位的活動型態（Goldberg, 2001）。其中，以非侵入性的方式獲得更高度解析的腦部空間影像更受重視，因為這些技術的協助，使我們對於各式各樣的認知歷程有了不同的解釋。由於有關數理能力優異學生大腦結構的研究較少，本研究在功能性造影研究之前，擬由探討資優及數理能力優異學生心理特質的研究聯結到大腦結構的研究。

資優學生在認知特質上除了具備較廣泛的知識基礎，並能有效地運用知識；偏好複雜、具挑戰的環境；解題速度快，但在計畫階段花較多時間；能清楚陳述及歸類問題；具備彈性運用策略及後設認知與自我調節的能力（Shore & Kanevsky, 1993）。此外，在情意特質上，敏銳的自我覺知（Piechowski, 1989, 2002）、對真理的認同（Lovecky, 1992）；合理的利他主義（Piechowski, 1989）、幽默感、高度毅力（Silverman, 1993a）等也是文獻中常提及的特質。然而以往的文獻指出：資優學生為非常特別之個體，因其具有優異的學習特質、認知風格、情緒敏感與身心緊張的特質，故而造成身心非同時性（asynchrony）發展的特徵（Gross, 2002），也可能產生社會適應的問題。

一、過度激動特質

波蘭心理學家 Dabrowski 從實務與長期研究中，發現資優者欲朝向人格特質高層次的發展，需要具備發展的動能，發展動能包括：智力、特殊才能、過度激動特質與動力，其中尤以過度激動特質為不可或缺的因素（Dabrowski & Piechowski, 1977）。過度激動特質（overexcitability，簡稱 OE），包含五種：1. 心理動作過度激動（POE），2. 感官過度激動（SOE），3. 想像力過度激動（MOE），4. 智能過度激動（TOE），及 5. 情緒過度激動（EOE）（Piechowski, 1997）。Dabrowski 在其理論之中，假定心理動作過度激動特質反應出身分心的緊張與強度、感官過度激動特質反應出以感覺的愉悅舒解壓力、想像力過度激動特質反應出活躍的幻想及創造力、智能過度激動特質反應出尋求智能發展的需求及正義感、情緒過度激動特質反應出與他人情感強烈的聯結（Piechowski, 1997）。

Dabrowski 統整他長年對資優者與具創意者的研究與臨床經驗，提出五種形式的過度激動特質。在已往相關的研究中，發現資優學生的過度激動特質較一般生強，尤其是在情緒、想像與智能部分（Bouchet & Falk, 2001; Dabrowski & Piechowski, 1977）。其中，更有研究指出，使用過度激動特質來區辨資優學生與普通學生時，可正確區分出近八成左右的資優學生（Bouchard, 2004）。

對於資優學生的過度激動特質國內在過去 10 年內有頗多研究，其中發現智能過度激動特質是資優學生最典型的特質，幾乎每一個比較資優學生與普通學生過度激動特質差異的研究，都發現資優學生的智能過度激動特質比普通組為高（吳沛青，2005；張玉佩，2003；張馨仁，2001）。而對於高中數理資優班學生的研究，則發現學生除在智能過度激動外（張玉佩，2003；張馨仁，2001），想像力過度激動特質也顯著優於普通學生（張馨仁，2001）。

「過度激動」一詞就中文的意義聽起來有些負向，不過過度激動特質並非是負向的（Piechowski, Silverman, & Falk, 1985），我們可將之想像為訊息的流通管道，個人將以這些管道選擇對哪些刺激來反應。這些管道可以是全開的、半開的或微開的，視過度激動的程度而定（Piechowski, 1997）。當這些管道越多、越暢通，則數理優異者可接收的訊息則越豐富，發展潛能也越強。無可避免的，

當數理優異者所擁有的過度激動管道越多，則流通的訊息也相對的複雜，因此，數理優異者在處理這些訊息時會因無法過濾而產生不協調、衝突、緊張與崩潰的情形，由於情緒的過於敏感，甚至可能有憂鬱、自殺傾向等現象，許多精神科醫師認為此種現象為精神病症狀，是需要治療的，但 Dabrowski 認為這些情緒的不協調對個人的發展是正向的也是必須的 (Piechowski, 1997)。對數理能力優異學生而言，過度激動是他們自我發展的種子，如同蚌殼需有沙礫方能激發出珍珠一般 (Sliverman, 1993b)。倘若數理優異者的心靈生活中沒有出現些許的強度，那麼能力只是一種缺乏感情及熟忱的技術性工具 (Piechowski, 2002)。

二、數理能力優異學生的大腦研究

在瞭解數理能力優異學生的心理特質之際，我們也不能忽略其生理特質。然而在特殊教育中以往有關大腦結構及功能的研究，較偏重在腦傷患者及身心障礙學生行為功能缺損的研究，對於數理能力優異學生的大腦研究較為欠缺。在文獻中對於數理能力優異者的大腦研究，其中最重要也是最有名的是對愛因斯坦大腦結構的研究 (Diamond, Scheibel, Murphy, & Harvey, 1985; Witelson, Kigar, & Harvey, 1999)。上述研究發現：愛因斯坦在大腦皮層的第三十九區神經細胞與神經膠細胞的比值，比一般正常人的小；亦即愛因斯坦腦中的神經細胞，具有較多的神經膠細胞數目 (Diamond et al., 1985)。愛因斯坦的大腦皮層第九區的厚度，比一般人薄，但神經細胞密度較高 (Anderson & Harvey, 1996)。或者，愛因斯坦的腦有一個較短的側面溝 (lateral sulcus)，較其他人的腦寬了百分之十五 (Witelson et al., 1999)。然而，可發現前述的研究皆僅限於以愛因斯坦單一個案和其他正常人相比。近年來若干科學家以數理能力優異學生為研究對象，試圖探究數理能力優異者的大腦；例如：以 fMRI 的掃描來比較數理能力優異學生與普通組在做 3D 心像旋轉時大腦活化的血中含氧量變化 (O'Boyle et al., 2005)、比較數理能力優異學生、普通組及大學生大腦半球間的交互作用情形 (Singh & O'Boyle, 2004)，以及數理能力優異學生在解決心像旋轉問題時的表現 (O'Boyle, 2005)。

三、遺傳基因與大腦

除此之外，也有許多大腦影像和基因研究探討正常人和特殊疾病患者的基因形式和大腦功能。最近的研究顯示許多認知能力具有遺傳性，像是基因會影響智力商數 (McClearn et al., 1997)、口語和空間能力、知覺速度 (Alarcón, Plomin, Fulker, Corley, & DeFries, 1998)、甚至是某些性格特質，包括人們對於壓力的情緒反應 (Eley & Plomin, 1997)。一些針對雙胞胎的大腦結構研究顯示大腦的整體體積 (Tramo et al., 1998)，和某些大腦結構，包括胼胝體 (Pfefferbaum, Sullivan, Swan, & Carmelli, 2000)、和腦室皆會受基因影響。Thompson 等人 (2001) 探討個體基因差異對於大腦結構的影響，研究受試者為三種不同配對，分別為不相關的個體配對、異卵雙胞胎和同卵雙胞胎配對。雖然異卵和同卵雙胞胎在懷孕期和後來的教養環境是一樣的，但是異卵雙胞胎的基因是不同的，而同卵雙胞胎的基因是相同的。他們發現基因越相似者，則其大腦結構也越相似，像是布洛卡區 (Broca) 和韋尼克區 (Wernicke) 的語言區域和額葉區域。此外，他們透過相關分析發現額葉灰質差異與斯皮爾曼 G 因子 (Spearman) 有關，這樣的結果顯示基因、大腦結構和行為的強烈關係。

