

健身運動對記憶相關認知功能之影響

楊文中¹ 陳豐慈² 吳聰義³ 陳麗華¹ 張育愷²

¹ 國立體育大學運動保健學系 ² 國立體育大學競技與教練科學研究所

³ 國立臺灣體育運動大學技擊運動學系

摘要

過去研究已發現健身運動對認知功能的正面影響，並發現健身運動對於特定認知功能如執行功能有更佳之效益。然而，相對於其他認知功能類別如記憶之探討仍較鮮少且侷限。本文旨在回顧健身運動與記憶之相關研究，並以記憶的定義、記憶與海馬迴腦區之關聯，以及長期與急性健身運動在記憶之相關研究等主題進行探討。經文獻回顧後發現，記憶可區分為短期記憶、長期記憶，及工作記憶等類別；在記憶測量方面，研究在使用情況則較分散。另回顧亦發現，長期健身運動在孩童、成人、老人，及特殊族群之記憶有其正面之效益。該效益不僅在行為表現上看出端倪，且在神經電生理或生物機制上得到正面支持。然而急性健身運動對記憶之研究結果則較不一致，這可能受到記憶種類不同之影響有關。有鑑於目前健身運動對記憶之相關研究仍有許多問題待釐清，因此本文建議未來可朝核磁共振造影或事件關聯電位等儀器、在單一研究使用多種記憶測驗、聚焦在孩童與老年族群、探討有關認知延續時間之議題，以及研究需採用使用率較高之記憶測驗進行後續研究之探討。

關鍵詞：急性健身運動、長期健身運動、短期記憶、長期記憶、工作記憶

主要聯絡者：張育愷

聯絡地址：333 桃園市龜山區文化一路 250 號 國立體育大學競技與教練科學研究所

E-mail: yukaichangnew@gmail.com

壹、前言

規律性健身運動已被證實可改善身心健康。Kesaniemi 等 (2001) 發現健身運動之參與可有效降低高血壓、肥胖、第二類型糖尿病、骨骼疏鬆，及癌症等生理方面之健康；另外，Strohle (2009) 亦指出其亦能改善憂鬱與焦慮等心理方面之健康。近十年間，健身運動與認知功能之探討在國際社群間受到相當程度之重視 (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Colcombe & Kramer, 2003; Etnier & Chang, 2009; Etnier et al., 2009; Kramer, Erickson, & Colcombe, 2006; Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, Lambourne, & Okumura, 2011)，亦已成為健身運動心理學中重要的議題 (Etnier, 2008; Hillman, Buck, & Themanson, 2009; Hillman, Kamijo, & Pontifex, 2012)。

在健身運動與認知功能之議題上，Tomporowski (2003) 將運動型態區分為長期健身運動 (chronic exercise) 與急性健身運動 (acute exercise) 兩種型態。具體來說，長期健身運動在探討上係經多次或長時間、且有系統性之大肌肉群活動 (Khan et al., 2014) 或心肺適能 (Khan & Hillman, 2014) 對認知功能的影響。而急性健身運動則是探討透過單次或短時間大肌肉群活動介入後對認知功能之影響，其可針對健身運動中 (Ando, Kokubu, Yamada, & Kimura, 2011)、健身運動後 (王俊智、祝堅恆、吳建霆、林季燕、張育愷, 2014; 陳豐慈、王俊智、祝堅恆、張育愷, 2013; Chang et al., 2014)，甚至是健身運動後延續時間進行討論 (陳豐慈、王俊智、齊璘、張育愷, 2013; Hung, Tsai, Chen, Wang, & Chang, 2013; Joyce, Graydon, McMorris, & Davranche, 2009)。經統合分析發現，長期健身運動對認知功能有顯著的中度效果量 (Effect Size, ES: 0.48) (Colcombe & Kramer, 2003)，而急性健身運動對認知功能亦呈現正向之小效果 (ES: 0.11-0.20) (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010)，顯示兩種健身運動型態對認知功能係有其顯著之正面效益。

雖然健身運動對認知功能間有其正向影響，然其關聯可能受到認知功能型態而有所調節，該現象亦被稱為健身運動之選擇性假說 (selective hypothesis)。例如：Colcombe 與 Kramer (2003) 選取 18 篇以隨機控制試驗法 (randomized control design) 為主軸之研究進行統合分析，結果指出，健身運動對不同型態之認知功能影響不同，例如相對於控制 (ES: 0.46)、空間 (ES: 0.42)、速度 (ES: 0.27) 等類別，執行功能 (executive function) 呈現最佳的促進效果 (ES: 0.48)。相同執行功能呈現選擇性效果的結果亦呈現於急性健身運動之相關文獻 (陳豐慈、王俊

