



運動、認知功能與大腦的相遇： 磁共振造影之過去與未來

陳豐慈、張育愷*

一、前言

認知神經科學的興起，使得心理學研究者得以跨領域方式深入探索心理與大腦的關聯。近年來，隸屬應用心理學範疇的運動心理學（exercise and sport psychology）研究者，亦透過此取向積極探尋「運動是否、或如何改造大腦」的科學證據。

以認知功能的角度而言，運動與認知功能議題之研究已由早期以行為表現改變取向推論大腦的內在歷程，轉而聚焦以事件關聯電位（event-related potential, ERP）取向探討運動與大腦神經電位改變之關聯。具體而言，研究者係透過比較不同身體適能水準或身體活動量之參與者（註：此屬於慢性運動研究之範疇）（Chang, Huang, Chen, & Hung, 2013; Fong, Chi, Li, & Chang, 2014），或比較參與運動前、運動中，或運動後（註：此屬於急性運動研究之範疇）（王俊智、陳豐慈、齊璘、張育愷，2012；張育愷、吳聰義，2011；陳豐慈、王俊智、祝堅恆、張育愷，2013）的認知作業表現，以及其所誘發之事件關聯電位成分的差異。運動與事件關聯電位研究的證據積累，不僅奠定結合認知神經科學取向於運動領域之研究基礎，也促使研究者思考由不同腦功能儀器直接探討運動與大腦關聯之可能。

其中，非侵入式的磁共振造影（magnetic resonance imaging, MRI）儀器因擁有高空間解析度與尚可之時間解析度特徵，受到國際社群探討運動與大腦相關研究者之重視（張育愷、祝堅恆、王俊智、楊高騰，2013）。雖然目前國際間運動與 MRI 之相關研究已逐漸成長，然國內在該議題上之研究仍在

* 陳豐慈，國立體育大學競技與教練科學研究所博士生；張育愷，國立體育大學競技與教練科學研究所教授，為本文主要聯絡者。

初步階段。有幸的是，在科技部對心智腦科學的支持下，運動與 MRI 之研究已展露曙光，尤在近年臺灣許多團隊已建立初步成就。本文旨在提供過去國際間運動與 MRI 研究之發展進程，並分享近年筆者實驗室團隊主導之研究，最後提供部分未來可能之議題，為有興趣於運動與 MRI 的研究者提供後續進行探究時之參考依據。

二、運動與 MRI、fMRI 之開創與當代研究

運動與 MRI 的相關議題上，其「運動」始於對「健身運動 (exercise)」的探究。有別於「競技運動 (sport)」此追求運動員卓越表現與身體極限的身體活動，健身運動係指有計畫性、結構性及反覆性的身體動作，而其目的是維持或達到一種或多種身體適能 (physical fitness) 之效益。

建立在認知功能與大腦因老化而有所衰退，以及健身運動訓練是促進認知功能的有效方式等基礎，Colcombe et al. (2003) 首次以 MRI 取向探討健身運動、老化與大腦間之關聯。具體而言，該研究團隊發現，年齡增加與老年人多個腦區白質與灰質之密度減低有顯著相關 (如：前額葉、頂葉及顳葉)。有趣的是，高心肺適能之老年人在前額葉、頂葉及顳葉的灰質密度損失率，以及前腦與後腦區域的白質損失率皆呈現出顯著減少，意即心肺適能與改善因年齡所導致的大腦流失容量有正向關聯。該研究開啟了後續以 MRI 取向探討健身運動、老化，以及大腦結構的新思維。

有鑑於該開創研究僅以橫斷式設計探討健身運動與大腦結構之關係，該研究團隊於隔年進一步結合橫斷式與縱貫式兩階段實驗設計，並採用功能性磁共振 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 的分析技術，探討老年人的心肺適能與認知功能過程中大腦活化之情形 (Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004)。結果顯示，無論在橫斷式或縱貫式設計，相較於低心肺適能組，高心肺適能組老年人在行為上展現較佳之抑制行為衝突表現。此外，高心肺適能組的老年人亦發現在如前額葉、頂葉此與空間注意力、記憶有關的特定腦區呈現較高的活化狀態，而在前扣帶皮質此與反應衝突、監控之腦區呈現較低的活化。該研究結果意味著心肺適能者與認知功能之正向關聯，而此效益可能係與高心肺適能者在注意力網絡展現較高的補償機制，以及增加抑制監控之效率有關。