四、IQ 與大腦

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組，而未包含數理能力優異學生。例如：Frangou、Chitins 與 Williams (2004) 以健康的青少年為研究對象，探討 IQ 與灰質密度的關係，發現左前小腦、左小腦、右額葉眼眶面皮質 (orbitofrontal cortex) (BA 11, BA 47)、左額葉眼眶面皮質 (BA 10, BA 11, BA 47)、丘腦 (thalamus)、扣帶 (cingulate) (BA 9, BA 24, BA 32) 及楔前葉 (precuneus) (BA 5, BA 7, BA 24, BA 31) 等七個灰質區和 IQ 有正相關。此外，與雙側尾核有負相關。Andreasen 等人 (1993) 以 67 位健康的普通成人為研究對象，發現大腦、顳葉、海馬回及小腦的體積與 IQ 有顯著相關，灰質體積與 IQ 表現具顯著相關；灰質、白質及腦脊液的體積也會隨著年紀的改變而成熟。Reiss、Abrams、Singer、Ross 與 Denckla (1996) 也發現大腦體積與 IQ 成顯著正相關，特別是大腦的前額葉區的灰質體積。Narr 等人 (2007) 亦以一般 IQ 的健康成人為研究對象，發現灰質與白質的體積與 IQ 達顯著正相關，其中最大的變異來源為灰質體積；此外，IQ 與前額葉 (BA 10/11、47)、後顳葉皮質 (BA 37、36) 皮質的厚度呈正相關。而 Wilke、Sohn、Byars 與 Holland (2003) 更發現前扣帶 (BA 24) 與人類智能的評估有直接的相關。

五、數學能力與大腦

上述之外，未標明以數理能力優異為研究對象，但探討數學能力與大腦結構的相關研究頗多，發現數學能力與下列區域有關：1. 額葉：前額葉 (Danker & Anderson, 2007)；下額回 (IFG) (Ischebeck, Zamarian, Egger, Schocke, & Delazer, 2007)；中央前回 (Zhou et al., 2007)；輔助運動區 (Zhou et al., 2007)；右前運動區 (Hanakawa, Honda, Okada, Fukuyama, & Shibasaki, 2003)。2. 頂葉：左角回 (Grabner et al., 2007)；頂葉 (Danker & Anderson, 2007; Hanakawa et al., 2003)；後上頂葉皮質 (Hanakawa et al., 2003)；頂內溝 (Zhou et al., 2007)；下頂小葉 (Schmithorst & Brown, 2004)。3. 額頂區：額葉-頂葉-頂內溝 (Ischebeck et al., 2007)。4. 顳葉：左後上顳回 (Zhou et al., 2007)；左前上顳回 (Zhou et al., 2007)；梭狀皮質 (Hanakawa et al., 2003)。5. 顳頂區：顳葉-頂葉-左角回 (Ischebeck et al., 2007)。6. 枕回：枕回-中枕回-上枕回 (SOG) (Zhou et al., 2007)。7. 枕顳區：枕顳葉 (Schmithorst & Brown, 2004)。8. 其他：尾核 (Ischebeck et al., 2007)。

六、研究假設與名詞界定

總結上述研究，對於數理能力優異與腦部那些區域有關，似無一致結論，因此本研究引用 Jung 與 Haier (2007) 的頂葉-額葉整合理論 (Parieto-Frontal Integration Theory; P-FIT) 試圖歸納出數理能力優異學生與普通學生的大腦差異。Jung 與 Haier 回顧當代的 37 個神經影像研究，其中包含 11 個有關大腦結構及 26 個有關功能運作的研究，以試圖瞭解智力與推理的大腦機制，經由歸納與整理發現推理的歷程如下：

第一階段由顳葉和枕葉區域處理感覺資訊，BA 18、BA 19 和 BA 37 執掌視覺資料，BA 22 執掌聽覺處理。第二階段由頂葉的 BA 7、BA 39 和 BA 40 進行資訊的整合和抽象化。第三階段由頂葉區域和額葉 BA 6、BA 9、BA 10、BA 45、BA 46、BA 47 進行互動，以進行問題評估。第四階

段由前扣帶回 (BA 32) 負責反應的選擇及其他反應的抑制。基於文獻探討的結果，本研究擬由頂-額整合理論出發，分析與探討兩大面向：1. 數理資優班學生在大腦結構上，與普通學生之差異；2. 心理特質與大腦結構間之相關。

(一) 研究假設

1. 數理能力優異學生在智力與推理能力相關的皮質區，其灰質密度高於普通學生。2. 智商與智力及推理歷程相關的皮質區灰質密度有顯著相關存在。3. 數理成績與智力及推理歷程相關的皮質區灰質密度有顯著相關存在。4. 五種過度激動特質與智力及推理歷程相關的皮質區灰質密度有顯著相關存在。

(二) 名詞界定

1. 高中數理能力優異學生：係指經由縣市鑑輔會鑑定就讀於台北市高中數理優異班中的學生。2. 心理特質：本研究之心理特質含學生之智力及過度激動特質，智力係指學生在「高級中等學校能力測驗」之總智商、語文智商及非語文智商。過度激動特質係由波蘭心理學家 Dabrowski (Dabrowski & Piechowski, 1977) 所提出，包含：(1) 心理動作過度激動 (POE)，(2) 感官過度激動 (SOE)，(3) 想像力過度激動 (MOE)，(4) 智能過度激動 (TOE)，及 (5) 情緒過度激動 (EOE)。本研究所指之過度激動特質是學生在「我的特質量表」之得分，分數愈高代表過度激動特質強度愈高。3. 大腦結構：係指透過核磁共振攝影 (MRI 掃描) 所得的大腦影像及統計分析。本研究使用的大腦造影儀器為台北榮民總醫院主磁力場強度為 1.5 特斯拉 (Tesla) 的磁振造影儀，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, Wis., USA)。

方 法

一、受試者

本研究之受試者為高中數理資優班學生 36 人，取自台北市立建國高中、成功高中、北一女中及中山女高數理資優班，男 16 位，女 20 位，年齡在 16.0 ± 0.7 歲；普通組 37 人，取自台北市立明倫高中，男 20 位，女 17 位，年齡在 16.1 ± 0.7 歲。

二、研究工具

(一) 我的特質量表

由張馨仁 (2001) 依據 Dabrowski 過度激動理論編製。全量表共計 60 題，五個分量表，用以評估受試在「心理動作」、「感官」、「智能」、「想像」及「情緒」等五種過度激動特質之表現。每一個分量表有 12 個題目，採用 7 等計分方式，每一分量表最低 12 分，最高 84 分。此量表之內部一致性為 .683 ~ .913，重測信度介於 .629 ~ .814。效度方面以國內、外熟稔過度激動理論之九位學者之意見做為內容效度，其意見頗為一致。惟國內尚無其他量表可為本量表效標，故無效標關聯效度可供參考。

(二) 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, 2007)。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為效標, 相關情形大致合理, 本測驗整體言之在效標效度驗證結果頗佳。

(三) 國中基本能力測驗

本研究為瞭解學生數理成就表現, 以學生在國中入學高中之基測成績, 做為數理組與普通組成就表現的參照; 共蒐集數學、自然、國文、英文四科成績。

(四) 核磁共振攝影 (MRI 掃瞄)

本研究所使用的大腦造影儀器為台北榮民總醫院主磁力場強度為 1.5 特斯拉 (Tesla) 的磁振造影儀, 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, Wis., 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瞄以做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 = 8.548ms, TE = 1.836ms, TI = 400ms, 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。

三、評量程序

本研究評量程序包括: (一) 研究人員講習。(二) 蒐集學生能力資料。(三) 心理特質評量。(四) MRI 評量。

四、資料處理與分析

(一) 心理特質分析

本研究將蒐集之量化資料利用 SPSS13.0 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; 以皮爾森積差相關分析各變項得分間之相關。

(二) 以體素為基礎的型態學分析

在大腦結構分析部分, 此研究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; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK; Available online at <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) (Friston, Frith, Frackowiak, & Turner, 1995)。其完整的分析步驟如下所示：

1. 手動前處理：以手動方式將 T1 權重高解析度結構影像重新定位，其定位的準則如下：使大腦半球間的空隙平行於成像範圍的垂直軸，且使前連合及後連合連線平行於成像範圍的水平軸。隨後將原始影像的原點利用手動定位的方式定義在前連合，並將上述定位後的相對應之轉移函數矩陣儲存下來（六個剛體轉換參數）。