智、祝堅恆、張育愷, 2013; Chen, Yan, Yin, Pan, & Chang, 2014; Dai, Chang, Huang, & Hung, 2013; Guiney & Machado, 2013; Tsai, Wang, et al., 2014; Wang, Chu, Chu, Chan, & Chang, 2013)。建立在該些論點，健身運動與執行功能之關聯受到研究較大重視。事實上，無論在長期或急性健身運動的近年研究，皆多以執行功能之探究作為主軸。

相形之下，健身運動對於其他認知功能型態如記憶等則較顯不足。Smith 等 (2010) 之統合分析發現，有氧健身運動對記憶有著大於零的正面效果 (ES: 0.12)，說明有兩者之間的正向關係。有鑑於目前國內仍較少以記憶此概念進行回顧，本文目的在以長期與急性健身運動之角度探討其對於記憶之影響。本回顧內容包括：記憶的定義與量測方式、記憶與海馬迴腦區之關聯、長期健身運動對記憶的影響，以及急性健身運動對記憶的影響等部分，期望提供後續研究之參考。本文之健身運動與記憶相關研究蒐集，係以「physical activity」、「exercise」、「cognition」、「memory」、「executive function」等關鍵字，於文獻資料庫進行搜尋。

貳、記憶的定義

一、記憶的定義與型態

記憶為認知功能型態之一，其是透過學習或過去經驗而反映出在行為上之組織能力 (Tulving, 1985)。此外，記憶亦可視為將外部資訊經處理後儲存於大腦內的認知過程，其透過登錄、儲存、提取等階段順序，將接受的刺激訊息轉化成固體記憶，並在需要使用時透過新舊記憶的整合而快速提取。記憶可由儲存時間的長短區分為短期記憶與長期記憶。具體來說，短期記憶儲存時間大約為 30 秒的時間，容量約是 7 ± 2 個單位項目。藉由反覆的背誦、訊息處理與分類可將短期記憶轉換為長期儲存的長期記憶。相對而言，長期記憶是較沒有容量之限制，其類型主要是以語意的儲存為主，而以聽覺與視覺儲存為輔 (Atkinson & Shiffrin, 1968)。

除了短期、長期記憶兩種常見的記憶之外，記憶又可涵蓋工作記憶 (working memory)。工作記憶分為語音迴路 (phonologic loop)、視覺空間模板 (visuospatial sketchpad)、事件緩衝區 (episodic buffer) 和中央處理系統 (central executive system) 等部分。語音迴路是透過聲音或聽覺的訊息，利用大約 2 秒的時間將訊息儲存；視覺空間模板階段是將視覺或空間做短暫性的儲存於記憶中，而事件緩

衝區則是將聽覺與視覺兩者間的訊息進行整合，最後中央處理系統負責語音迴路和視覺空間模板兩者之間作調節控制，並與長期記憶連結的功能 (Baddeley, 2012)。Baddeley (1996) 指出，工作記憶是由短期記憶的概念所延伸出來，兩者之間的差別是處理訊息的功能不同。具體而言，短期記憶是屬於單純的資訊儲存，反之工作記憶不僅可以儲存並具備資訊處理的功能。綜合上述三種記憶型態在研究上之定義，能瞭解其在概念上有著不同的定義與階段內容。

除了針對儲存時間來區別記憶類型外，記憶又可因刺激來源區分成不同記憶成分。如依知覺程度分為外顯記憶 (declarative memory) 和內隱記憶 (implicit memory) 兩種類型。外顯記憶亦稱為陳述性記憶，主要負責語意、事實和知識等記憶；而內隱記憶又稱為程序記憶或非陳述性記憶，主要以過去經歷的經驗與日後行為表現，如日常生活的語言學習、技能學習，及認知技能等，也因此特性常經常應用在認知心理學中 (Tulving & Schacter, 1990)。

二、記憶之測量

量測記憶的測驗繁多，以下羅列在急性與長期健身運動與記憶相關的研究當中，幾種使用於量測記憶之測驗如下。

短期記憶之測驗可包括有：空間廣度測驗 (digit span task)、布朗匹爾森測驗 (Brown-Peterson task) 以及班頓視覺回憶測驗 (Benton visual memory, BVRT)。

長期記憶的測驗包括：韋氏記憶量表 (Wechsler logical memory test)、健忘頻率測驗 (frequency of forgetting)、地圖測驗 (map task)，以及自由回憶測驗 (free recall task)。

工作記憶之相關測驗包括：n 項作業任務 (n-back task)、操作廣度 (operation span, OSPAN)、空間工作記憶測驗 (spatial working memory, SPWM)、視覺空間工作記憶測驗 (visuospatial working memory task, VSWM)、時間辨別測驗 (temporal generalization task)、斯騰伯格工作記憶任務 (Sternberg working memory task) 等。