為提供當前國際間有關健身運動與 MRI 研究之現況，張育愷等 (2013)



首次以中文回顧自 2003 年起相關健身運動與 MRI 之國際文獻。具體而言，該綜評將過去研究區分為橫斷式與縱貫式設計兩類別，並分別進行身體適能、心血管適能、大腦灰質與白質、特定腦區等變項間的關聯探討。橫斷式研究方面之回顧後發現，心肺適能無論在健康族群（一般大眾）或特殊族群（停經婦女、阿茲海默症、或多發性硬化症患者）多呈現與大腦結構之正面關係。此外，心血管適能亦對海馬回與白質完整性等特定腦區有正面關聯。另一方面，縱貫式研究則發現，心血管適能可增加前額葉與額葉腦區的灰質與白質密度，其研究亦提供心血管適能與提升神經增生、神經存活的證據。整體而言，該些當代研究顯示，健身運動與大腦可塑性的關聯，並進一步提供可將運動視為改善認知、大腦功能調節因子之證據。

三、近期運動與 MRI 之研究

目前筆者所領導的實驗團隊已進行數個運動與 MRI 的相關研究，以下將針對近期兩篇研究進行簡述與分享（Chang, Tsai, Wang, & Chang, 2015; Li et al., 2014）。

Li et al. (2014) 首次以 fMRI 取向探討急性健身運動對工作記憶影響之研究。該研究是以 N-back 工作記憶測驗作為認知功能表現的指標，並搭配 fMRI 偵測因作業所誘發之大腦活化差異，藉以探討急性健身運動是否能影響大腦功能。研究結果發現，急性健身運動增加與調節工作記憶力有著正向關聯之腦區，如右腦前額皮質腦回、右腦舌腦回，以及左腦梭狀腦回等區域的大腦活化。此外，急性健身運動亦降低如前扣帶皮質、左腦前側前額腦回，以及右腦旁中側小葉等此與反應衝突有關的大腦活化。該研究以促進大腦功能之基礎下，提供急性健身運動益於認知作業表現之可能闡釋。

有別於以急性健身運動角度探討認知表現時大腦活化之影響，另一篇研究則是聚焦在以 MRI 之擴散張量磁共振造影（diffusion tensor imaging, DTI）取向，探討長期競技運動訓練與白質完整性之關聯（Chang, Tsai, et al., 2015）。具體來說，該篇研究以橫斷式方式比較專業田徑選手、菁英武術選手，以及一般健康但未參與規律運動訓練者在基底核白質完整性的差異，藉以瞭解不同競技運動型態在特定大腦結構之差異。結果發現，相較於一般健康成年人，兩組專業選手在基底核腦之蒼白球內核展現出較低的各項異性分數（fractional anisotropy, FA），以及較高的擴散係數（mean diffusivity, MD），不

過兩競技運動型態組間則無差異。這結果意指無論何種訓練型態，高強度訓練能夠正向影響特定基底核之白質完整性。該研究結果為長期競技運動訓練與大腦結構之關聯提供參考依據。

四、未來研究發展之方向

有鑑於國內使用 MRI 或 fMRI 取向探討運動與大腦之研究仍屬初步，以及其相關研究議題所提供另類大腦詮釋之有利方向，未來運用此取向進一步探究係有其重要性。未來研究或可建立在目前運動與認知功能在行為或事件相關電位已經或仍須探討之方向進行。以下內容是以筆者實驗團隊所主導的議題：不同健身運動型態對認知功能的影響、健身運動劑量反應與認知功能的關係，以及健身運動對孩童、或特殊族群等三個方向進行分享，或可提供後續有興趣於 MRI 或 fMRI 之學者之未來研究方向。

(一) 不同健身運動型態對認知功能的影響

過去研究在健身運動型態之選取上多是以有氧健身運動為主軸，然不同類型之健身運動對於認知功能之結果仍未明確。近年，實驗團隊已以急性阻力健身運動 (resistance exercise) 之角度探討其對認知功能之影響 (Chang & Etnier, 2009a; 陳豐慈、張育愷, 2012)，並發現急性中等強度之阻力健身運動能促進多種層面之認知功能提升，為不同型態健身運動與認知功能之關聯提供基礎。