2. 建立此次受試者相對應之大腦模版和組織之先驗參照：在此步驟中我們利用此研究中的所有受試者資料直接建構其相對應之大腦模版及組織之先驗參照影像，以減少因為模版的選擇而產生的任何偏誤。將每位受試者的 T1 權重影像利用 12 個自由度的仿射轉換對位到 SPM2 所提供的標準模版影像。隨後將 73 位受試者的經過上述對位後的 T1 權重影像加以平均，接著再利用 8 mm 的高斯核心濾波器 (Gaussian kernel) 使該平均 T1 權重影像加以平滑化 (smooth)，以產生屬於此次研究中所使用的平均 T1 權重影像大腦模版，而這個平均 T1 權重影像大腦模版則作為後續影像分析時所需的標準大腦模版。接下來使用 SPM2 內建的組織之先驗參照 (tissue reference priors) 將經過正規化的 T1 權重影像進行組織分割 (tissue segmentation)，在此步驟中我們會將每一位受試者的大腦組織區分成灰質 (gray matter)、白質 (white matter) 以及腦脊液 (CSF) 此三大類。在進行組織分割之前，我們會針對磁振造影儀中磁場不均勻所造成的局部影像強度不均勻的問題加以校正，隨之我們利用 SPM2 所提供的混合式群聚分析方法進行全腦組織的分割，此分析方法乃是藉由本身 T1 權重影像之影像強度的大小以及結合關於組織空間分配的事前機率知識，即組織之先驗參照 (tissue reference priors) (Ashburner & Friston, 1997) 以進行組織分割的動作。接著，我們將經由影像分割所得到的各受試者的灰質、白質及腦脊液影像加以平均，並且以 8 mm 的高斯核心濾波器將此影像平滑化，以獲得屬於此次研究中所使用的組織之先驗參照，此組織之先驗參照是為了更為精準的去對在原始造影空間中的 T1 權重影像做最佳化的組織分割。最後，在進行原始造影空間之組織分割之前，我們使用大腦提取工具將頭骨從原始的 T1 權重影像中剝除，以進一步加強組織分割的品質 (Brain Extraction Tool; Compiled in FSL 4.0; FMRIB Image Analysis Group, Oxford, UK; Available online at www.fmrib.ox.ac.uk/fsl) (Smith et al., 2002)。

3. 原始造影空間中之組織分割和最佳標準化轉移函數之取得：所有在原始造影空間之 T1 權重影像都根據在上一個步驟中所產生的屬於該研究所使用的組織之先驗參照為基準以進行在原始造影空間中的大腦組織分割。這樣的分割步驟包含了下面的步驟：將各受試者的 T1 權重影像進行仿射轉換以對位到屬於該次研究專屬的 T1 大腦模版上，並且隨後伴隨著反向投影 (back-projection) 至原始造影空間中並且利用自動化大腦提取程序，用以移除非大腦相關的組織並進一步的粹取出各受試者原始造影空間中的灰質、白質及腦脊液影像。接著我們將此粹取出來的原始造影空間的灰質、白質及腦脊液影像分別跟其對應的組織之先驗參照進行空間上的正規化對位。此空間上正規化對位的準則為使用目標影像及欲對位影像間差異值的殘差平方和 (residual sum of squared differences) 作為配對標準，並包含仿射轉移以及使用平滑化基礎函數之線性結合 (linear combination of smooth basis functions) 以參數化整體非線性的形狀差異 (Ashburner & Friston, 1997)。

4. 最佳之影像對位正規化及大腦之組織分割：在上一個步驟中所取得之影像對位正規化的係數進一步使用於原始結構影像的原始空間，這樣的好處為減少任何非大腦組織體素進行對位所帶來的效應，並且可以提供最佳的灰質和白質的空間對位正規化。最後，這些經過影像對位正規化

及經過頭骨移除後的結構影像會重新取樣成 $2*2*2 \text{ mm}^3$ 體素之影像，且進一步分割成灰質、白質和腦脊液。接著我們從影像對位正規化過程中計算出雅可比行列式以調變在對位過程中形變所產生體積變化的問題。在進行以體素為基礎之群體比較前，將所有做過標準化、分割及調變後的影像以 8 mm 半高全寬等向性的高斯核心加以平滑化。

5. 統計分析：本研究採共變數分析 (ANCOVA)。為了進行以像素為基礎的群題型態分析，為了瞭解不同群體間灰質和白質體積是否有差異，我們將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作為依變項，以全顱內體積 (total intracranial volume) 做為共變數並以未校正的 p 值 ($p < 0.001$, uncorrected) 及叢集大於 50 個連續的體素這兩個統計閾值做為條件以定義出具有顯著組間差異的大腦區域。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。

結 果

一、數理組之數理基測成績及智商顯著高於普通組

為確認本研究所取的樣本是否數理能力優異，我們就國中基測數學、自然及智力做了學生能力的差異檢定。表 1 顯示，數理組在國中基測數學 ($t = 14.75, p < .001$) 與國中基測自然 ($t = 12.44, p < .001$) 之得分表現皆顯著優於普通組，因此在數理成就上，兩組學生有明顯的差距。在智商方面，數理組在「高級中等學校能力測驗」全測驗 ($t = 7.11, p < .001$)、非語文測驗 ($t = 6.87, p < .001$) 及語文測驗 ($t = 5.931, p < .001$) 得分皆顯著優於普通組，也顯示數理組學習潛能較為優秀。

表 1 數理組與普通組在數理成就及智力測驗得分差異比較

	數理組 ($n = 36$)		普通組 ($n = 37$)		t 值
	M	$S.D.$	M	$S.D.$	
基測數學	58.97	2.05	44.51	5.59	14.75***
基測自然	56.06	3.30	43.16	5.30	12.44***
總智商	56.97	4.98	46.83	6.95	7.11***
非語文智力	29.89	2.91	24.00	4.24	6.87***
語文智力	27.08	2.64	22.83	3.40	5.93***

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

二、數理組之智能過度激動特質顯著高於普通組

在過度激動特質方面，數理組在智能 OE 的得分顯著優於普通組 ($t=4.06, p<.001$)，在其他 OE 特質的差異則未達顯著水準（如表 2 所示）。推測原因，這些學生既是資優又是高成就，才考得進高中數理資優班。因此在智能 OE 以外的特質並不「過度激動」。

表 2 數理組與普通組在「我的特質量表」得分差異比較

	數理組 ($n=36$)		普通組 ($n=37$)		t 值
	M	S.D.	M	S.D.	
心理動作 OE	48.17	12.81	47.32	10.39	0.31
感官 OE	54.47	9.71	52.16	9.85	1.01
智能 OE	59.78	10.29	48.84	12.57	4.06***
想像 OE	54.56	11.64	51.97	10.75	0.99
情緒 OE	56.03	10.24	53.84	10.1	0.92

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

三、數理基測得分、智力及智能過度激動特質間有顯著相關存在

表 3 顯示智力與數理基測得分間有高度相關 (.497 ~ .594, $p<.01$)，顯示智力與數理成就間有密切關聯。另外五種 OE 間之相關，除了 TOE 與 POE 相關未達顯著水準外，其餘均互有顯著相關存在 (.323 ~ .638, $p<.01$)。

另外，智能過度激動與數理成就、智力總分、非語文智力及語文智力間之得分相關皆達顯著水準 ($.295 \leq r \leq .520, p<.05 \sim p<.01$)，其餘 OE 特質與成就、智力間之相關均未達顯著水準。

表 3 學業成就、智力及 OE 得分間之相關 ($N=73$)

	基數	基自	POE	SOE	TOE	MOE	EOE	FIQ	N-VIQ	VIQ
基數	—									
基自	.743**	—								
POE	-.023	-.060	—							
SOE	.075	.077	.352**	—						
TOE	.480**	.520**	.149	.239*	—					
MOE	.018	.106	.481**	.638**	.323**	—				
EOE	.173	.054	.157	.474**	.144	.451**	—			
FIQ	.592**	.577**	.014	-.072	.317**	-.057	.058	—		
N-VIQ	.594**	.579**	.012	-.052	.295*	-.076	.017	.954**	—	
VIQ	.510**	.497**	.016	-.088	.303**	-.025	.103	.925**	.769**	—

** $p<.01$, * $p<.05$

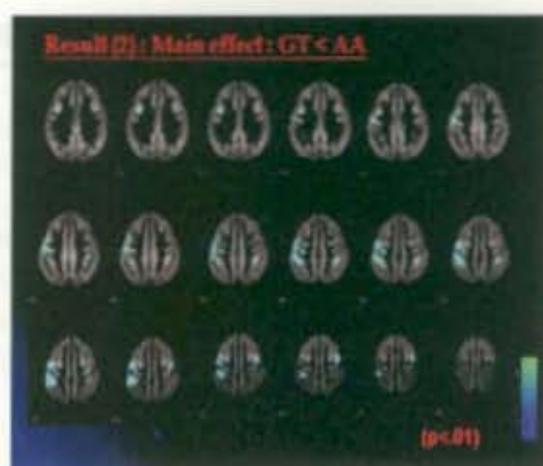


圖 2 普通組灰質密度高於數理組的區域

表 5 數理組灰質密度較普通組高的區域

羣集大小 (> 50)	最顯著的立體像素座標			解剖學上的位置	t-value
右半球					
93	50	10	7	Frontal lobe, Precentral Gyrus GM, BA 44	3.84***
左半球					
51	-26	-73	50	Parietal lobe, Precuneus, BA 7	4.04***
396	-40	-54	-21	Cerebellum, Anterior Lobe, Culmen	3.80***
	-50	-55	-7	Occipital lobe, ITG, BA 19	3.21**
65	-34	-57	-14	Temporal lobe, Fusiform gyrus, BA 37	3.01**
	-44	-31	3	Temporal lobe, STG, BA 41	3.78***
101	-42	39	-2	Frontal lobe, sub-gyral, BA 10	3.67***
62	-30	-39	-38	Cerebellum	3.18**

