

# 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\*

張育愷 祝堅恆 王俊智 楊高騰

國立體育大學  
競技與教練科學研究所

許多研究指出，身體活動在減緩因年齡導致之認知功能衰退扮演重要的角色；其中，以認知神經科學取向探究身體活動、認知功能及大腦的關連，已成為國際間研究最為新穎的主流發展之一。本文之目的係以磁共振造影取向之研究為主軸，整理與分析國際間在身體活動、認知功能老化及大腦結構的研究成果。結果發現，身體活動對於大腦有其正面效益，而近十年國際間對該議題已採用多元方向，包括橫斷式與縱貫式之流行病學與實驗研究等進行探究。具體而言，研究可依據變項或分析方式區分為身體適能、心血管適能、灰質與白質、神經聯繫、特定大腦結構或中介分析等方向探討。為達到與國際間研究之接軌，國內研究者應重視當前跨領域研究發展的趨勢，並建議可從身體適能的次成分、競技與健身運動型態、認知功能與測驗的選擇、調節因子、以及更嚴謹的研究設計等方向作進一步探究。

**關鍵詞：身體適能、執行功能、結構性磁共振造影、認知神經科學、健身運動心理學**

65 歲以上的老年人已成為人口發展最快的族群之一 (Hutton, 2008)。根據行政院經濟建設委員會統計，臺灣 2008 年度 65 歲以上的老年族群數為 239.7 萬人，佔總人口比率的 10.4%，此比率係指臺灣已邁入高齡化社會 (aging society) (佔總人口之 7%)。尤為甚者，根據該委員會的推估，臺灣 2056 年之老年族群數會急速增加至目前的三倍，總人口比率亦會增加至 37.5%。這比率不僅高於高齡社會 (aged society) (佔總人口 14%) 之指標，更高於超高齡社會 (super-aged society) (佔總人口 20%) 指標甚多。然而，預期壽命 (life expectancy) 的延長，並未相應著老年人健康品質的提昇。事實上，半數以上的老年人承受至少一項與年齡相關之身體或心理疾病困擾 (Standage & Duda, 2004)。

\*

1. 本篇論文通訊作者：張育愷，通訊方式：yukaichangnew@gmail.com。

2. 致謝：本論文承國科會專題研究計畫 (101-2628-H-179-002-) 之支持，特此致謝。

3. 致謝：本論文“磁共振造影與其衍生技術”部份承中央大學認知神經科學研究所張智宏副教授審閱，特此致謝。

隨著年齡增加之老化現象不僅呈現在身體結構與功能方面，其對於認知功能亦有負面之影響（Spirduso, Francis, & MacRae, 2005）。此類與老化相關之認知衰退現象被稱之為認知老化（cognitive aging）或認知衰退（cognitive decline）。例如，除字彙與口語知識等類屬晶體智力（crystallized intelligence）的認知能力外，其它屬流體智力（fluid intelligence）的認知功能，如推理、記憶、面孔再認、或文字回憶等，於 20 歲時為最高峰，其後即隨著年齡增加而逐年減退（Park et al., 2002; Salthouse, 2003a, 2003b）。隨年紀增加而衰退的現象亦發現在如：側前額皮質（lateral prefrontal cortex）、海馬迴（hipocampus）、尾狀核（caudate nucleus）、及小腦半球（cerebellar hemispheres）等大腦組織上（Park & Reuter-Lorenz, 2009），此現象被稱之為大腦組織凋零（apoptosis）。研究已發現這些認知衰退與大腦組織凋零與阿茲海默症（Alzheimer's disease）、血管型失智症（vascular dementia），甚至是其他種類失智症（dementia）有顯著關聯（Erickson & Kramer, 2009），並視為成功老化（successful aging）最大的威脅因素之一（Park & Reuter-Lorenz, 2009）。

幸運的是，當代研究發現認知功能衰退與大腦組織凋零並非全然不可逆，有許多生活因子（lifestyle factors）可延緩特定認知功能與大腦組織的衰退；在適當的介入下，甚至可能維持與改善某些功能或結構；換言之，大腦是有其可塑性（意即大腦可塑性 brain plasticity）（Kramer & Erickson, 2007; Kramer, Erickson, & Colcombe, 2006）；這些生活因子包括：智力相關活動的參與、營養、社會投入（social engagement）及健身運動（exercise）（Kramer & Erickson, 2007）；而其中，由於健身運動對身體生理功能、疾病，以及心理健康等諸多額外的效益下，以跨領域角度探討健身運動、認知功能，以及大腦組織的相關議題探究，已成爲當代研究的主流趨勢之一（Colcombe et al., 2006; Erickson, 2011; Kramer et al., 2006）。

健身運動與認知功能的研究始於，Waneen Spirduso 1975 年的經典研究（Spirduso, 1975）。該研究者發現，雖然老年族群整體的反應時間比年輕族群慢，然經常參與運動的老年組不但快於不參加運動的老年組，其與不參與運動的年輕組亦並無差別，意謂著運動可能有益於減緩年齡相關的認知功能衰退。隨後 40 年間，健身運動與認知功能已被大量且多樣化的方式探究。以流行病學（epidemiology）角度而言，學者已從橫斷式（Buchman, Wilson, & Bennett, 2008）或隨機控制試驗（Colcombe & Kramer, 2003; Smith et al., 2010）等型態的實證或回顧性研究，支持健身運動對於認知功能的正面助益，其建議等級（grades of recommendations）與證據水準（levels of evidence）亦高（張育愷、洪巧菱，2010）。以實驗室爲基礎所進行的人體研究而言，研究已由早期聚焦於簡單反應的認知作業轉換至以神經心理測驗（neuropsychological assessment）測量高級認知功能，執行功能（executive function）的研究（Chang & Etnier, 2009a, 2009b）。許多學者亦從腦波（brain wave）或事件相關電位（event-related potential）等神經電測量（neuroelectric measurement）的角度，探索健身運動對認知功能在大腦內隱的歷程（王俊濠、蔡佳良，2011；洪聰敏、石恒星，2009；張育愷、吳聰義，2011；Hillman, Belopolsky, Snook, Kramer, & McAuley, 2004; Hillman, Castelli, & Buck, 2005; Hillman, Castelli, & Buck, 2006）。另一方面，亦有學者以動物實驗性研究爲主軸，探索健身運動與認知功能於細胞或分子上的機制（mechanism），這些可能機制包括大腦衍生神經滋養因子（brain-derived neurotrophic factor, BDNF）（Cotman & Berchtold, 2002; Cotman, Berchtold, & Christie, 2007; Vaynman, Ying, & Gomez-Pinilla, 2004）、第一類型胰島素生長因子（insulin-like growth factor-1, IGF-1）與血管內皮生長因子（vascular endothelial growth factor, VEGF）（Cotman & Berchtold, 2002; Lopez-Lopez, LeRoith, & Torres-Aleman, 2004），以及細胞增生與存活（cell proliferation and cell survival）（van Praag, 2008, 2009）等。

近年來，由於認知神經科學相關神經造影（neuroimaging）儀器的進程與興起，研究者開始藉由該些工具進一步探討健身運動對大腦組織的影響；其中無侵入性（noninvasive）且具有高空間解析度的磁共振造影（magnetic resonance imaging, MRI）在近年來國際研究者間尤受到重視（Colcombe et al., 2006; Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004; Erickson, 2011; Erickson & Kramer, 2009; Erickson et al., 2009; Szabo et al., 2011; Weinstein et al., in press）。相較之下，國內以磁共振造影爲研究取向探究健身運動、認知功能、大腦的研究仍處於萌發的階段。

爲此，本文旨在以磁共振造影研究的取向探討身體活動（physical activity，爲更廣範圍健身運動的概念）、認知及大腦之關聯。具體而言，本文係著重介紹與回顧近十年國際間身體活動、大腦

組織及認知老化相關之研究，尤其聚焦於身體活動與大腦組織的關聯，並以四個主軸進行探究：第一部份著重於簡介磁共振造影及其衍生之技術；其後以橫斷式研究與縱貫式研究的角度探討近十年身體活動與大腦結構的文獻回顧；最後提出未來可能的研究方向，以及對當代研究之總結。期望透過本文多重主軸之探討，提出當代國際間對該議題之研究發現、發展及趨勢，藉以提供國內研究者在日後以磁共振造影為取向從事身體活動、大腦及認知功能研究時之參考。

## 一、磁共振造影與其衍生技術

### (一) 磁共振造影之基礎

磁共振造影為一種神經造影技術，其具備著無侵入性、無輻射性、高空間解析度等多項優勢特徵；其發明者 Sir Peter Mansfield 與 Paul Lauterbur 也因該技術的研發榮獲 2003 年諾貝爾醫學獎，見證了這項技術對醫學與神經科學的重大影響。