其後，Chang, Pesce, Chiang, Kuo, and Fong (2015) 亦由事件關聯電位之視角探究急性飛輪健身運動此種團體性與具有自我調控之複合健身運動對認知功能及其誘發之神經電反應之影響。該研究招募 30 名籃球選手為實驗對象，並在進行健身運動或控制情境後，執行注意力網絡作業 (attention network task)，作業期間並同時收取事件關聯電位之訊號。結果發現，相較於控制組，運動組展現較大的 P3 振幅，意即經急性健身運動後，參與者可增進大腦注意力投入資源於特定作業中。這結果進一步支持不同運動型態對認知功能與大腦神經電位活化之效益，且為不同健身運動型態探討大腦功能提供在議題與實驗設計上參考。

(二) 健身運動劑量反應對認知功能的關係

雖然當前許多證據支持健身運動對認知功能的正面影響，然在劑量反應研究之證據仍然有限，亦即在獲知促進認知功能的最佳健身運動處方仍未釐



清。目前本實驗團隊已對該議題進行系列性探討。例如：探討不同阻力健身運動強度與認知功能表現之劑量反應，並發現強度與簡單反應時間呈現線性相關，而與高階認知功能上則呈現倒 U 字型的關係 (Chang & Etnier, 2009b)。近年 Chang, Chu, et al. (2014) 亦以不同時間介入進行劑量反應之探討，研究結果發現：相較於無運動、20 分鐘，以及 55 分鐘等運動情境，20 至 30 分鐘之中等強度有氧健身運動呈現最佳之認知促進效益。然而，該些研究目前僅聚焦在部分健身運動處方成分 (如：強度、時間)、特定族群 (如：年輕、老年族群) 或特定認知功能範疇 (如：抑制功能)，對於未來建立其他健身運動處方成分 (如：時期、頻率)、或特定認知功能範疇 (如：記憶、轉換) 仍有許多探究之空間。此外，該些健身運動處方之建立是否能夠建立在大腦機制之基礎，仍須日後結合 MRI 與 fMRI 儀器一同探究方可達成。

(三) 運動對孩童族群、特殊族群的影響

過去研究在實驗對象的選取多以成年或老年族群為主要聚焦，使得在族群選取上有其局限。為進一步探討，本實驗團隊已針對孩童族群與特殊族群作為對象進行探究。如 Chang, Tsai, Chen, and Hung (2013) 進行一項孩童參與 8 週足球訓練與事件關聯電位的研究。結果發現，參與足球此複合性健身運動之孩童在認知行為表現的反應時間與正確率皆較佳。此外，介入後之孩童亦展現出較大的 P3 振幅，以及較短的 P3 潛伏時間，亦即 8 週健身運動介入課程可提高孩童之注意力資源配置與對刺激評估與處理之速度。這研究進一步提供，運動對於成人族群的正面效益可延伸至孩童族群上。

另一方面，本實驗團隊亦對注意力不足過動症 (attention deficit hyperactivity disease, ADHD) 與安非他命成癮症患者此兩種特殊族群進行慢性與急性健身運動之探究。研究結果發現，即使是具有 ADHD 特徵之孩童族群，其身體適能與認知功能，甚至神經電反應活化間仍有所正面相關性，意即健身運動頻率越高與較佳的認知功能有關 (Chang, Hung, Huang, Hatfield, & Hung, 2014; Hung et al., 2013)。而急性健身運動亦能改善安非他命患者降低吸食安非命命的渴望程度，並且促進對於毒品抑制在行為上與神經電反應活化層面上 (Wang, Zhou, & Chang, 2015)。這些研究將過去所發現之健身運動效益再由成年、孩童族群，延展至特殊族群，而該些議題並成為運動與認知功能領域中最前沿議題之一。這些議題之發展或許提供未來以 MRI 或 fMRI 進行研究之探索方向。

五、結語

過去有關運動與認知功能的研究已透過行為表現、事件關聯電位等方式進行相關大腦功能的推論與探討。有鑑於 MRI 或 fMRI 取向可提供詮釋大腦之另類依據，採用此取向進行探究已成為國際間所重視之方向，然在國內相關研究仍屬於初步階段。期望透過本文所提供之內容分享，使有興趣之後續研究者以 MRI 與 fMRI 取向探討運動、認知功能，以及大腦之可能性，並促使更新研究知識的誕生。