** $p < .01$ · *** $p < .001$

表 6 普通組灰質密度較數理能力優異學生大的大腦區塊

叢集大小 (> 50)	最顯著的立體像素座標			解剖學上的位置	<i>t</i> -value
右半球					
157	34	-13	52	Frontal lobe, precentral gyrus, BA 4	3.63***
	40	-3	54	Frontal lobe, MFG, BA 6	3.53***
144	38	-37	46	Parietal lobe, IPL, BA 40	3.32**
	44	-29	38	Parietal lobe, IPL, BA 40	2.89*
68	46	-79	13	Occipital lobe, MOG, BA 19	3.21**
	42	-75	22	Temporal lobe, MTG, BA 19	2.57*
91	51	-55	29	Parietal lobe, TPJ, BA 40	3.02**
	46	-50	17	Parietal lobe, TPJ, BA 40	2.69*
左半球					
1569	-44	-37	46	Parietal lobe, IPL, BA 40	4.85***
	-53	-14	39	Frontal lobe, precentral gyrus, BA 4	4.61***
	-53	-29	46	Parietal lobe, IPL, BA 40	4.54***

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

五、語文智力 (VIQ) 與多處大腦分區灰質密度間有顯著相關

本研究發現語文智力 (VIQ) 與多處腦區的灰質密度有顯著負相關：右上頂小葉、左小腦、左邊緣葉 (BA 28)，詳見表 7 (cluster size > 20)。

表 7 IQ 與大腦分區灰質密度的相關

Psychological traits	Cor-relation	Cluster size	MNI			Talarach			Anatomical location
			x	y	z	x	y	z	
VIQ	-	39	28	-68	44	28	-64	44	Right Superior Parietal Lobule
	-	40	-8	-78	-16	-8	-76	-10	Left Cerebellum Posterior Lobe Declive
	-	23	-24	-8	-34	-24	-9	-28	Left Limbic Lobe Uncus, BA 28

註：Cluster size > 20, $p < .01$

六、數學與自然成就與大腦多處分區灰質密度有顯著相關

數學成就與以下腦區的灰質密度有正相關：左顳葉(鵝島)、左上顳回(BA 22)、右扣帶回(BA 30)；此外，數學成就與以下腦區的灰質密度有負相關：左尾核、左邊緣葉(BA 28、BA 36)、左額葉的中央前回(BA 6)，詳見表 8 (cluster size > 20)。自然成就與以下腦區的灰質密度有正相關：左尾核、右上顳回(BA 8)、左小腦、左上顳回(BA 38)、左上顳回(BA 10)、左下顳回(BA 37)、右下顳回、右上顳回(BA 22)；此外，自然成就與以下腦區的灰質密度有負相關：左頂葉的中央後回(BA 3、BA 2)、雙側額葉的中央前回(BA 4)、左額葉的中央後回、左扣帶回(BA 31)、左額葉的中央旁小葉、左頂葉的中央後回、右下頂小葉、左下枕回，詳見表 8 (cluster size > 20)。

表 8 數學與自然成績與大腦分區灰質密度的相關

	Cor- relation	Cluster size	MNI			Talarach			Anatomical location
			x	y	z	x	y	z	
數 學	+	139	-42	-24	0	-42	-23	1	Left Temporal Insula
	+	139	-54	-10	-8	-53	-10	-6	Left Superior Temporal Gyrus, BA 22
	+	26	16	-52	14	16	-50	15	Right Sub-cortical Posterior Cingulate, BA 30
	-	71	-18	6	20	-18	7	18	Left Sub-cortical Caudate
	-	107	-30	2	-28	-30	1	-24	Left Limbic Uncus, BA 28
	-	107	-18	0	-36	-18	-2	-30	Left Limbic Uncus, BA 36
	-	43	-32	6	30	-32	7	27	Left Frontal Precentral, BA 6
自 然	+	22	-16	10	20	-16	11	18	Left Sub-cortical Caudate
	+	21	8	20	60	8	22	54	Right Superior Frontal Gyrus
	+	22	16	36	56	16	37	50	Right Superior Frontal Gyrus, BA 8
	+	37	22	16	52	22	18	47	Right Superior Frontal Gyrus, BA 8
	+	41	-6	-44	-50	-16	-45	-40	Left Cerebellum, Posterior Lobe, Cerebellar Tonsil
	+	23	-44	22	-34	-44	20	-30	Left Superior Temporal Gyrus, BA 38
	+	27	-6	70	-6	-6	68	-8	Left Superior Frontal Gyrus, BA 10
	+	22	-56	-44	-26	-55	-44	-20	Left Inferior Temporal Gyrus, BA 37
	+	35	64	-48	-18	63	-47	-13	Right Inferior Temporal Gyrus
	+	42	48	-8	-10	48	-8	-8	Right Sub-cortical Superior Temporal Gyrus, BA 22
	-	224	-50	-20	40	-50	-18	38	Left Parietal Postcentral Gyrus, BA 3
	-	224	-58	-22	34	-57	-20	32	Left Parietal Postcentral Gyrus, BA 2
	-	100	-28	-28	58	-28	-24	55	Left Frontal Precentral Gyrus
	-	100	-42	-18	58	-42	-15	54	Left Frontal Postcentral Gyrus
	-	61	-16	-24	42	-16	-21	40	Left Limbic Cingulate Gyrus, BA 31
	-	61	-8	-26	52	-8	-23	49	Left Frontal Paracentral Lobule
	-	74	-44	-32	54	-44	-29	51	Left Parietal Postcentral Gyrus
-	368	58	-14	36	57	-12	34	Right Frontal Precentral Gyrus, BA 4	
-	368	56	-32	26	55	-30	25	Right Inferior Parietal Lobule	
-	36	-44	-86	-12	-44	-84	-6	Left Inferior Occipital Gyrus	

註：Cluster size > 20, p < .01

七、過度激動特質與大腦多處分區灰質密度有顯著相關

在 OE 與大腦分區灰質密度之相關中，我們發現五種 OE 特質與大腦灰質密度均在多處區域存有顯著相關。表 9 為相關一覽表 (cluster size > 20)。

(一) TOE 與大腦分區灰質密度之相關

TOE 與以下腦區的灰質密度有顯著正相關：雙側下頂小葉 (BA 40)、左上顳回 (BA 22)、左緣上回 (BA 40)、雙側中央後回 (BA 2)、右中額回 (BA 8)、右中央後回 (BA 40)、左中顳回、左小腦。

(二) POE、SOE、MOE 與 EOE 與大腦分區灰質密度之相關

POE 與左中央後回 (BA 2) 的灰質密度有顯著負相關。SOE 與左上顳回的灰質密度有顯著正相關。MOE 與以下腦區的灰質密度有顯著正相關：右下頂小葉 (BA 40)、右緣上回、右下額回、右下頂小葉、右腦島、右中顳回。EOE 與左上顳回 (BA 22) 的灰質密度有顯著負相關。