不同於電腦斷層圖譜 (computed tomography, 簡稱 CT 或 CAT scanning) 此種以生物組織密度吸收 X 射線技術，磁共振造影為一種建立在有機體組織磁特性之神經造影。欲瞭解磁共振造影，首先必須對原子 (atoms) 構造與核磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR) 有基本認識。原子由三種粒子 (particle) 所構成，包括在原子核 (nucleus) 內之質子 (protons) 與中子 (neutrons)，以及位於核外之電子 (electrons)。當這些粒子圍繞著特定主軸 (principal axis) 恆定地運轉時 (此時亦稱為自旋 spin)，會產生一個微弱磁場。人體主要由水分子所構成，在有機體組成元素中，氫原子所佔之總數最多，其亦係帶有自旋特性的原子。為此，磁共振造影即是利用了氫原子之質子自旋所產生的微弱磁場作為信號來源，產生不同身體組織之影像。

一般狀態下，質子自旋所產生之磁場極弱而不受到地球磁場 (earth's magnetic field) 影響，其方向亦為隨機分佈。當需取得磁共振造影影像時，磁共振造影儀首先形成一個強大的磁場 (亦稱靜態場 static field)，使得原來自旋軸向隨機分佈之質子，其自旋軸向與靜態場方向以固定的夾角一致排列，並且自旋軸以此夾角繞著靜態場方向旋轉，稱為旋進 (precession)。磁場強度係以特斯拉 (tesla, T) 為測量單位 (地球磁場之強度為萬分之一特斯拉)，而磁共振造影儀一般可產生 1 特斯拉 (亦稱 1T) 或以上的強大磁場，現在已有人體研究使用 7T 至 11T 的強度 (Windischberger et al., 2010; Vedrine et al., 2008)，而在動物試驗中甚至已使用至 14T 的強度 (Gonzalez-Segura et al., 2011)。

磁共振造影儀內有一個可產生無線電波 (radio wave) 的無線電發射器 (radio frequency)。當受到無線電波的介入 (亦稱脈衝序列 pulse sequence) 後，質子旋進的轉軸產生了一個與原方向 90 度排列的新狀態，此時所有質子旋進造成的淨磁場訊號變化可被無線電探測器接收，成為具有磁共振信號 (magnetic resonance signal, MR signal) 的基本狀態。當無線電波關閉後，質子 (或氫原子) 的旋進轉軸會再逐漸回到靜態場方向 (此時亦稱為弛緩 relaxation)，並產生能量的改變。磁共振造影儀會反覆以無線電波持續重複上述的過程，並由周圍的探測器接收過程中能量的變化，再搭配梯度磁場 (gradient field) 對旋進轉軸方向變化時造成的淨磁場訊號變化進行三度空間的編碼 (spatial encoding)，最終使得磁共振造影產生三維的大腦或身體組織影像 (Banich & Compton, 2010)。磁共振造影所產生的空間解析度 (spatial resolution) 極高，可取得於小於 1 毫米結構的清晰影像。

### (二) 磁共振造影之分析

以磁共振造影形成靜態性大腦解剖的影像中 (亦稱為結構性磁共振造影 structural magnetic resonance imaging, structural MRI)，以體素為基礎的型態計量學 (voxel-based morphometry, VBM) 與擴散張量磁共振造影 (diffusion tensor imaging, DTI) 被視為兩種廣泛使用的重要技術。

VBM 為一種可以將兩個參與者組別進行體素法 (voxel-wise) 比較灰質或白質區域密度的 MRI 技術 (Ashburner & Friston, 2000)。Whitwell (2009) 指出，相較於傳統磁共振造影以視覺檢視 (visual assessment) 與感興趣結構之手動操作測量 (manual measurements of structure of interest) 等耗時的分析法，VBM 擁有簡易操作、生物學上的似真結果，以及以統計標示出不同群體間大腦解剖等優勢。具體而言，VBM 先將大腦細分為稱為體素 (voxel) 的十幾萬至數十萬個小區域，隨後測量每

個體素內灰質(或是白質)的密度,最後再透過灰質或白質的統計分析地圖(statistical analysis map, SPM),進行參與者組別間之比較(Mechelli, Price, Friston, & Ashburner, 2005)。

不同於VBM測量大腦的結構,DTI用以測量腦區間白質聯繫(connectivity)之情形。DTI的測量係建立在軸突內水分子的密度與流動的基礎而成。在一般情況下,水分子的擴散為各向同性(isotropic),意即水分子可能擴散於各種方向。然而大腦內因軸突髓鞘形成了脂質的邊界,限制了水分子的流向,導致腦中水分子呈現各向異向性(anisotropic),意即隨著軸突的方向擴散。DTI利用此各向異向性的特徵,形成白質中軸突束(axon bundles)的造影技術(Le Bihan et al., 2001)。簡言之,VBM主在分析與測量個體間灰質或白質結構之差異;而DTI則在測量各腦區間白質之聯繫情形。

## 二、身體活動、大腦結構及認知功能：橫斷式研究

### (一) 身體適能與大腦結構：健康族群

過去四十年間,許多研究已指出身體活動與延緩認知老化間之正向關聯,尤其是以身體適能(physical fitness)(更具體來說為心血管適能 cardiovascular fitness)的概念探究認知老化時,研究所得之證據更加顯著(張育愷、洪巧菱, 2010; Colcombe & Kramer, 2003; Smith et al., 2010),其研究結果亦成為探究身體適能與大腦結構的基礎。伴隨著近年來高空間解析度磁共振造影技術的進展,身體適能與大腦結構的探究逐漸蓬勃發展。

其中,Colcombe等人(2003)以結構性磁共振造影技術探討年齡與身體適能間交互關係的橫斷式研究(cross-sectional study),可視為開啓身體適能與大腦結構大門的經典先驅。該研究招募55位年齡介於55至75歲認知健康的老年人,施以測量心血管適能之最大攝氧量(maximal oxygen uptake,  $VO_{2max}$ )檢測,並以1.5T之VBM技術形成大腦灰質與白質密度之三維影像地圖。結果發現,雖然不同年齡區間的老年人在動作區與視覺區並無差異,然而大部分的大腦組織密度隨著年齡增長而降低。其中,在前額(prefrontal)、上頂(superior parietal)及中/內顳(middle/inferior temporal)皮質的灰質密度,和頂葉前區(anterior)與後區(posterior)的白質束(white matter tract)等與年齡相關的退化情形最為明顯。另一方面,當以心血管適能作進一步分析後發現,擁有高適能水準的老年人在前額葉、上頂葉及顳葉之灰質;前區束(anterior tracts)、額葉與後頂葉間橫束(transverse tracts)的白質,有較高的大腦組織密度,而這些與心血管適能有關的腦區,多是研究指出與認知退化有關的腦區,此結果提供身體適能與改善大腦退化的可能依據。尤需注意的,在控制了如酒精、咖啡、教育及高血壓等干擾因子(confounders)後,心血管適能的效益仍然存在,提高身體適能在改善特定大腦結構的獨立性(independence)。相似的結果亦呈現於其後的研究(Colcombe et al., 2004)。

Gordon等人(2008)的研究則為探究年齡、心血管適能、大腦結構、以及認知功能間之關聯。該研究共招募60位參與者,其中包括20位年輕人、心血管適能高與低的老年人各20位。不僅接受 $VO_{2max}$ 之檢測(僅老年者),所有參與者亦接受VBM,並進行一系列包括記憶廣度(Digit Span)、魏氏成人智力量表修訂版(Wechsler Adult Intelligence Scale-Revise)、威斯康辛卡片分類測驗(Wisconsin Card Sorting Test)、類別測驗(Alternate Category Test)等神經心理測驗的檢測。除此之外,由於過去研究指出教育程度可能為成功老化的影響因素之一(Czernochowski, Fabiani, & Friedman, 2008),該研究並將教育程度作為主要交互變項進行探討。在接受3T之VBM的掃描後發現,年齡、身體適能及教育程度皆會影響認知功能與特定的大腦結構。具體來說,老年人71%以上的神經心理測驗指標皆低於年輕人,而在腦區方面,老年人在顳葉、頂葉、前額葉區的灰質密度、靠近外側與第三腦室前內側區的白質密度有顯著的降低。此外,當比較不同身體適能的老年人時發現,身體適能較高組在神經心理測驗指標之表現多顯著優於較低組,而後續回歸分析亦指出身體適能與中顳區、前頂區及內額區之灰質密度呈現正相關;而教育程度則與前額葉皮質與胼胝體喙端(rostrum of the corpus callosum)之白質密度呈現正相關。

不同於實驗室性質的研究，Sen 等人（2012）以大樣本的流行病學來探究心肺適能與異常大腦結構的關聯。該研究以 715 位 60 歲以上之澳大利亞腦中風防治研究（Austrian Stroke Prevention Study）成員為主體，進行 1.5T 磁共振造影。結果發現，以預測方式取得之心肺適能與白質病變（white matter lesion）有關聯，而與白質腦實質分數（brain parenchymal fraction）無關。值得注意的是，心肺適能與白質病變的關聯僅發現於男性，意謂著性別在心肺適能與大腦結構上可能扮演的調節（moderate）角色。