參、記憶與海馬迴腦區之相關機制

多篇回顧性綜評已指出，記憶與海馬迴間之關聯 (Eichenbaum, Yonelinas, & Ranganath, 2007; Suthana & Fried, 2012)。該些研究指出，海馬迴活化與較佳的記

憶表現呈現高相關性。以下本文將從動物或人體相關研究進行記憶與海馬迴之簡要回顧。

Zhang, Xiao, Luo, 與 Zhao (2015) 以糖尿病的大鼠探討記憶與海馬迴之相關性。該研究將血管緊張素 (Ang1-7) 施打在大鼠的海馬迴腦區，使其腦內的生化值濃度短暫性升高。結果發現，大鼠在 Morris 水迷宮之記憶表現明顯有增進的現象，意即增加海馬迴內生化值濃度影響記憶相關認知功能表現。另有學者聚焦於正腎上腺 (norepinephrine, NE) 探討記憶與海馬迴之間的關係。結果發現，海馬迴內的 NE 濃度與記憶表現有顯著正向的關係，這結果意謂著 NE 的活化能促使老鼠在記憶損傷的修復 (Fortress et al., 2015)。

人體研究亦得到相似之研究證據 (Davachi, 2006; Mayes, Montaldi, & Migo, 2007)。值得注意的是，不同記憶型態對海馬迴有著正面之關聯，如資源記憶 (source memory) (Johnson, Hashtroudi, & Lindsay, 1993)、相關記憶 (relational memory) (Cohen & Eichenbaum, 1993)，及收集性基礎記憶 (recollection-based memory) (Diana, Yonelinas, & Ranganath, 2007; Eichenbaum et al., 2007)。此外，Aggleton (2014) 之回顧性文獻指出，海馬迴結構的損傷會導致個體無法將情節訊息 (episodic information) 儲存成為情節記憶，意味著不同型態記憶與海馬迴腦區之相關性。Bean, Ianov, 與 Foster (2014) 進一步發現，雌激素受體 (estrogen receptor) 在海馬迴腦區濃度與記憶表現間的正向關聯，意味著人體的海馬迴體積會受到雌性激素濃度進而增進記憶的表現。

研究亦從特殊族群獲知記憶與海馬迴之關聯的研究證據，例如：Manns, Hopkins, Reed, Kitchener, 與 Squire (2003) 利用核磁共振造影 (magnetic resonance imaging, MRI) 確認海馬迴損傷病人的大腦狀態，隨後量測損傷病人與一般人在認知功能的表現。結果發現，在海馬迴損傷者在海馬迴體積上較一般人小，且其記憶與理解表現皆比一般人較差。此外，亦有研究透過功能性核磁共振造影 (functional MRI, fMRI) 進一步支持記憶與海馬迴的關係，研究者發現在執行記憶認知測驗時，海馬迴區域會呈現較高活化的現象 (Wais, Squire, & Wixted, 2010)，這些研究多是指出記憶與海馬迴的正向關聯。

綜合上述相關研究，研究已提出記憶與海馬迴腦區間之相關性。該相關性已在透過激素施打的動物實驗或透過核磁共振造影的人體實驗中呈現，從多面向支持了記憶與海馬迴間的正向關聯。

肆、長期健身運動與記憶

在長期健身運動與記憶的議題上，研究多是以橫斷性研究比較不同身體適能或心肺適能在記憶表現之關係或差異，反之縱貫性研究在該議題上仍較鮮少與侷限。不過，該議題目前已針對不同族群進行探究，並搭配事件關聯電位 (event-related potential, ERP) 或核磁共振造影進行探究。以下係以不同族群為主軸，探討過去長期健身運動與記憶之相關文獻，此外文獻摘要整理請參考表一。

一、孩童族群

Raine 等 (2013) 探討孩童身體適能是否會影響學習與長期記憶。該研究招募 48 位年齡約 9 至 10 歲的孩童，並以最大攝氧量作為量測心肺適能的方式。結果顯示，在學習記憶階段，高、低心肺適能的孩童在自由回憶與線索回憶 (cue recall) 的正確率並無顯著的差異性。不過，在延遲回憶 (delay recall)(意即首次測驗後三天) 方面，高心肺適能孩童在自由回憶與線索回憶皆顯著優於低心肺適能孩童。心肺適能在延遲記憶上有較佳正面效果之結果，意味著身體適能或許對特定大腦結構有其正面效益，進而影響記憶表現。另外 Chaddock, Hillman, Buck, 與 Cohen (2011) 則是針對心肺適能與短期記憶進行探究。結果發現，相較於低心肺適能孩童，高有氧適能孩童在視覺記憶測驗 (visual memory task) 的相關登錄指標上展現較佳正確率。然而在非相關登錄指標上則無顯著的差異。類似心肺適能與記憶的正面效益亦在縱貫式研究獲得進一步支持 (Monti, Hillman, & Cohen, 2012)。