表 9 OE 與大腦分區灰質密度的相關

Psychological traits	相關	大小	MNI			Talarach			Anatomical location
			x	y	z	x	y	z	
T OE	+	74	-62	-36	46	-61	-33	44	Left Inferior Parietal Lobule, BA 40
	+	462	-60	-58	26	-59	-55	27	Left Superior Temporal Gyrus, BA 22
	+	462	-58	-60	34	-57	-57	34	Left Parietal Supramarginal Gyrus, BA 40
	+	404	64	-36	30	63	-33	29	Right Inferior Parietal Lobule, BA 40
	+	21	-60	-24	32	-59	-22	31	Left Parietal Postcentral Gyrus, BA 2
	+	22	40	32	46	40	33	41	Right Middle Frontal Gyrus, BA 8
	+	24	40	-36	58	40	-32	55	Right Parietal Postcentral Gyrus, BA 40
	+	20	-42	-60	10	-42	-58	12	Left Middle Temporal Gyrus
	+	26	44	-34	46	44	-31	44	Right Inferior Parietal Lobule, BA 40
	+	26	52	-30	40	51	-27	38	Right Parietal Postcentral Gyrus, BA 2
	+	22	-14	-36	-10	-14	-35	-7	Left Cerebellum, Anterior Lobe, Culmen,
P OE	-	119	-58	-26	50	-57	-23	47	Left Parietal Postcentral Gyrus, BA 2
S OE	+	55	-58	-26	14	-57	-25	14	Left Superior Temporal Gyrus
	+	48	-64	-50	12	-63	-48	13	Left Superior Temporal Gyrus
M OE	+	128	66	-42	26	65	-39	26	Right Inferior Parietal Lobule, BA 40
	+	128	62	-54	28	61	-51	28	Right Parietal Supramarginal Gyrus
	+	29	48	32	12	48	32	9	Right Inferior Frontal Gyrus
	+	37	64	-28	24	63	-26	23	Right Inferior Parietal Lobule
	+	37	56	-32	18	55	-30	18	Right Sub-cortical Insula
	+	28	56	-18	-10	55	-18	-8	Right Middle Temporal Gyrus
E OE	-	23	-66	-48	16	-65	-46	17	Left Superior Temporal Gyrus, BA 22
	-	26	-58	-26	14	-57	-25	14	Left Superior Temporal Gyrus

Cluster size > 20

討 論

一、數理組與普通組在過度激動特質之差異比較

張馨仁(2001)的研究發現數理資優學生在智能、想像、感官過度激動較普通組強烈,而張玉佩(2003)的研究則發現高中資優班學生僅在智能過度激動較普通組強烈。兩篇研究共同的發現為,高中數理資優班學生較普通學生有較強烈的智能 OE。雖然本研究數理組在五類 OE 得分平均數均較普通組均高(詳見表 2),但僅有 TOE 達顯著水準。由於本研究在建中及北一女中的樣本居多數,而一般說來數理能力優異學生若感官、心理動作、想像力、情緒 OE 過強會影響學習的專注性,恐在課業上較不易名列前茅,不易考上明星學校的數理資優班。吳沛青(2005)指出,若以 OE 來預測整體生活適應,則發現無論是一般智能優異、數理能力優異學生或普通組,智能 OE 最能預測生活適應,且為正向預測變項。吳沛青(2005)發現,對數理能力優異學生而言,感官、心理動作過度激動為負向預測變項;對普通組而言,心理動作及情緒 OE 則為負向預測變項。蔡麗婉(2005)的研究則發現最能預測整體生活適應的變項依序為情緒過度激動及智能過度激動。其中情緒過度激動的 $\beta = -.589$,可見情緒過度激動越明顯其生活適應越差。由上述討論,本研究之數理組學生在 TOE 顯著高於普通組學生,而在其他 OE 之差異未達顯著水準是可預期的。

二、數理組與普通組在大腦結構差異之比較

(一) 數理組灰質密度大於普通組

對照本研究結果與 Jung 與 Haier(2007)的頂葉-額葉整合理論(Parieto-Frontal Integration Theory; P-FIT),發現 BA 10、BA 7、BA 37、BA 19 與理論一致,這些區域與智力及推理歷程有密切相關,其中 BA 19、BA 37 執掌視覺資料的處理,而 BA 7 進行資訊的整合和抽象化,BA 10 負責問題評估。

本研究也發現理論預期之外的結果,包括中央前回(右 BA 44)、上顳回(左 BA 41)、左小腦灰質密度的差異。其中數理組在 BA 44 和左小腦的灰質密度顯著高於普通組。回顧過去研究也有類似的發現,Gray、Chabris 與 Braver(2003)發現高流體智力者(fluid intelligence)進行工作記憶(working memory)測驗時,其雙側 BA 44 有較明顯的活化;而 Frangou 等人(2004)發現 IQ 與小腦的灰質密度有正相關。從上述研究可知,右腦 BA 44 和左小腦與智力有關聯。但是,過去研究並未發現左腦 BA 41 與智力相關,BA 41 一般而言被認為控制聽覺感知的地方,資優生在這部分能力也較優秀嗎?此點值得進一步研究。

(二) 普通組灰質密度高於數理組之區塊

普通組在 BA 6、BA 40、BA 19 灰質密度較高,這些區域在 Jung 與 Haier(2007)的頂-額整合理論中,BA 19 執掌視覺的處理,BA 40 進行資訊的整合和抽象化,BA 6 進行問題的評估。其中 BA 4 的發現在理論的預期之外,BA 4 為主要運動皮質。

(三) 數理組與普通組的綜合討論

對照頂-額整合理論可以發現數理組和普通組都有與理論相符的部位,但其區域有所不同。推測數理組和普通組都以 BA 19 來處理視覺,但是數理組多了以 BA 37 區來處理視覺。在資訊的整

合和抽象化階段中，推測數理組以 BA 7 為主，而普通組以 BA 40 為主。在問題的評估中，推測數理組以 BA 10 為主，普通組以 BA 6 為主。

其中數理組和普通組在 BA 19 的灰質密度都大於另一個群體，似有矛盾之處，但是由於每一個 Brodmann 的大腦分區含括多個大腦皮質的區塊，同一個 Brodmann 區可分成幾個次區塊，而數理組與普通組在這些次區塊的表現各有所長。例如：數理組在 BA 19 的某些區塊的灰質密度較普通組大；反之，普通組卻也在 BA 19 的某些區塊的灰質密度較數理組大。由此，可反映出大腦是相當複雜的。這或許也提醒我們在解釋大腦區塊的功能時，應該更加地小心才是。

上述各區的功能重疊處頗大，茲以功能區塊標示兩組學生在灰質密度的差異（圖 3），可較粗略的歸納：數理組在左半球的額葉（認知、情緒）與枕葉、枕-頂及枕-顳（視覺與視覺-空間）區有多處灰質密度高於普通組，另外左小腦亦有多塊區域灰質密度高於普通組；普通組則在大腦雙側的動作區與高級感覺皮區、右半球的視覺-頂葉區有多處灰質密度高於數理組。亦即數理組在左半球多處區域灰質密度高於普通組，普通組在右半球多處區域灰質密度高於數理組。由於本研究係就大腦結構部分提出報告，有關兩組學生在大腦功能的運作情形還有待本研究後續功能性造影評量的結果進一步驗證。

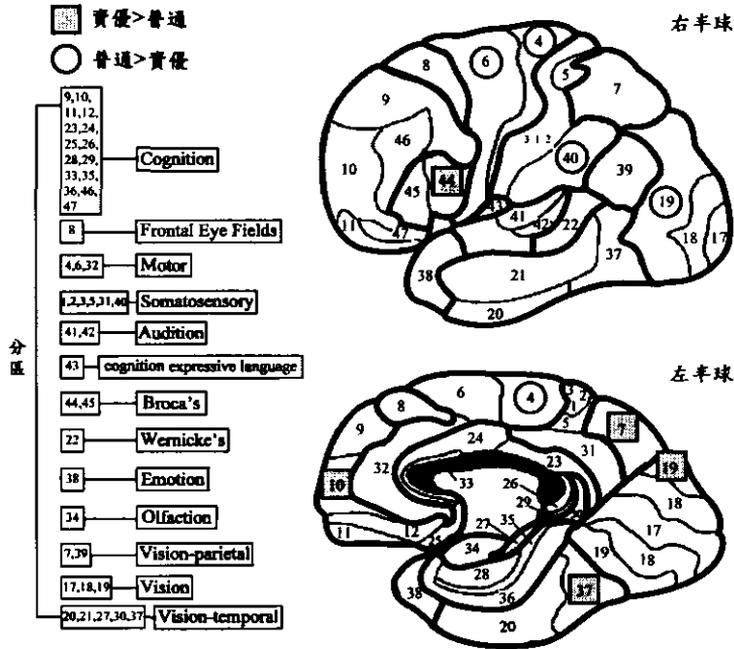


圖 3 數理組與普通組灰質密度達到顯著差異的區域

註：大腦功能分區資料參考：Dubin, M. (2007). Brain atlas: Brodmann Areas(functional attribution).