上述研究顯示心血管適能對於大腦結構與認知功能之影響，然而關聯性質之統計分析無法推論大腦結構改變是否為心血管適能改善認知之原因。為釐清該限制，Weinstein 等人（in press）首次採用中介分析（mediation analysis）的取向探討身體適能、大腦結構及執行功能的關係。142 位老年人接受了 VO<sub>2</sub>max、3T 之 VBM，以及兩種神經心理測驗：Stroop 測驗（Stroop Test）與空間工作記憶（spatial working memory）。結果指出，即使控制了年齡、性別、教育水準等因素，較高心血管適能的老年人仍呈現較佳的執行功能表現。此外，心血管適能亦與包括背側前額葉皮質（dorsolateral prefrontal cortex）等多處腦區（前額皮質、動作皮質、扣帶迴 cingulate gyrus、前頂葉、顳葉）之灰質密度有正相關。值得注意的是，當進行中介分析後，不同腦區中介了心血管適能與特定的執行功能。具體而言，右內前腦迴（right inferior frontal gyrus）與前側腦迴（precentral gyrus）之灰質中介了身體適能與 Stroop 作業表現；而雙側前額葉皮質則中介了身體適能與空間工作記憶作業的正確性表現。

## （二）心血管適能、大腦結構：特殊族群

心血管適能與大腦結構的正向關聯亦可能由認知健康族群延伸至停經婦女（postmenopausal women）（Erickson et al., 2007）、阿茲海默氏症（Alzheimer's disease）（Burns et al., 2008）或多發性硬化症（multiple sclerosis）（Prakash, Snook, Motl, & Kramer, 2010）等特殊族群。

研究指出，使用荷爾蒙補充療法（hormone replacement treatment, HRT）的停經婦女可減緩因年齡相關的認知功能老化（Sherwin, 2003），然而接受長期雌激素（estrogen）介入的齧齒類動物研究則顯示相異的結果（Marriott & Wenk, 2004）。為了探討長期荷爾蒙補充療法對於認知功能的影響，以及心血管適能是否在該關係中產生調節的可能，Erickson 等人（2007）首次針對該議題進行探究。該研究招募 54 位老年且無認知損傷的停經婦女，並將之區分四組：無使用荷爾蒙療法、使用療法 10 年內、使用療法 11 至 15 年、使用療法 16 年以上。該參與者並施測 VO<sub>2</sub>max、3T 之 VBM，以及威斯康辛卡片分類測驗。結果指出，使用療法 10 年內之婦女組改善了前額皮質之灰質密度與執行功能；然而當採用療法 10 年以上者則呈現相反的結果。值得注意的是，高心血管適能不但能增進參與短期荷爾蒙療法婦女的認知功能，亦可減緩參與長期荷爾蒙療法婦女認知功能減退的現象。

Burns 等人（2008）則是著重於心血管適能、大腦結構，以及最為著名失智症（dementia）類型，阿茲海默氏症，的關聯。該研究是以當初參與堪薩斯大學大腦老化計畫（University of Kansas Brain Aging Project）成員為調查對象，並分為無失智症（nondemented）與初期阿茲海默氏症患者（early-stage Alzheimer's disease）兩組，用以比較兩組大腦組織與認知表現的差異。此外，採用線性回歸對兩組分別進行心血管適應能與大腦結構之關聯分析。結果指出，相對於無失智症組，初期阿茲海默氏症患者有較低之心血管適能，以及較少的全腦、灰質及白質容量。而當控制了年齡因素後，擁有較高心血管適能之初期阿茲海默氏症患者則保留了較多灰質與白質之容量，意謂著心血管適能對於該種失智症型態老年人之大腦結構有所保護效益。雖然該研究為首篇著重心血管適能、大腦結構及阿茲海默氏症的研究，其重要性不容忽視，然而與過去研究結果相異的是，該研究並未發現心血管適能對於一般組大腦結構的影響，該衝突的結果值得後續進一步的探討。

多發性硬化症（multiple sclerosis）為一種與自體免疫相關的神經退化性疾病（neurodegenerative disease），其特徵在於患者之中樞神經系統有去髓鞘化（demyelination）現象（Lester, Stepleman, & Hughes, 2007）。由於該種疾病通常伴隨有正常表現白質（normal appearing white matter）與正常表現灰質（normal appearing gray matter）的病症（Roosendaal et al., 2009），因心血管適能與灰質與白質之正向關係已被驗證，故成為心血管適能對多發性硬化症可能有所效益的基礎。為了驗證此假設，Prakash 等人（2010）以罹患多發性硬化症的中年患者為研究對象，並採用多種神經心理測驗，以及 3T 之 VBM 與 DTI 做認知功能與大腦結構之檢測。結果指出，擁有高心血管適能的患者

不但在訊息處理速度表現較佳，並且能保有較多的灰質容量與白質束。該結果延伸了心血管適能對於其他神經退化性疾病型態的效益，亦為提供了其他神經退化性疾病類型在未來考量心血管適能角色的可能。

### (三) 心血管適能、身體活動及海馬迴

1950 年代，H.M.在一次用以治療其嚴重癲癇而將雙側包括海馬迴 (hippocampus) 之內側顳葉 (medial temporal lobe) 的切除手術後，意外成爲了永久性失憶症 (amnesia) 的患者。後續研究發現，切除海馬迴的症狀係病人雖然仍保有正常的短期記憶 (short-term memory)，但卻無法形成新的長期記憶 (long-term memory) (Scoville & Milner, 1957; Szabo et al., 2011)。這事件使得海馬迴成爲與記憶相關最爲著名的大腦結構。近來的研究也發現，海馬迴的容量不但會隨著年紀增長而衰減 (Raz & Rodrigue, 2006)；在輕微認知損傷 (mild cognitive impairment, MCI) 的個體亦發現其減少的現象 (Mungas et al., 2005)，意謂著海馬迴與記憶功能的相關。然而，是否身體活動或心血管適能可以影響海馬迴甚至影響記憶？近來研究以不同方式探究該問題 (Erickson et al., 2009; Honea et al., 2009; Scoville & Milner, 1957; Szabo et al., 2011)。

Szabo 等人 (2011) 以路徑分析 (path analysis) 的模型探討老年人心血管適能及其決定因子 (determinants)、空間工作記憶 (spatial working memory)，以及健忘頻率 (frequency of forgetting)。結果發現，年齡、身體質量指數、性別及教育水準皆對心血管適能有直接影響，而心血管適能亦可進一步直接影響海馬迴容量，進而影響空間記憶正確性，再進而影響健忘頻率。此外，該模型除支持過去的發現外，並進一步指出，年齡與海馬迴、海馬迴與遺忘頻率、教育與空間記憶正確率等有直接影響之關聯。然而，身體活動在此模式中並無顯示與其他變項有直接或間接的關聯。

Erickson 等人 (2009) 則是以中介分析的取向探討心血管適能、海馬迴容量及空間記憶的模式。該研究中，165 位健康老年人分別進行 VO<sub>2</sub>max、3T 之磁共振造影，及空間記憶作業。如同過去研究發現心血管適能對大腦結構之正面效益，該結果指出，在控制年齡、性別、教育等干擾因子後，心血管適能仍與左、右海馬迴，以及空間記憶表現間有著正相關。進一步中介分析則發現，左海馬迴中介心血管適能與空間記憶其中的三項 (3-item) 情境；而左、右海馬迴則中介心血管適能與空間記憶中的單項 (1-item) 情境。該結果不但顯示了心血管適能、海馬迴及記憶三者間的關聯，並提供了海馬迴爲該關係中介角色的驗證。

不同於以健康老年人爲主體，Honea 等人 (2009) 延續了堪薩斯大學腦老化計畫的後續分析 (Burns et al., 2008)，並進一步地指出心血管適能、內側顳葉對初期阿茲海默氏症老年人的影響。相對於無失智症組，在初期阿茲海默氏症老年人組的結果發現，其在內側顳葉、顳葉及頂葉皮質有萎縮之現象；而心血管適能僅於初期阿茲海默氏症老年人組中，內側顳與頂葉容量有顯著正相關，意味者在有失智症傾向的老年族群中，心血管適能對於該些大腦結構的正面效應更爲顯著。值得注意的是，該研究並檢測一種與罹患阿茲海默氏症危險因子的基因，載脂蛋白 E4 (Apolipoprotein E e4 allele, ApoE e4) (Martinez et al., 1998)。然而，該研究並未支持過去 ApoE e4 爲健身運動與失智症風險調節角色之發現 (Podewils et al., 2005)。伴隨著如同 Burns 等人 (2008) 並未發現心血管適能對於無失智症組大腦結構有影響，未來研究值得後續的分析與探討。

### (四) 心血管適能與白質：DTI

不同於以 VBM 爲主的研究，Marks 與同僚系列地以 DTI 的技術探討身體適能與腦白質健全 (cerebral white matter integrity) 的關聯 (Marks, Katz, Styner, & Smith, 2010; Marks et al., 2007)。Marks 等人 (2007) 以 13 位與 15 位無罹患神經損傷之年輕與老年人，並以身體活動率分數 (physical activity rating score) 問卷預測其 VO<sub>2</sub>max。在接受 DTI 掃描後，發現非等向性指標 (fractional anisotropy, FA) 顯示，在控制年齡與性別等因素後，有氧適能仍與鉤束 (uncinate fasciculus)、扣帶 (cingulum) 此兩區有顯著正相關，並分別具有 15% 與 13% 的解釋變異率。這結果雖然顯示了有氧適能對白質健全間的正向關聯，但是有氧適能對於前額葉腦區並無特定影響，與過去研究並不相符。推測可能是由於樣本數較少與有氧適能檢測精準度有關。