誌謝

感謝科技部專題研究計畫 (NSC 102-2420-H-179-001-MY3) 對本文稿進行撰述時之支持。

參考文獻

- 王俊智、陳豐慈、齊璘、張育愷 (2012)。〈急性健身運動時對威斯康辛卡片分類測驗之影響〉。《大專體育學刊》，14 卷 3 期，頁 75-84。
- 張育愷、吳聰義 (2011)。〈急性健身運動對認知功能的影響：事件相關電位的文獻回顧〉。《體育學報》，44 卷 1 期，頁 1-28。
- 張育愷、祝堅恆、王俊智、楊高騰 (2013)。〈以磁共振造影取向探討身體活動與神經認知功能老化：回顧與展望〉。《教育心理學報》，45 卷 1 期，頁 83-102。
- 陳豐慈、張育愷 (2012)。〈阻力健身運動對老人認知功能影響之回顧〉。《臺灣運動心理學報》，12 卷 2 期，頁 37-56。
- 陳豐慈、王俊智、祝堅恆、張育愷 (2013)。〈急性有氧健身運動對計畫相關執行功能之影響〉。《體育學報》，46 卷 1 期，頁 45-54。
- Chang, Y. K., Chu, C. H., Wang, C. C., Wang, Y. C., Song, T. F., Tsai, C. L., & Etnier, J. L. (2014). Dose-response relationship between exercise duration and cognition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(1), 159-165. doi: 10.1249/MSS.0000000000000383.
- Chang, Y. K., & Etnier, J. L. (2009a). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10, 19-24. doi: 10.1016/j.psychsport.2008.05.004.
- Chang, Y. K., & Etnier, J. L. (2009b). Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31, 640-656. doi: 10.5297/ser.1603.005.
- Chang, Y. K., Huang, C. J., Chen, K. F., & Hung, T. M. (2013). Physical activity and working memory in healthy older adults: An ERP study. *Psychophysiology*, 50(11), 1174-1182. doi: 10.1111/psyp.12089.



- Chang, Y. K., Hung, C. L., Huang, C. J., Hatfield, B. D., & Hung, T. M. (2014). Effects of an aquatic exercise program on inhibitory control in children with ADHD: A preliminary study. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29(3), 217-223. doi: 10.1093/arclin/acu003.
- Chang, Y. K., Pesce, C., Chiang, Y. T., Kuo, C. Y., & Fong, D. Y. (2015). Antecedent acute cycling exercise affects attention control: An ERP study using attention network test. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-13. doi: 10.3389/fnhum.2015.00156.
- Chang, Y. K., Tsai, J. H., Wang, C. C., & Chang, E. C. (2015). Structural differences in basal ganglia of elite running versus martial arts athletes: A diffusion tensor imaging study. *Experimental Brain Research*, 233(7), 2239-2248. doi: 10.1007/s00221-015-4293-x.
- Chang, Y. K., Tsai, Y. J., Chen, T. T., & Hung, T. M. (2013). The Impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: An ERP study. *Experimental Brain Research*, 225(2), 187-196. doi: 10.1007/s00221-012-3360-9.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(2), 176-180. doi: 10.1093/gerona/58.2.M176.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness: Recent findings and future directions. *Journal of Molecular Neuroscience*, 24(1), 9-14. doi: 10.1385/JMN:24:1:009.
- Fong, D. Y., Chi, L. K., Li, F., & Chang, Y. K. (2014). Endurance exercise and Tai Chi Chuan benefit the task-switching aspect of executive function in older adults: An ERP study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6. doi: 10.3389/fnagi.2014.00295.
- Hung, C. L., Chang, Y. K., Chan, Y. S., Shih, C. H., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2013). Motor ability and inhibitory process in children with ADHD: A neuroelectric study. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(3), 322-328. doi: 10.1016/j.jpsycho.2010.06.054.
- Li, L., Men, W. W., Chang, Y. K., Fan, M. X., Li, L., & Wei, G. X. (2014). Acute aerobic exercise increases cortical activity during working memory: A functional MRI study in female college students. *PLoS ONE*, 9(6), e99222. doi: 10.1371/journal.pone.0099222.
- Wang, D. S., Zhou, C. L., & Chang, Y. K. (2015). Acute exercise ameliorates craving and inhibitory deficits in methamphetamine: An ERP study. *Physiology and Behavior*, 147, 38-46. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.04.008.