三、語文智力與大腦分區灰質密度之相關

對照右上頂小葉的發現與理論的預期相反，理論預期 BA 7（位於上頂小葉）扮演資訊的整合和抽象化，而本研究發現上頂小葉與語文智力呈負相關。根據神經有效性假設（neural efficiency hypothesis），能力優異者在特定腦區的神經活動有可能較一般人少（Del Percio et al., 2008），而大腦活動的減少可能伴隨著該區域的灰質和白質體積的減少。像是 Hanggi、Koenke、Bezzola 與 Jancke（2010）研究 10 位專業的女性芭蕾舞者和 10 位非舞者的大腦，發現專業舞者在以下腦區的灰質體積小於非舞者：左前運動皮質、運動輔助區、殼核、上額回。

像是許多 PET 研究測量大腦活動，發現 IQ 與神經活動有負相關（Haier, Siegel, Tang, Abel, & Buchsbaum, 1992）；而 EEG 研究發現專精於某項技能者有時神經活動較多，有時神經活動較少（Jausovec & Jausovec, 2004），總結來說，神經的活化多或少或許會依作業性質而有所不同。因此本研究推測語文智力較高者，其右上頂小葉神經運用較有效，故活化較少，使其灰質密度較低。

此外，本研究發現理論預期之外的結果，即左小腦、左邊緣葉（BA 28）與語文智力有負相關。過去研究（Frangou et al., 2004）和本研究的結果皆發現小腦與智力息息相關。另外，BA 28 被認為與情節記憶的登錄歷程有關（episodic memory encoding）（Fujii et al., 2002）。唯此一區域與語文智力的相關皆為負相關，可推測左小腦與左 BA 28 於語文智力中符合神經有效性的假設，神經有效運用致灰質密度較低。

四、數學與自然成就分數與大腦分區灰質密度之相關

（一）數學成就分數與大腦分區灰質密度之相關

本研究發現左上顳回（BA 22）、右扣帶回（BA 30）、左額葉的中央前回（BA 6）的發現與理論一致。其中的 BA 22 執掌聽覺處理，BA 6 進行問題評估，前扣帶回與反應的選擇和其他反應的抑制有關。惟 BA 6 與數學成就分數呈負相關，推測符合神經有效性假設，數學成績佳者，其 BA 6 的使用較為有效，故灰質密度較低。

其中左腦島、左尾核、左邊緣葉（BA 28、BA 36）為理論預期之外的發現。其中左腦島部分，過去文獻發現進行類比推理時（analogical）其前腦島有顯著的活化（Wharton et al., 2000），亦即腦島與類比推理有關，證實腦島與數學成績相關的證據。至於左尾核、左邊緣葉（BA 28、BA 36）為理論預期之外的發現，且呈負相關。其中尾核與數學成績的負相關，與過去文獻一致。Frangou 等人（2004）以健康的青少年為研究對象，探討 IQ 與灰質密度的關係，發現 IQ 與雙側尾核有負相關。而其中 BA 28 與情節記憶的登錄歷程有關（Fujii et al., 2002），BA 36 則被認為在數學計算中扮演語意控制（Semantic control）的功能，也就是判斷假設或結論是否有錯誤（Parsons & Osherson, 2001）。推測這三個區域符合神經有效性假設，其灰質密度與數學成績呈負相關。

（二）自然成就分數與大腦分區灰質密度之相關

在自然成就與分質灰質密度相關的發現上，其中左上額回（BA 10）、左下顳回（BA 37）、右下顳回、右上顳回（BA 22）、左扣帶回（BA 31）、右下頂小葉、左下枕回的發現與理論一致（其中下頂小葉包含 BA 39 和 BA 40；左下枕回包含 BA 19），BA 19、BA 37 執掌視覺資料的處理，BA 10 進行問題評估，BA 39 和 BA 40 進行資訊的整合和抽象化，前扣帶回與反應的選擇和其他反應

的抑制有關。唯左扣帶回、右下頂小葉和左下枕回與自然成就呈負相關，推測與神經有效性假設一致。

其中左尾核、右上額回 (BA 8)、左小腦、左上顛回 (BA 38) 的發現在理論預期之外。左尾核部分與文獻有類似的發現 (Frangou et al., 2004)，Frangou 等人發現 IQ 與雙側尾核有負相關，但本研究發現自然成就與左尾核呈正相關。左小腦在 Frangou 等人 (2004) 和本研究中皆發現小腦與智力息息相關。而右腦 BA 8 部分在文獻中發現高 IQ 者在右 BA 8 的激發大於一般 IQ 者 (Graham et al., 2010)。在 BA 38 部分則發現使用語文相關推理問題 (像是小明比小華高等) 研究 12 名德國人的大腦活動，發現左 BA 38 有顯著的激發，亦即 BA 38 與語文推理有顯著相關。

以下區域與自然成就呈負相關，也在理論預期之外，包括：左頂葉的中央後回 (BA 3、BA 2)、雙側額葉的中央前回 (BA 4)、左額葉的中央後回及左額葉的中央旁小葉。其中 BA 2、BA 3 是主要體感覺皮質 (primary somatosensory)，BA 4 是主要運動皮質 (primary motor cortex)。中央旁小葉也包含 BA 4，可發現體感覺皮質與運動皮質與自然成就有負相關，回顧過去文獻也沒有相關發現，推測是因本研究樣本在 BA 4 主要運動皮質灰質密度較低，此點有待後續推理歷程之功能性造影研究進一步探討。

五、過度激動特質與大腦分區灰質密度之相關

(一) TOE 與大腦分區灰質密度之相關

其中雙側下頂小葉 (BA 40)、左上顛回 (BA 22)、左緣上回 (BA 40)、右中央後回 (BA 40) 與 TOE 有正相關，與理論一致：BA 22 被認為於智力與推理中扮演聽覺處理的角色，而 BA 40 被認為與資訊的整合和抽象化有關。其中雙側中央後回 (BA 2)、右中額回 (BA 8)、左中顛回、左小腦與理論的預期不一致。但是回顧過去文獻發現高 IQ 者在右 BA 8 的激發大於一般 IQ 者 (Graham et al., 2010)；也有文獻發現顛葉 (本研究發現左中顛回) 與小腦與智力相關的證據，像是 Andreasen 等人 (1993) 發現智力測驗 (WAIS-R) 與顛葉有正相關。左小腦在過去研究 (Frangou et al., 2004) 和本研究的資普差異比較皆發現小腦與智力息息相關。至於 BA 2 是主要體感覺皮質，其與 TOE 的正相關關連為何？目前尚未找到相關文獻加以證明。

(二) POE 與大腦分區灰質密度之相關

POE 與左中央後回 (BA 2) 的灰質密度有顯著負相關，在理論的預期之外。BA 2 是主要體感覺皮質，回顧心理動作 OE 的描述為「精力過剩或神經肌肉系統的高度興奮」(Piechowski, 1997)，其與 BA 2 灰質密度似有相關，其負相關或許與神經有效性假設一致。

(三) SOE 與大腦分區灰質密度之相關

本研究發現 SOE 與左上顛回的灰質密度有顯著正相關，其與理論一致，左 BA 22 (上顛回) 於智力與推理中扮演聽覺處理的角色。與感官的 OE 的描述「喜歡聽有腔調的聲音、歌聲或交響樂」(Piechowski, 1997) 相似。

(四) MOE 與大腦分區灰質密度之相關

MOE 與以下腦區的灰質密度有顯著正相關：右下頂小葉 (BA 40)、右緣上回、右下額回、右腦島、右中顛回。本研究發現右下頂小葉 (BA 40)、右緣上回 (位於 BA 40) 與 MOE 有正相關，

與理論一致，BA 40 被認為與資訊的整合和抽象化有關，其與想像力激動特質的描述「用想像或暗喻表達」（Piechowski, 1997）相似。

本研究發現右下額回、右腦島、右中顳回與 MOE 有正相關，在理論預期之外。但是回顧過去文獻發現額回（本研究發現右下額回）和右腦島執掌演繹推理（deductive reasoning）和相關視覺區域（associative visual areas）（Osherson et al., 1998），其與 MOE 的描述「有生動的思考力等」類似。回顧過去文獻發現右中顳回與想像虛構的記憶有關。Hassabis、Kumaran 與 Maguire（2007）請受試者想像虛構的經驗（Newly imagined fictitious experiences）發現相較於想像物體（newly imagined objects），其右中顳回有顯著的激發，及右中顳回似與想像有關，其與 MOE 的描述「做白日夢、幻想」（Piechowski, 1997）相似。