爲此，Marks 等人 (2010) 進行了更嚴謹的後續研究，其不但控制了過去的限制，並增列肥胖因子與其他腦區之探究。具體而言，該研究招募 120 位社區老年人，並進行認知能力、身體檢查、VO<sub>2</sub>max，以及肥胖危險因子 (obesity risk) 之檢測。大腦結構則是採用 3T 之 DTI 技術就 FA 與平均擴散度 (mean diffusivity, MD) 做檢測。結果指出，有氧適能與左中扣帶 (left middle cingulum)

切片之 FA 有中度正相關；而肥胖因子則呈現與右後扣帶 (right posterior cingulum) 切片有負相關。據此，該研究不但顯示有氧適能與肥胖此兩因素與腦白質健全的關係，並較精確的指出兩因素對於不同扣帶區或腦半球的特定效益。

### (五) 身體活動與大腦結構

根據 Caspersen (1989) 對於身體活動的經典定義，身體活動係指由骨骼肌所產生之身體動作並且造成卡路里消耗的所有活動；而身體適能則是指能夠達成生活中身體挑戰的身體能力，其亦為執行身體活動或健身運動後之歸因 (attribute) (Buckworth & Dishman, 2002)。依據上述，身體活動與身體適能之定位有較大差異。然而由上述所談及之研究可知，探究大腦功能與認知的研究多是聚焦在心血管適能，或是由身體活動問卷所預測之心血管適能作為變項。換句話而言，相對於心血管適能，身體活動對於大腦結構與認知的影響仍未明確。為了釐清這樣的疑慮，Floel 等人 (2010) 進行了一個同時探討身體活動、心血管適能、大腦結構及記憶關聯之研究。該研究係以 75 位健康老年人為參與對象，並進行身體活動問卷 (以身體活動所消耗之總能量消耗為依據，在此亦稱為身體活動水準 level of physical activity)、聽力語文學習測驗 (Auditory Verbal Learning Test) (用以測量記憶編碼)、最大功率與乳酸階段測試 (lactate step test) (用以測量心血管適能)，以及 1.5T 之 VBM。令人驚訝的，心血管適能與記憶編碼並無顯著關聯；反之，身體活動水準，即使控制了教育、吸煙、年齡等因素後，仍與記憶編碼有正相關。另一方面，身體活動水準與前額葉、扣帶迴、枕顳區及小腦之灰質有顯著相關，其中與右前額葉與扣帶迴區域之灰質容量有高度相關。值得注意的是，該研究並同時施測 BDNF、顆粒性白血球生成素 (granulocyte colony stimulating factor, G-CSF) 兩種神經營養物質 (neurotrophins)，該物質在動物實驗中被證實為身體活動對認知功能效益可能之生物學機制。結果發現，身體活動水準與 G-CSF 有正相關。該些結果意謂著相較於心血管適能，身體活動可能與前大腦結構、記憶及神經營養物質有較佳的關聯。

相同的研究結果亦發現於後續以 226 位參與心血管健康研究-認知研究 (Cardiovascular Health Study-Cognition Study) 成員為對象，探討教育水準、身體活動與大腦結構關聯之研究 (Ho et al., 2011)。身體活動係以前兩週之身體活動型態、頻率及時間，並轉換為能量消耗的形式，並與 1.5T 之以張量為基礎的型態計量學 (Tensor-based Morphometry, TBM) 進行分析。結果指出，當控制了年齡、性別與身體活動量等因素後，教育與顯葉之灰質有正向關聯；而在當控制了年齡、性別與教育等因素後，身體活動則與延伸至頂枕連結 (parietal-occipital junction) 的放射冠 (corona radiata) 有關。由於在分析其他因素時發現，身體質量指數 (body mass index, BMI) 與身體活動、教育有所關聯，故進行了後續分析，結果亦發現了身體質量指數與大腦結構有關。簡言之，身體活動與教育水準可能直接影響大腦結構；此外，身體活動與教育水準亦可能透過減低身體質量指數的方式，正向地影響大腦結構。

雖然上述研究顯示身體活動與大腦結構的正向關聯，其關聯甚至高於心血管適能，然必須注意的，亦有研究不支持身體活動對大腦結構或認知的影響 (Szabo et al., 2011)。有鑑於以身體活動為主軸探究大腦結構的研究較少，以及身體活動受到其他干擾因素的影響較大，目前對於身體活動所扮演的角色推論還有待後續實證研究的累積後方可證實。

## 三、身體活動、大腦結構及認知功能：縱貫式研究

### (一) 身體活動、大腦結構：前瞻性流行病學

透過上述橫斷性設計的研究，研究者可以瞭解心血管適能高低或身體活動之參與程度對大腦結構或認知的關聯。研究亦可透過橫跨多年期設計之前瞻性研究 (prospective study)，探究身體活動對於認知功能的累積效應 (Hamer & Chida, 2009)。基本上，前瞻性研究設計是將某特有屬性的群體，劃分為暴露於某一特定因子的組別或未暴露於某一特定因子的組別 (如參與身體活動的有無)。而後，再觀察與追蹤某一定時間後，對某一特定健康問題 (如失智症的發生) 在兩組內於發病程度的不同情況。由於前瞻性研究多是採用於大型研究，其所追蹤的時期亦由數月到數十年不

等的長時間，故研究多屬流行病學的範疇，其測量多以問卷方式調查身體活動量，較少採用心血管適能 (Thom & Clare, 2011)。

Podewils 等人 (2005) 以 3375 位參與心血管健康研究 (Cardiovascular Health Cognition Study)，且並未罹患失智症的成員為對象，進行身體活動、大腦組織，以及失智症的探究。身體活動係以問卷取得個人於基準值 (1989 至 1990 年間)，以及 5.4 年後參與 15 種不同運動在兩個禮拜內參與時間與頻率，並轉化為能量消耗與不同活動型態兩種形式。其他另還包括 ApoE e4 與磁共振造影的測量。結果顯示，年紀較大、低教育水準與帶有 ApoE e4、較低的認知表現，以及白質相關疾病有關。然而，在未帶有 ApoE e4 組，無論在以能量消耗或以不同活動型態等水準的分析，高身體活動量皆與降低所有導致之失智症 (all-cause dementia)、阿茲海默氏症，以及血管型與混合型失智症 (vascular and mixed dementia) 等發生率有關。

五年後，Erickson 等人 (2010) 就參與心血管健康研究的成員進行基準值後 (1989 至 1990 年間)，第 9 年與 13 年進一步做後續追蹤。該研究主要以過去一週內行走多少條街道為主要身體活動的指標 (其範圍落於 0 至 300 條街道，平均值為 56.3 條街)；成員亦在 1992 至 1994 年間與 1998 與 1999 年間接受兩次 1.5T 之 VBM 測量，並於基準值後 13 年追蹤是否罹患失智症。在控制了多個身體變項，甚至白質損傷等干擾因子後，結果指出，身體活動與量測準值 9 年後之前額、枕葉、內嗅 (entorhinal) 及海馬迴等區域的灰質有顯著關聯，而過去一週內行走 72 條街道 (大約為六至九英哩) 為基準值測量 9 年後大腦組織改善的關鍵點。值得重視的，與身體活動所正相關於內前腦迴 (inferior frontal gyrus)、海馬迴，以及輔助動作區 (supplementary motor area) 與減低基準值測量 13 年後發生失智症的危險有顯著關係。該研究隸屬於身體活動對認知與大腦之劑量反應關係 (dose-response relationship)。

近期，Vidoni 與同僚延續了堪薩斯大學腦老化計畫 (Burns et al., 2008; Honea et al., 2009)，並進行於基準值兩年後的追蹤 (Vidoni, Honea, Billinger, Swerdlow, & Burns, in press)。以基準值的結果發現，罹患初期阿茲海默氏症個體組的心血管適能與減少失智症嚴重程度顯著關聯；而在無失智症組中則發現，心血管適能則與減緩認知衰退趨近顯著水準。以兩年追蹤研究的結果發現，罹患初期阿茲海默氏症個體的心血管適能減低與內側顳葉損傷有顯著相關，而無失智症組則發現與額葉與次皮質損傷有關。該研究不但部分延續了過去研究的發現 (Burns et al., 2008; Honea et al., 2009)，並提供了心血管適能的程度對形成阿茲海默氏症顯著因素的可能。

### (二) 身體活動、大腦結構：長期運動介入的效果

雖然過去已有利用路徑分析或中介分析等統計方式的研究 (Erickson et al., 2009; Szabo et al., 2011) 或者是以縱貫式觀察的前瞻性研究，提供闡釋因果關係的可能。然而 Erickson 等人 (2009) 指出，透過隨機控制試驗設計 (randomized controlled trial study, RCT)，方能對因果關係提供較強韌的驗證。隨機控制試驗法是隸屬於最高層級研究設計之列，在該設計中參與者隨機分配至實驗組或對照組中，並進行嚴謹的實驗操弄介入，其目的是以瞭解獨變項與依變項間改變的因果關係，進而確立影響兩者間之機制。

目前以隨機控制試驗設計來探究心血管適能或身體活動對大腦結構僅有數篇 (Colcombe et al., 2006; Erickson et al., 2011; Ruscheweyh et al., 2009)。在 Colcombe 等人 (2003) 以橫斷式設計並發現心血管適能對於大腦組織正向關聯結果之影響後，Colcombe 等人 (2006) 進一步就心血管適能對大腦結構做驗證。該研究招募 20 位年輕人為磁共振造影的控制組，並另招募 59 位健康老年人隨機分派至介入六個月的有氧健身運動訓練組或伸展的對照組。有氧訓練係以漸進至 60% 至 70% 心跳儲備率 (heart rate reserve)、每週三次，一次一小時的介入。心肺適能與 3T 之 VBM 則分別於介入前與後做檢測。結果發現，相對於對照組，長期有氧健身運動訓練組同時增加了前額葉與顳葉皮質的灰質與白質。該結果使得心肺適能對神經增生與存活 (neuron proliferation and survival) 之可能性提供依據。

Erickson 等人 (2011) 亦以隨機控制試驗進行探究，並著重於海馬迴與其相關的空間注意力作業。該研究中，有氧健身運動介入以漸進至 60% 至 70% 心跳儲備率，每次 40 分鐘，為期一年的設計進行施測；而心肺適能與磁共振造影則分別於介入前、六個月及一年後做檢測。結果發現，健身運動老年人在介入一年後分別增加 2.12% 與 1.97% 左、右側之前側海馬迴 (anterior hippocampus)；反之控制組則平均下降 1.4%，而海馬迴容量有與空間記憶表現間有顯著正相關。



此外，當以心血管適能的增加程度與海馬迴容量作相關分析時，亦發現兩者間顯著的正相關。值得注意的是，該研究亦發現有氧健身運動組不僅提升 BDNF，此種與中介神經增生的神經營養物質；此外，其亦與海馬迴容量有關，意謂著心血管適能及健身運動所誘發之 BDNF，可能為改善大腦結構與認知功能的機制。

不同於上述以單一強度為主軸的研究，Ruscheweyh 等人（2009）以不同強度之健身運動探究六個月介入對大腦組織與記憶功能影響。該研究將 62 位健康老年人隨機區分為中等健身強度運動組、低強度健身運動組，以及無運動的控制組，並將其做情節性記憶（episodic memory）、身體活動問卷、有氧測試，以及 1.5T 之 VBM 等檢測。結果發現，身體活動可改善老年人情節性記憶的表現。此外，無論是中等或低健身運動組，整體身體活動量皆與前額與扣帶迴皮質的灰質容量，以及 BDNF 水準有顯著正相關。值得注意的，該兩強度組間並無差異，且獨立於身體適能，換句話而言，長期性低強度的健身運動介入對於大腦結構與認知功能仍有效益。該結果若獲後續研究的複製，則可顯示增進大腦結構與認知功能的最小劑量（dose），對未來相關健身運動處方的建立是有其重要之處。

#### 四、未來研究方向

雖然近十年間整合身體活動、認知及大腦結構的研究已有較大發展，然而相對於以行為方式探討身體活動與認知功能的研究，以磁共振造影為研究取向探究身體活動與大腦結構關聯的研究仍屬初步發展的階段。此外，相對於近年來國際間對該議題的探究，國內研究者則處於蟄伏時期，在後續研究尚有許多發展空間。以下提供部分未來研究可能研究的方向，期望能夠提供國內研究者在後續探討該議題時的參考。

##### （一）身體活動次類別的擇選

過去研究多以身體適能，具體而言為心血管適能，作為研究主軸，然而必須注意的是，心血管適能僅為健康相關身體適能（health related physical fitness）其中的一個成分，其他成分尚包括肌力、肌耐力、柔軟度、以及身體組成。而該些成分對於認知功能的潛在助益已逐漸被重視。例如，Colcombe 與 Kramer（2003）的經典統合分析（meta-analysis）即指出，有氧健身運動對於認知功能有顯著之中等效應（效果量為 0.41），然若混合心血管與阻力健身運動的介入後，其對於認知功能之效應更佳（效果量為 0.59）。不僅混合訓練的效果，在 Liu-Ambrose 與 Donaldson（2009）提出單獨阻力健身運動對促進老年人認知功能可能扮演之角色後，Chang、Pan、Chen、Tsai 與 Huang（2012）進一步就當代阻力健身運動與老年人認知功能進行綜評分析，發現兩者間具正向關聯。然而，對於阻力健身運動單獨或混合其他運動對大腦結構的研究則尚未完備。

此外，除了健康相關身體適能，身體適能尚可區分為技能相關體適能（skill-related physical fitness），其包括平衡、協調、反應時間、敏捷，以及爆發力等成分。該些技能相關的身體適能成分是否與認知或是大腦結構有所關聯，亦值得探究。Voelcker-Rehage、Godde 與 Staudinger（2010）執行首篇探討不同成分之健康與技能相關身體適能對於老年人認知功能的研究，並採用功能性磁共振造影（functional magnetic resonance imaging, fMRI）探討腦活動之情形。結果指出，不僅是心血管適能、肌力，甚至是速度、平衡、協調及柔軟度，皆與認知功能作業與大腦活動有顯著正向關係，不過其亦有其分屬性。例如，心血管適能對於執行控制過程有正相關；而技能相關體適能則同時與執行功能與知覺速度作業有正相關；在大腦功能方面，健康相關體適能與額顳葉之網絡有關，而技能相關體適能則與額頂葉（fronto-parietal network）網絡有關。對於健康與技能相關身體適能影響不同大腦功能的結果，暗示不同型態之健身運動，甚至是不同競技運動（sport）型態，可能對於大腦結構有所影響。事實上，近年來已有研究指出，與無競技運動訓練組相較下，經過長期競技運動訓練的運動員其皮質之灰質容量（Jacini et al., 2009）有顯著不同。Wei、Zhang、Jiang 與 Luo（2011）另指出有無參與運動訓練之運動員在左顳上溝（left superior temporal sulcus）、右眼眶額葉皮質區（right orbitofrontal cortex），以及右旁海馬迴（right parahippocampal gyrus）之皮質顯著增厚；此外，右旁海馬迴還與訓練經驗有相關，意謂著競技運動參與之經驗（年資、技

術)與大腦結構有所關聯。這些發現於年輕運動員的結果是否可延伸至老年人,可視為未來值得注意的方向。

不同於細分身體適能的成分,研究亦可能以身體活動的角度探討。如同前節所述,身體活動與身體適能之定義差距較大,所採用之量測方法亦有所不同。一般而言,身體活動常使用於大規模之流行病學,而採用之測量方式多以問卷調查法。然而,過去對於身體活動的探究仍數少數,且使用之分析方式亦有所不同。例如,有直接以身體活動率分數作分析(Marks et al., 2007),部分研究以身體活動內容作能量消耗之轉化(Ho et al., 2011),或心血管適能之轉化(Sen et al., 2012),該分歧使得研究結果相互間之比較有所困難。另外,亦有研究發現身體活動並無法影響大腦結構(Szabo et al., 2011),這樣少數且分歧的結果值得未來再做進一步的驗證。

### (二) 認知功能的擇選

認知功能為人類訊息處理流程的統稱,其內容可包括知覺、學習、記憶、推理、問題解決、決策,以及溝通等範疇(Herrmann, Yoder, Gruneberg, & Payne, 2006),其所含括之類別較廣。然經文獻整理與分析後發現,以磁共振造影為取向之身體活動研究多聚焦在認知功能的記憶主題(Gordon et al., 2008; Erickson et al., 2009; Erickson et al., 2011; Floel et al., 2010; Ruscheweyh et al., 2009; Szabo et al., 2011; Weinstein et al., 2012),而其他認知功能的類別的探討仍有其不足,建議未來研究可就其他類別之認知功能作探究。

為了檢驗心血管適能對於不同型態認知功能的影響,Colcombe與Kramer(2003)將認知功能區分為速度、空間、控制,以及執行控制等四種類別。在進行統合分析後,Colcombe與Kramer(2003)指出,心血管適能對於四種認知類別皆有所效果(整體效果量為0.48),而心血管適能對於執行控制類別則有最佳的效益(效果量為0.68)。該研究的出版促使其後相關身體活動與認知功能的研究多著重於執行控制的探究。然而,Etnier與Chang(2009)指出,過去身體活動與執行功能的研究,多著重於抑制型態的執行功能,其他執行功能之次類別,如計畫、轉換、協調以及更新,應在後續研究有所看重。Etnier與Chang(2009)進一步分析比較神經心理領域與身體活動的相關研究在使用認知作業的情況,並發現身體活動相關研究中鮮少運用神經心理領域使用率最高的29種測驗,故後續研究可對於其他神經心理學領域常用之測驗做進一步的探討。