（五）EOE 與大腦分區灰質密度之相關

EOE 與左上顳回（BA 22）的灰質密度有顯著負相關，回顧情緒 OE 的描述，多以情緒為主（Piechowski, 1997），亦即 BA 22 除了處理聽覺外，可能也與情緒的處理有關，而回顧過去文獻確實有一致的發現，Farb 等人（2010）發現相較於中性影片情境，引發情緒的影片情境使右上顳回（BA 22）的活化抑制。

（六）研究發現間的不一致

本研究發現 1. 數理組的 TOE 高於普通組，2. BA 40 與 TOE 有正相關，3. 普通組的 BA 40 灰質密度高於數理組。這三個結果似有內部不一致的地方。縱然上述三個結果，看似矛盾，但是進一步觀察區域與座標可以發現雖然都屬於 BA 40，但是細部位置不盡相同。BA 40 中位於雙側下頂小葉、左緣上回和右中央後回的區域與智能過度激動特質有正相關；普通組在 BA 40 中位於雙側下頂小葉與右顳部頂骨連接部位的灰質密度高於數理組，如表 10 所示。

表 10 BA 40 區域的比較

BA 40 與 TOE 有正相關	普通組的 BA 40 灰質密度高於數理組
雙側下頂小葉 (BA 40)	雙側下頂小葉 (BA 40)
左緣上回 (BA 40)	右顳部頂骨連接部位 (右 BA 40)
右中央後回 (BA 40)	

但是仍難以解釋為何普通組在下頂小葉的灰質密度大於數理組，而下頂小葉與智能過度激動特質又有正相關，因此研究者進一步比較雙側下頂小葉的座標，發現僅有 (44, -31, 44) 與 (44, -29, 38) 較為相近，如表 11 所示。因此研究者推測 BA 40 區域中位於下頂小葉的腦區又可進一步分割成不同小區塊，像是有些小區塊執掌與智能過度激動特質相關的功能，有些小區塊可能與普通組與數理組的差異有關。

表 11 下頂小葉區域(立體像素座標)的比較

BA 40 與 TOE 有正相			普通組的 BA 40 灰質密度高於數理組		
左下頂小葉 (BA 40)					
-61	-33	44	-44	-37	46
			-53	-29	46
右下頂小葉 (BA 40)					
63	-33	29	38	-37	46
44	31	44	38	30	38

此外，Gaser 與 Schlaug (2003) 發現音樂技能 (與練習時數相關) 與特定腦區的灰質密度有正相關，且進一步的研究已經證實練習時間與灰質密度有正相關 (Aydin et al., 2007)。此外，也有人提出練習階段不同而導致大腦不同的改變，像是 Driemeyer、Boyke、Gaser、Buchel 與 May (2008) 證實灰質在雜耍練習的早期階段中會增加，但是在練習一段時間後，其灰質就沒有再增加了。此外，專業高爾夫和非專業高爾夫球員在大腦上沒有顯著差異，縱然專業高爾夫球員練習的時間是非專業高爾夫球員的八倍 (Jancke, Koeneke, Hoppe, Rominger, & Hanggi, 2009)。另一方面，發現非專業高爾夫和新手高爾夫有顯著的差異，亦即證實訓練的早期階段導致大腦較顯著的改變。又或者是當你練習某一個技能可能會導致大腦灰質的增加，練習另外一個技能可能會導致大腦灰質的減少。由上可知目前專長能力與大腦相關區域灰質密度高低的研究發現十分不一致，而大腦功能相當複雜，探討心理特質與生理特質的聯結還有待很多驗證及資料搜集。

六、建議

本研究之數理能力優異樣本並未含括數學、物理及化學奧林匹亞的選手。有些父母擔心 MRI 掃描會對數理能力優異學生產生傷害，故而部分高能力數理能力優異學生並未參與評量。建議未來對於類似高科技評量可多做宣導及解釋，以使父母放心讓傑出優秀的學生參與評量。未來的研究，就心裡特質、大腦功能、大腦結構的聯結應做更進一步且更精密的評量，以解釋一些矛盾或不一致的結果。期盼透過 fMRI 探究，未來可與大腦結構的研究發現相互驗證。

參考文獻

- 吳沛青 (2005)：高雄市國小一般智能優異學生和普通學生過度激動特質與生活適應之比較研究。國立屏東教育大學特殊教育研究所碩士論文。
- 張玉佩 (2003)：台灣北區高中數理資優班學生情緒發展層次與情緒適應之研究。國立臺灣師範大學特殊教育研究所碩士論文。
- 張鞏仁 (2001)：資優生過度激動特質之研究。國立臺灣師範大學特殊教育研究所碩士論文。
- 蔡麗婉 (2005)：國小資優生生活適應影響因素之研究。臺北市立教育大學創造思考暨資賦優異教育研究所碩士論文。

- 簡茂發、何榮桂、郭靜姿編修 (2007)：高級中等學校能力測驗 (高中高職適用) (OLSAT) 第八版中文版。臺北：中國行為科學社。
- Alarcón, M., Plomin, R., Fulker, D. W., Corley, R., & DeFries, J. C. (1998). Multivariate path analysis of specific cognitive abilities data at 12 years of age in the Colorado Adoption Project. *Behavior Genetics, 28*(4), 255-264.
- Anderson, B., & Harvey, T. (1996). Alterations in cortical thickness and neuronal density in the frontal cortex of Albert Einstein. *Neuroscience Letters, 210*, 161-164.
- Andreasen, N. C., Flaum, M., Swayze, V., O'Leary, D. S., Alliger, R., Cohen, G., ... Yuh, W. T. (1993). Intelligence and brain structure in normal individuals. *The American Journal of Psychiatry, 150*, 130-134.
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (1997). Multimodal image coregistration and partitioning: A unified framework. *NeuroImage, 6*, 209-217.
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry: The methods. *NeuroImage, 11*, 805-821.
- Aydin, K., Ucar, A., Oguz, K. K., Okur, O. O., Agayev, A., Unal, Z., ... Ozturk, C. (2007). Increased gray matter density in the parietal cortex of mathematicians: A voxel-based morphometry study. *American Journal of Neuroradiology, 28*, 1859-1864.
- Bouchard, L. L. (2004). An instrument for the measure of Dabrowskian overexciteabilities to identify gifted elementary students. *The Gifted Child Quarterly, 48*(4), 339-350.
- Bouchet, N., & Falk, R. F. (2001). The relationship among giftedness, gender and overexcitability. *Gifted Child Quarterly, 45*(4), 260-267.
- 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.
- Dabrowski, K., & Piechowski, M. M. (1977). *Theory of levels of emotional development* (Vol. I & II). New York, NY: Dabor science.
- 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.
- Del Percio, C., Rossini, P. M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., ... Eusebi, F. (2008). Is there a "neural efficiency" in athletes? A high-resolution EEG study. *Neuroimage, 42*, 1544-1553.

- Diamond, M. C., Scheibel, A. B., Murphy, G. M. Jr., & Harvey, T. (1985). On the brain of a scientist: Albert Einstein. *Experimental Neurology*, 88, 198-204.
- Driemeyer, J., Boyke, J., Gaser, C., Buchel, C., & May, A. (2008). Changes in gray matter induced by learning—Revisited. *PLoS ONE*, 3(7), e2669. doi:10.1371/journal.pone.0002669
- Dubin, M. (2007). *Brain atlas: Brodmann areas (functional attribution)*. Retrieved Jun 22, 2010, from <http://vincijesusbrain.blogspot.com/2007/12/brain-atlas-brodmann-areas-functional.html>
- Eley, T. C., & Plomin, R. (1997). Genetic analyses of emotionality. *Current Opinion in Neurobiology*, 7(2), 279-284.
- Farb, N. A. S., Anderson, A. K., Mayberg, H., Bean, J., McKeon, D., & Segal, Z. V. (2010). Minding one's emotions: Mindfulness training alters the neural expression of sadness. *Emotion*, 10, 25-33.
- Frangou, S., Chitins, X., & Williams, S. C. R. (2004). Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *NeuroImage*, 23(3), 800-805.
- Friston, K. J., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Turner, R. (1995). Characterizing dynamic brain responses with fMRI: A multivariate approach. *NeuroImage*, 2, 166-172.
- Fujii, T., Okuda, J., Tsukiura, T., Ohtake, H., Suzuki, M., Kawashima, R., ... Yamadori, A. (2002). Encoding-related brain activity during deep processing of verbal materials: A PET study. *Neuroscience Research*, 44, 429-438.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245.
- 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.
- Graham, S., Jiang, J., Manning, V., Nejad, A. B., Zhisheng, K., Salleh, S. R., ... Mckenna, P. J. (2010). IQ-related fMRI differences during cognitive set shifting. *Cerebral Cortex*, 20(3), 641-649.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6, 316-322.
- Gross, M. U. M. (2002). Social and emotional issues for exceptionally intellectually gifted students. In M. Neihart, S. M. Reis, N. M. Robinson, & S. M. Moon (Eds.), *The school and emotional development of gifted children: What do we know?* (pp. 19-29). Waco, TX: Prufrock Press.

- Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C., Abel, L., & Buchsbaum, M. S. (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence, 16*, 415-426.
- 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.
- Hanggi, J., Koeneke, S., Bezzola, L., & Jancke, L. (2010). Structural neuroplasticity in the sensorimotor network of professional female ballet dancers. *Human Brain Mapping, 31*(8), 1196-1206.
- Hassabis, D., Kumaran, D., & Maguire, E. A. (2007). Using imagination to understand the neural basis of episodic memory. *Journal of Neuroscience, 27*, 14365-14374.
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Egger, K., Schocke, M., & Delazer, M. (2007). Imaging early practice effects in arithmetic. *NeuroImage, 36*, 993-1003.
- Jancke, L., Koeneke, S., Hoppe, A., Rominger, C., & Hanggi, J. (2009). The architecture of the golfer's brain. *PLoS ONE, 4*(3), e4785. doi:10.1371/journal.pone.0004785
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2004). Intelligence related differences in induced brain activity during the performance of memory tasks. *Personality and Individual Differences, 36*(3), 597-612.
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Science, 30*, 135-154.
- Lovecky, D. V. (1992). Exploring social and emotional aspects of giftedness in children. *Roeper Review, 15*(1), 18-24.
- McClearn, G. E., Johansson, B., Berg, S., Pedersen, N. L., Ahern, F., Pettrill, S. A., & Plomin, R. (1997). Substantial genetic influence on cognitive abilities in twins 80 or more years old. *Science, 276* (5318), 1560-1563.
- Narr, K. L., Woods, R. P., Thompson, P. M., Szesko, 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.
- 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., 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.
- Osherson, D., Perani, D., Cappa, S., Schnur, T., Grassi, F., & Fazio, F. (1998). Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning. *Neuropsychologia, 36*, 369-376.

- Parsons, L. M., & Osherson, D. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex, 11*(10), 954-965.
- Pfefferbaum, A., Sullivan, E. V., Swan, G. E., & Carmelli, D. (2000). Brain structure in men remains highly heritable in the seventh and eighth decades of life. *Neurobiology of Aging, 21*(1), 63-74.
- Piechowski, M. M. (1989). Developmental potential and the growth of the self. In J. L. Vantassel-Baska & P. Olszewski-Kubilius (Eds.), *Patterns of influence on gifted learners* (pp. 87-101). New York, NY: Teachers College.
- Piechowski, M. M. (1997). Emotional giftedness: The measure of intrapersonal intelligence. In N. Colangelo & G. A. Davis (Eds.), *Handbook of gifted education* (2nd ed., pp. 366-381). N.H., MA: Allyn and Bacon.
- Piechowski, M. M. (2002). Experiencing in a higher key: Dabrowski's theory of and for the gifted. *Gifted Education Communicator, 33*(1), 31-36.
- Piechowski, M. M., Silverman, L. K., & Falk, R. F. (1985). Comparison of intellectually and artistically gifted on five dimensions of mental functioning. *Perceptual and Motor Skills, 60*, 539-549.
- 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.
- 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*, 1414-1420.
- 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.
- Silverman, L. K. (1993a). A developmental model for counseling the gifted. In L. K. Silverman (Ed.), *Counseling the gifted and talented* (pp. 51-78). Denver, Co: Love.
- Silverman, L. K. (1993b). The gifted individual. In L. K. Silverman (Ed.), *Counseling the gifted and talented* (pp. 3-28). Denver, CO: Love.
- Singh, H., & O'Boyle, M. W. (2004). Inter-hemispheric interaction during global-local processing in mathematically gifted adolescents, average-ability youth, and college students. *Neuropsychology, 18*(2), 371-377.
- Smith, S. M., Zhang, Y., Jenkinson, M., Chen, J., Matthews, P. M., Federico, A., & De Stefano, N. (2002). Accurate, robust, and automated longitudinal and cross-sectional brain change analysis. *NeuroImage, 17*, 479-489.

- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York, NY: Thieme.
- Thompson, P. M., Cannon, T. D., Narr, K. L., van, Erp, T., Poutanen, V-P., Huttunen, M., ...Toga, A. W. (2001). Genetic influences on brain structure. *Nature Neuroscience*, 4(12), 1253-1258.
- Tramo, M. J., Loftus, W. C., Stukel, T. A., Green, R. L., Weaver, J. B., & Gazzaniga, M. S. (1998). Brain size, head size, and intelligence quotient in monozygotic twins. *Neurology*, 50(5), 1246-1252.
- 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(3), 173-197
- 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.
- Witelson, S. F., Kigar, D. L., & Harvey, T. (1999). The exceptional brain of Albert Einstein. *The Lancet*, 353, 2149-2153.
- 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：2009年11月30日

一稿修訂日期：2010年06月23日

二稿修訂日期：2010年07月20日

三稿修訂日期：2011年03月18日

四稿修訂日期：2011年03月23日

五稿修訂日期：2011年03月30日

接受刊登日期：2011年03月30日

Bulletin of Educational Psychology, 2012, 43(4), 805-832

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Psychological Traits and Brain Structures of Mathematically and Scientifically Senior High School Talented Students

<p>Ching-Chih Kuo Department of Special Education National Taiwan Normal University</p>	<p>Hsin-Jen Chang Department of Special Education National Taiwan Normal University</p>	<p>Yu-Pei Chang Department of Special Education National Taiwan Normal University</p>	<p>Kun-Hsien Chou Institute of Neuroscience National Yang-Ming University</p>
<p>Yeh-Hong Lin Department of Special Education National Taiwan Normal University</p>	<p>Hsueh-Chun Chen Department of Special Education National Taiwan Normal University</p>	<p>Ching-Po Lin Institute of Neuroscience National Yang-Ming University</p>	

This study attempted to explore the psychological traits and brain structures of mathematically and scientifically talented (MST) students. The subjects participants were 36 MST students and 37 regular (RG) students from five senior high schools in Taipei city. Research instruments included "Otis-Lennon School Ability Test (OLSAT)", "Basic Competence Test", "The Me Scale", "MRI scan" and "voxel based morphometry of SPM (Statistical Parametric Mapping)". The data gathered were processed by t-test, Pearson correlation, and VBM. The main findings were as follows: (1) The MST students got significantly higher scores than RG students on math-science achievement and intelligent test. (2) MST students got higher scores than RG students only on the subscale of intellectual OE (TOE) and TOE was found significantly correlated with achievement and intelligence. (3) By adopting theory of Parieto –Frontal Integration (P-FIT) of intelligence which identifies a brain network related to intelligence, the researchers surmised the difference in brain information processing between MST and RG students. (4)The MST students had greater gray matter density than RG students in many left hemispheres regions, but the RG students had greater gray matter density than MST students in many right hemispheres regions. (5) Negative correlation was found between verbal IQ and gray matter density in right superior parietal lobule. (6) The results of the correlation between math scores of Basic Competence Test and gray matter density showed positive correlations in left BA 22 and right cingulate gyrus, and a negative correlation in left BA 6. (7) The results of the correlation between science scores of Basic Competence Test and gray matter density showed positive correlations in left BA 37, left BA 10 and right BA 22, and negative correlations in left inferior occipital gyrus, right inferior parietal lobule, left cingulate gyrus. (8) There existed a negative correlation between EOE and gray matter density in left BA22

and positive correlations between TOE and gray matter density in left BA 22, bilateral BA 40, between SOE and gray matter density in left superior temporal gyrus, and between MOE and gray matter density in right BA 40 and right supramarginal gyrus.

KEY WORDS: brain structure, gray matter density, mathematically and scientifically talented, overexcitability, psychological traits