相同的情形亦發生在身體活動與大腦結構的研究。雖然許多研究已採用多種神經心理測驗來探討身體活動、大腦結構與認知功能間的關聯,然而多數研究僅採用少數神經心理測驗、或僅探討特定之大腦結構。此外,許多大腦結構與認知功能的關係仍有所爭議,例如Van Petten(2004)的統合分析指出,海馬迴與記憶能力之間呈現無相關甚至為負相關。幸運的是,部分身體活動的研究採用了中介分析的取向,探討特定大腦結構(如海馬迴、右內前腦迴及前側腦迴等)擔綱身體活動與認知功能間可能的機制,並發現的正面的結果,為後續探究提供了基礎。簡而言之,後續研究可探究執行功能的次類別,並採取神經心理領域普遍使用來檢測執行功能的作業、驗證特定大腦結構與認知功能的關係,以及採用中介分析,來探究身體活動、大腦結構與認知功能間的關聯。

### (三) 老年人認知狀態、其他干擾或調節因子的探究

根據本研究回顧,大部分身體活動與大腦結構的研究係著重於認知健康的老年人,然而針對較少針對罹患神經退化疾病的老年人作探討。必須注意的是,失智症、阿茲海默氏症,以及其他神經退化性疾病發生率常伴隨著年紀的增長而增加。由於身體活動對該些特殊族群的初步正面效益,未來可針對該些特殊族群作後續之探究。

此外,雖然許多大型研究在驗證身體活動與大腦結構時有納入干擾因子的考量,然而亦有許多研究並未對干擾因子作控制。有鑑於該些干擾因子可能造成身體活動與大腦結構關係之改變,建議未來研究可針對些因子做控制。例如,許多研究指出,帶有ApoE e4的參與者罹患失智症的機會較高,而身體適能可以減低該些參與者節罹患失智症的機會(Podewils et al., 2005; Smith et al., 2011),意謂著身體活動在基因與失智症上扮演的調節角色。然而,是否該調節角色藉由改變大腦結構而產生?該問題仍須後續研究的探究方得知。此外,部分研究亦發現性別在身體活動與大腦結構的調節影響,由於荷爾蒙補充療法已發現可減緩停經婦女因年齡相關的認知功能老化(Erickson et al., 2007; Raz & Rodrigue, 2006),意謂著不同性別與年齡族群可能在身體活動與認知功能上有其調節角色,然該論點亦仍須後續證實。

#### (四) 研究設計與回顧的觀點

雖然近十年間身體活動與大腦結構的探討有較大的發展，然而由本研究回顧可知，多數研究仍著重在於以橫斷式研究設計來探討其關聯，僅少數研究採用前瞻性或介入性的研究設計。該現象可能由於相較於縱貫式設計，橫斷式設計所需之時間、經費、人力等耗費程度較低有關。然而，橫斷式研究設計無法釐清變項間的因果關係，即使採用的中介分析的統計形式，對於因果關係的詮釋仍有限制。為此，仍建議後續研究以介入性研究，尤其是以隨機控制試驗設計之方向探究，雖然其難度較高，但對於因果關係的驗證可能保有較大詮釋的程度。

另一方面，相較於身體活動與認知功能已有許多敘述性 (Erickson, 2011; Kramer, Colcombe, McAuley, Scalf, & Erickson, 2005; Kramer et al., 2006) 與統合性 (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Forbes et al., 2008; Hamer & Chida, 2009; McMorris, Sproule, Turner, & Hale, 2011; Smith et al., 2010) 的分析，身體活動與大腦結構方面目前僅有敘述性回顧。透過統合性分析不但可以瞭解兩個主要變項的關係程度，亦可檢驗目前大腦結構的特定區域或不同調節因子的影響。事實上，近年來以磁共振造影為研究取向，就心理健康議題 (如憂鬱) 與大腦結構進行之統合分析 (Kempton, Geddes, Ettinger, Williams, & Grasby, 2008; Schmand, Huizenga, & Van Gool, 2010; Videbech & Ravnkilde, 2004)，已為身體活動與大腦結構的統合性分析提供參考依據。

#### (五) 磁功能造影的發展

高強度磁場的發展，使得信噪比 (signal-to-noise ratio) 的敏感性提高，進而大幅提升大腦結構的解析度。Duyn (2010) 指出，由於近年來磁功能造影技術突破性之發展，研究者可以較低成本與更高解析度之技術探討大腦結構。例如，研究已於過去使用 1T 或以下的磁場，增加至 7T 的磁場；而在實驗中，亦已有研究以 11.7T 的強度執行全身 (whole body) 的掃描 (Vedrine et al., 2008)。尤其是在探討海馬迴的相關探究中，較高的磁場提供更清楚的結構描繪 (Theysohn et al., 2009; Thomas et al., 2008; van Strien, Widerøe, van de Berg, & Uylings, 2011)。雖然在身體活動相關研究中，磁共振造影磁場強度已從過去 1.5T 增加至 3T，但在未來研究中仍應以更強的磁場去探究兩者間之關聯及探索其相關之應用。

另外，多數研究以 VBM 探究大腦灰質、白質容量受身體活動的影響，而亦有少部分以 DTI 的技術著重於白質間連結的狀態 (Marks et al., 2010; Marks et al., 2007)，後續研究應持續以不同技術來探討。必須注意的是，雖然目前研究較一致的顯示，腦容量與身體活動 (或身體活動不足) 有關聯，然而研究者仍無法真正推知導致該結果之機制，該項結果可能會受到如血管增生、突觸增生等其他可能因素之影響 (Colcombe et al., 2003; Kramer & Hillman, 2006)。

## 五、結語

由上述研究回顧可知，以磁共振造影研究為取向探討身體活動與大腦結構的研究始於 Colcombe 等人 (2003) 的研究。其後十年，國際間對於該議題已有較大的進程。多數研究係以橫斷式研究設計來探討，並發現身體活動、尤其是心血管適能，對於大腦結構在老年人上的正向關聯。具體而言，心血管適能較高的老年人其在多個腦區之灰質與白質皆有較高的密度。該結果已於實驗性與大型流行病學的研究所發現。此外，心血管適能對於特殊族群老年人 (如：停經婦女、失智症、或多發性硬化症) 之大腦結構亦有所正向影響。不僅如此，心血管適能可能增加了海馬迴的容量與記憶功能，該結果不但驗證了海馬迴與記憶的關聯，並提供海馬迴為心血管適能與記憶中介角色的驗證。不僅以 VBM 技術，研究以 DTI 技術發現有氧適能、肥胖與腦白質健全的關係，並進一步較精確的指出兩變項對於不同扣帶區或腦半球的特定效益。另一方面，佑使用定義較心血管適能寬鬆之身體活動來探究，目前尚須累積後續研究後，方可證實其扮演之角色。

在縱貫式的研究角度上，過去研究已從前瞻性流行病學與長期運動介入的角度提供更精確的因果關係驗證。基本而言，長期的身體活動或健身運動的介入對於大腦結構，甚至是老化相關的認知功能下降或引發之失智症有其正向關係。然而，必須注意的是，目前對於以該取向為探究依據的研究仍屬少數。

爲達到與國際間研究之接軌，國內研究者之未來研究或可從健身相關身體適能、技能相關身體適能、競技運動型態等身體活動次類別的擇選來進行探究；此外不同類別的認知功能擇選，以及其所量測的神經心理測驗；老年人認知正常或伴隨年齡相關的神經退化症狀；其他干擾或調節因子的探究；採用更嚴謹之研究設計與統合分析研究的觀點；最後，應用較高磁場之磁功能造影之技術，亦可能成爲後續探究的方向。

### 參考文獻

- 王駿濠、蔡佳良（2011）：高活動量女性長者之視覺空間工作記憶：行爲與事件相關電位之研究。  
*中華心理衛生學刊*，**24**，345-380。[Wang, C. H., & Tsai, C. L. (2011). Visuospatial working memory in highly physically active female elders: A behavioral and ERP study. *Chinese Journal of Mental Health*, *24*(3), 345-380.]
- 洪聰敏、石恒星（2009）：腦波在運動心理學研究之應用。*應用心理研究*，**42**，123-161。[Hung, T. M., & Shih, H. H. (2009). Electroencephalography application in sport and exercise psychology. *Research in Applied Psychology*, *42*, 123-161.]
- 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**，1-28。[Chang, Y. K., & Wu, T. Y. (2011). Effects of acute exercise on cognitive function: A review of event-related potentials. *Physical Education Journal*, *44*(1), 1-28.]
- 張育愷、洪巧菱（2010）：身體活動與認知功能：對當代統合分析之回顧。*國際運動及鍛鍊心理學期刊（中文部分）*，**8**，491-511。[Chang, Y. K., & Hung, C. L. (2011). Physical activity and cognitive function: A review of contemporary meta-analyses. *International Journal of Sport and Exercise Psychology Chinese Section*, *8*, 489-511.]
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry-the methods. *Neuroimage*, *11*, 805-821. doi: 10.1006/nimg.2000.0582
- Banich, M. T., & Compton, R. J. (2010). *Cognitive neuroscience*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Buchman, A. S., Wilson, R. S., & Bennett, D. A. (2008). Total daily activity is associated with cognition in older persons. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *16*, 697-701. doi: 10.1097/JGP.0b013e31817945f6
- Buckworth, J., & Dishman, R. K. (2002). *Exercise psychology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Burns, J. M., Cronk, B. B., Anderson, H. S., Donnelly, J. E., Thomas, G. P., Harsha, A., . . . Swerdlow, R. H. (2008). Cardiorespiratory fitness and brain atrophy in early Alzheimer disease. *Neurology*, *71*, 210-216. doi: 10.1212/01.wnl.0000317094.86209.cb
- Caspersen, C. J. (1989). Physical activity epidemiology: Concepts, methods, and applications to exercise science. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *17*, 423-433.

- 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.
- 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.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research, 1453*, 87-101. doi: 10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Chang, Y. K., Pan, C. Y., Chen, F. T., Tsai, C. L., & Huang, C. C. (2012). Effect of resistance exercise training on cognitive function in healthy older adults: A review. *Journal of Aging and Physical Activity, 20*, 497-516.
- 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. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 58*, 176-180.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P., Kim, J., Prakash, R., McAuley, E., . . . Kramer, A. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 61*, 1166-1170.
- Colcombe, S. J., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science, 14*, 125-130.
- 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*, 9-14.
- Cotman, C. W., & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: A behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences, 25*, 295-301.
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L. A. (2007). Exercise builds brain health: Key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences, 30*, 464-472. doi: 10.1016/j.tins.2007.06.011
- Czernochowski, D., Fabiani, M., & Friedman, D. (2008). Use it or lose it? SES mitigates age-related decline in a recency/recognition task. *Neurobiology of Aging, 29*, 945-958.
- Duyn, J. H. (2010). Study of brain anatomy with high-field MRI: Recent progress. *Magnetic Resonance Imaging, 28*, 1210-1215. doi: 10.1016/j.mri.2010.02.007.
- Erickson, K. I. (2011). Augmenting brain and cognition by aerobic exercise. *Foundations of Augmented Cognition. Directing the Future of Adaptive Systems*, 30-38.

- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Elavsky, S., McAuley, E., Korol, D. L., Scalf, P. E., & Kramer, A. F. (2007). Interactive effects of fitness and hormone treatment on brain health in postmenopausal women. *Neurobiology of Aging*, *28*, 179-185. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2005.11.016
- Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2009). Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *British Journal of Sports Medicine*, *43*, 22-24. doi: 10.1136/bjism.2008.052498
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K. S., . . . Kramer, A. F. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, *19*, 1030-1039. doi: 10.1002/hipo.20547.
- Erickson, K. I., Raji, C., Lopez, O., Becker, J., Rosano, C., Newman, A., . . . Kuller, L. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood. *Neurology*, *75*, 1415-1422. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181f88359
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., . . . White, S. M. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, 3017-3022.
- Etnier, J. L., & Chang, Y. K. (2009). The effect of physical activity on executive function: A brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *31*, 469-483.
- Floel, A., Ruscheweyh, R., Kruger, K., Willemer, C., Winter, B., Volker, K., . . . Knecht, S. (2010). Physical activity and memory functions: Are neurotrophins and cerebral gray matter volume the missing link? *Neuroimage*, *49*, 2756-2763. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.10.043
- Forbes, D., Forbes, S., Morgan Debra, G., Markle-Reid, M., Wood, J., & Culum, I. (2008). *Physical activity programs for persons with dementia*. Cochrane Database of Systematic Reviews, (3). Retrieved from <http://www.mrw.interscience.wiley.com/cochrane/clsysrev/articles/CD006489/frame.html> doi:10.1002/14651858.CD006489.pub2, 01, 25, 2012.
- Gonzalez-Segura, A., Morales, J. M., Gonzalez-Darder, J. M., Cardona-Marsal, R., Lopez-Gines, C., Cerda-Nicolas, M., & Monleon, D. (2011). Magnetic resonance microscopy at 14 tesla and correlative histopathology of human brain tumor tissue. *PLoS One*, *6*, e27442. doi: 10.1371/journal.pone.0027442
- Gordon, B. A., Rykhlevskaia, E. I., Brumback, C. R., Lee, Y., Elavsky, S., Konopack, J. F., . . . Fabiani, M. (2008). Neuroanatomical correlates of aging, cardiopulmonary fitness level, and education. *Psychophysiology*, *45*, 825-838. doi: 10.1111/j.1469-8986.2008.00676.x
- Hamer, M., & Chida, Y. (2009). Physical activity and risk of neurodegenerative disease: A systematic review of prospective evidence. *Psychological Medicine*, *39*, 3-11. doi: 10.1017/S0033291708003681

- Herrmann, D. J., Yoder, C., Gruneberg, M., & Payne, D. (2006). *Applied cognitive psychology: A textbook* (1st ed.). Philadelphia, PA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hillman, C. H., Belopolsky, A., Snook, E. M., Kramer, A. F., & McAuley, E. (2004). Physical activity and executive control: Implications for increased cognitive health during older adulthood. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *75*, 176-185.
- Hillman, C. H., Castelli, D., & Buck, S. (2005). Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*, 1967-1974.
- Hillman, C. H., Castelli, D. M., & Buck, S. M. (2006). Are you fit enough to be smart. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *28*, 407-416.
- Ho, A. J., Raji, C. A., Becker, J. T., Lopez, O. L., Kuller, L. H., Hua, X., . . . Thompson, P. M. (2011). The effects of physical activity, education, and body mass index on the aging brain. *Human Brain Mapping*, *32*, 1371-1382. doi: 10.1002/hbm.21113
- Honea, R., Thomas, G. P., Harsha, A., Anderson, H. S., Donnelly, J. E., Brooks, W. M., & Burns, J. M. (2009). Cardiorespiratory fitness and preserved medial temporal lobe volume in Alzheimer's disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, *23*, 188-197. doi: 10.1097/WAD.0b013e31819cb8a2.
- Hutton, D. (2008). *Older people in emergencies: Considerations for action and policy development*. Geneva: World Health Organization.
- Jacini, W. F. S., Cannonieri, G. C., Fernandes, P. T., Bonilha, L., Cendes, F., & Li, L. M. (2009). Can exercise shape your brain? Cortical differences associated with judo practice. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*, 688-690. doi: 10.1016/j.jsams.2008.11.004
- Kempton, M. J., Geddes, J. R., Ettinger, U., Williams, S. C. R., & Grasby, P. M. (2008). Meta-analysis, database, and meta-regression of 98 structural imaging studies in bipolar disorder. *Archives of General Psychiatry*, *65*, 1017.
- Kramer, A. F., Colcombe, S. J., McAuley, E., Scalf, P. E., & Erickson, K. I. (2005). Fitness, aging and neurocognitive function. *Neurobiol Aging*, *26*, 124-127. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2005.09.009
- Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: Influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*, 342-348. doi: 10.1016/j.tics.2007.06.009
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., & Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal of Applied Physiology*, *101*, 1237-1242. doi: 10.1152/jappphysiol.00500.2006
- Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2006). Aging, physical activity, and neurocognitive function. In E. O. Acevedo & P. Ekkekakis (Eds.), *Psychobiology of physical activity* (pp. 45-60). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Le Bihan, D., Mangin, J. F., Poupon, C., Clark, C. A., Pappata, S., Molko, N., & Chabriat, H. (2001). Diffusion tensor imaging: Concepts and applications. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 13*, 534-546.
- Lester, K., Stepleman, L., & Hughes, M. (2007). The association of illness severity, self-reported cognitive impairment, and perceived illness management with depression and anxiety in a multiple sclerosis clinic population. *Journal of Behavioral Medicine, 30*, 177-186.
- Liu-Ambrose, T., & Donaldson, M. G. (2009). Exercise and cognition in older adults: Is there a role for resistance training programmes? *British Journal of Sports Medicine, 43*, 25-27. doi: 10.1136/bjism.2008.055616
- Lopez-Lopez, C., LeRoith, D., & Torres-Aleman, I. (2004). Insulin-like growth factor I is required for vessel remodeling in the adult brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 101*, 9833-9838.
- Marks, B. L., Katz, L., Styner, M., & Smith, J. (2010). Aerobic fitness and obesity: Relationship to cerebral white matter integrity in the brain of active and sedentary older adults. *British Journal of Sports Medicine, 45*, 1208-1215. doi: 10.1136/2 of 8 bjism.2009.068114
- Marks, B. L., Madden, D. J., Bucur, B., Provenzale, J. M., White, L. E., Cabeza, R., & Huettel, S. A. (2007). Role of aerobic fitness and aging on cerebral white matter integrity. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1097*, 171-174. doi: 10.1196/annals.1379.022
- Marriott, L., & Wenk, G. L. (2004). Neurobiological consequences of long-term estrogen therapy. *Current Directions in Psychological Science, 13*, 173-176.
- Martinez, M., Campion, D., Brice, A., Hannequin, D., Dubois, B., Didierjean, O., . . . Frebourg, T. (1998). Apolipoprotein E 4 allele and familial aggregation of Alzheimer disease. *Archives of Neurology, 55*, 810-816.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology and Behavior, 102*, 421-428. doi: 10.1016/j.physbeh.2010.12.007
- Mechelli, A., Price, C. J., Friston, K. J., & Ashburner, J. (2005). Voxel-based morphometry of the human brain: Methods and applications. *Current Medical Imaging Reviews, 1*, 105-113.
- Mungas, D., Harvey, D., Reed, B., Jagust, W., DeCarli, C., Beckett, L., . . . Schuff, N. (2005). Longitudinal volumetric MRI change and rate of cognitive decline. *Neurology, 65*, 565-571.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging, 17*, 299-320. doi: 10.1037//0882-7974.17.2.299



- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology, 60*, 173-196. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093656
- Podewils, L. J., Guallar, E., Kuller, L. H., Fried, L. P., Lopez, O. L., Carlson, M., & Lyketsos, C. G. (2005). Physical activity, APOE genotype, and dementia risk: Findings from the Cardiovascular Health Cognition Study. *American Journal of Epidemiology, 161*, 639-651. doi: 10.1093/aje/kwi092
- Prakash, R. S., Snook, E. M., Motl, R. W., & Kramer, A. F. (2010). Aerobic fitness is associated with gray matter volume and white matter integrity in multiple sclerosis. *Brain Research, 1341*, 41-51. doi: 10.1016/j.brainres.2009.06.063.
- Raz, N., & Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: Patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 30*, 730-748. doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.07.001
- Roosendaal, S., Geurts, J., Vrenken, H., Hulst, H., Cover, K., Castelijns, J., . . . Barkhof, F. (2009). Regional DTI differences in multiple sclerosis patients. *Neuroimage, 44*, 1397-1403.
- Ruscheweyh, R., Willemer, C., Kruger, K., Duning, T., Warnecke, T., Sommer, J., . . . Knecht, S. (2009). Physical activity and memory functions: An interventional study. *Neurobiology of Aging, 32*, 1304-1319. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001
- Salthouse, T. A. (2003a). Memory aging from 18 to 80. *Alzheimer Disease and Associated Disorders, 17*, 162-167.
- Salthouse, T. A. (2003b). What and when of cognitive aging. *Current Directions in Psychological Science, 14*, 140-144.
- Schmand, B., Huizenga, H., & Van Gool, W. (2010). Meta-analysis of CSF and MRI biomarkers for detecting preclinical Alzheimer's disease. *Psychological Medicine, 40*, 135-145.
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 20*, 11.
- Sen, A., Gider, P., Cavalieri, M., Freudenberger, P., Farzi, A., Schallert, M., . . . Schmidt, R. (2012). Association of cardiorespiratory fitness and morphological brain changes in the elderly: Results of the Austrian Stroke Prevention Study. *Neurodegenerative Diseases, 10*, 135-137. doi: 10.1159/000334760
- Sherwin, B. B. (2003). Estrogen and cognitive functioning in women. *Endocrine Reviews, 24*, 133-151.
- Smith, J. C., Nielson, K. A., Woodard, J. L., Seidenberg, M., Durgerian, S., Antuono, P., . . . Rao, S. M. (2011). Interactive effects of physical activity and APOE-epsilon4 on BOLD semantic memory activation in healthy elders. *Neuroimage, 54*, 635-644. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.070
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., . . . Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: A meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine, 72*, 239-252. doi: 10.1097/PSY.0b013e3181d14633

- Spirduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology, 30*, 435-440.
- Spirduso, W. W., Francis, K. L., & MacRae, P. G. (2005). *Physical dimensions of aging*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Standage, M., & Duda, J. L. (2004). Motivational processes among older adults in sport and exercise settings. In M. R. Weiss (Ed.), *Developmental sport and exercise psychology: A lifespan perspective*. Morgantown, WV: Fitness Information Technology.
- Szabo, A. N., McAuley, E., Erickson, K. I., Voss, M., Prakash, R. S., Mailey, E. L., . . . Olson, E. A. (2011). Cardiorespiratory fitness, hippocampal volume, and frequency of forgetting in older adults. *Neuropsychology, 25*, 545-553. doi: 10.1037/a0022733
- Theysohn, J. M., Kraff, O., Maderwald, S., Schlamann, M., de Greiff, A., Forsting, M., . . . Gizewski, E. (2009). The human hippocampus at 7 T-in vivo MRI. *Hippocampus, 19*, 1-7. doi: 10.1002/hipo.20487
- Thom, J. M., & Clare, L. (2011). Rationale for Combined Exercise and Cognition-Focused Interventions to Improve Functional Independence in People with Dementia. *Gerontology, 57*, 265-275. doi: 10.1159/000322198
- Thomas, B. P., Welch, E. B., Niederhauser, B. D., Whetsell Jr, W. O., Anderson, A. W., Gore, J. C., . . . Creasy, J. L. (2008). High-resolution 7T MRI of the human hippocampus in vivo. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 28*, 1266-1272. doi: 10.1002/jmri.21576.
- Van Petten, C. (2004). Relationship between hippocampal volume and memory ability in healthy individuals across the lifespan: Review and meta-analysis. *Neuropsychologia, 42*, 1394-1413. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.04.006
- van Praag, H. (2008). Neurogenesis and exercise: Past and future directions. *Neuromolecular Medicine, 10*, 128-140. doi: 10.1007/s12017-008-8028-z
- van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: Something to chew on. *Trends in Neurosciences, 32*, 283-290. doi: 10.1016/j.tins.2008.12.007
- van Strien, N. M., Widerøe, M., van de Berg, W. D. J., & Uylings, H. B. M. (2011). Imaging hippocampal subregions with in vivo MRI: Advances and limitations. *Nature Reviews Neuroscience, 13*, 70. doi: 10.1038/nrn3085-c1
- Vaynman, S., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience, 20*, 2580-2590. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03720.x

- Vedrine, P., Aubert, G., Beaudet, F., Belorgey, J., Beltramelli, J., Berriaud, C., . . . Gilgrass, G. (2008). The whole body 11.7 T MRI magnet for Iseult/INUMAC project. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, *18*, 868-873.
- Videbech, P., & Ravnkilde, B. (2004). Hippocampal volume and depression: A meta-analysis of MRI studies. *American Journal of Psychiatry*, *161*, 1957-1966.
- Vidoni, E. D., Honea, R. A., Billinger, S. A., Swerdlow, R. H., & Burns, J. M. (in press). Cardiorespiratory fitness is associated with atrophy in Alzheimer's and aging over 2 years. *Neurobiology of Aging*. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2011.03.016
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience*, *31*, 167-176. doi: 10.1111/j.1460-9568.2009.07014.x
- Wei, G., Zhang, Y., Jiang, T., & Luo, J. (2011). Increased cortical thickness in sports experts: A comparison of diving players with the controls. *PloS One*, *6*, e17112. doi: 10.1371/journal.pone.0017112
- Weinstein, A. M., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock, L., Szabo, A., White, S. M., . . . Kramer, A. F. (2012). The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain, Behavior, and Immunity*, *26*, 811-819 doi: 10.1016/j.bbi.2011.11.008
- Whitwell, J. L. (2009). Voxel-based morphometry: An automated technique for assessing structural changes in the brain. *The Journal of Neuroscience*, *29*, 9661.
- Windischberger, C., Gerstl, F., Fischmeister, F. P. S., Schöpf, V., Kaseß, C., & Moser, E. (2010). Brain activity movie functional MRI with ultra-high temporal resolution at 7 Tesla. *IFMBE Proceedings*, *25/4*, 192-194.

收稿日期：2012年04月02日  
一稿修訂日期：2012年12月04日  
二稿修訂日期：2013年01月14日  
接受刊登日期：2013年01月14日

Bulletin of Educational Psychology, 2013, 45(1), 83-102

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

## **Exploring the Relationship between Physical Activity and Aging of Neurocognitive Functioning Aging: A Magnetic Resonance Imaging Approach**

Yu-Kai Chang   Chien-Heng Chu   Chun-Chih Wang   Kao-Teng Yang

Graduate Institute of Athletics and Coaching Science

National Taiwan Sport University

Considerable research has indicated that physical activity plays a significant role in delaying aged-related cognitive decline. Among these studies cognitive neuroscience is one of the most contemporary approaches used to exploring the relationships among physical activity, cognitive functionings, and human brain status. The purpose of this review is to compare and analyze studies that the applied of magnetic resonance imaging studies regarding on physical activity, aging of neurocognitive functioning, and brain structures. Results reveal that physical activity has beneficial effects on brain structure, and international research has been employed by examining multi-directional dimensional analysis, including cross-sectional, longitudinal, epidemiological and experimental approaches. Specifically, based on the variables and analysis approaches utilized, these studies can be categorized according to measurements of physical fitness, cardiovascular fitness, white and gray matter statuses, neuron connectivity, specific brain structure variations, and mediational analysis. To achieve international status, research in Taiwan need to focus on issues that address the sub-components of physical fitness, including sport and exercise modalities, cognitive functionings and their measurements, and the status of the moderators using, using more rigid research designs in future studies..

**KEY WORDS: cognitive neuroscience, executive function, exercise psychology, physical fitness, structural magnetic resonance imaging**