不僅如此，健身運動與記憶的關係亦呈現於以核磁共振造影技術所執行之研究。例如 Chaddock 等 (2010) 指出，類似於過去研究結果，高心肺適能孩童在關聯記憶的正確率顯著優於低心肺適能孩童。此外，該研究更發現高心肺適能孩童在海馬迴體積顯著大於低心肺適能孩童。進一步支持身體適能對記憶之正面影響及其可能之大腦機轉。

二、成人族群

Pontifex 等 (2014) 針對成人族群為對象，探討心肺適能與長期記憶、工作記憶，及內隱記憶的相關性。結果發現，雖然心肺適能與工作記憶無相關，高心肺適能與較佳的長期記憶、內隱記憶有其相關性。該研究者推論，心肺適能

促進大腦網絡的神經增生，進而提升記憶相關表現。然而 Zhu 等 (2014) 係以 25 年的縱貫式追蹤實驗，則嘗試探討心肺適能與多種認知功能的變化卻發現，雖然心肺適能與執行功能有其正向關係，但對於口語記憶則無顯著的關聯，證實健身運動可能對口語記憶的敏感性可能較低。

研究亦從事件關聯電位、眼動儀、及生化指標進行探討。在事件關聯電位方面，Kamijo, O'Leary, Pontifex, Themanson, 與 Hillman (2010) 針對不同心肺適能在執行記憶作業中所產生關聯性負波 (contingent negative variation, CNV) 之差異進行比較。結果發現，相較於低心肺適能者，高心肺適能者在量測斯騰伯格工作記憶測驗時誘發出較大之 CNV 振幅，意即心肺適能會促進工作記憶的操作控制與反應的準備過程。

三、老年族群

心肺適能在老年族群的記憶可能扮演重要之角色。從 Wendell 等 (2014) 之研究發現，相對於其他認知效益，心肺適能對口語與空間記憶表現呈現正相關，表示較高心肺適能維持與促進記憶。除了心肺適能在橫斷式研究得到記憶相關的正面效益外，Miller 等 (2012) 採縱貫式研究介入 6 周提升心肺適能的有氧訓練，發現介入健身運動後的老年人在記憶表現顯著比未介入前佳。研究亦在核磁共振造影得到類似正面效益，例如 Voss 等 (2010) 發現心肺適能對預設模式網絡 (default mode network, DMN) 活化有著正相關的情況，由於該網絡與阿茲海默氏症發生率有關，研究說明心肺適能對減低阿茲海默症風險是有其正面影響。

亦有研究透過海馬迴體積探討心肺適能與記憶的關係。Erickson 等 (2009) 探討健康老年人的有氧適能、海馬迴容積和空間記憶三者之間的關聯性。結果顯示，高心肺適能組不僅在空間記憶表現較佳，且在海馬迴體積亦大於低心肺適能組。Szabo 等 (2011) 欲進一步確認心肺適能與海馬迴體積的關係。結果發現，高心肺適能者在經常性健忘頻率量表有較低的分數，且在空間記憶表現與海馬迴體積的效益較佳。與先前研究相似，McAuley 等 (2011) 招募 86 位 65 歲的健康老年人，檢測其心肺適能、認知功能，及海馬迴的關係。結果顯示，心肺適能與增進記憶表現有關，並且發現因心肺適能與增進海馬迴體積有關。這些研究皆說明了心肺適能在老年族群上能有效減緩海馬迴體積衰退的趨勢。

類似的正面效益亦在大腦灰質與白質完整性 (Leckie, Weinstein, Hodzic, & Erickson, 2012; Tian et al., 2014; Voss et al., 2013) 及事件關聯電位上得到證實

(Chang, Huang, Chen, & Hung, 2013)。Leckie 等 (2012) 招募 142 位平均年齡 66.4 歲的老年人，並讓參與者施測執行功能的 Stroop 測驗與工作記憶的空間記憶測驗兩種。結果顯示，高心肺適能組的右邊腹前額葉迴 (inferior frontal gyrus) 與大腦中央前迴 (precentral gyrus) 灰質體積明顯較多。Voss 等 (2013) 則試圖研究心肺適能能否減少的大腦白質的流失率。研究結果指出，相較於伸展組，高心肺適能者對白質完整性有著正向的關係。類似結果亦在其他研究得到正面支持，Tian 等 (2014) 指出高心肺適能的老年人在白質完整性與記憶表現較佳。此外，Chang 等 (2013) 發現，高身體活動老年人在記憶表現上有較低的反應時間，且展現較佳的大腦注意力投入資源與刺激反應速度。

另有學者將研究聚焦於心肺適能造成認知功能改變的生物機轉。Erickson 等 (2012) 聚焦心肺適能與 N-乙酰天冬氨酸鹽 (N-acetylaspartate, NAA)、工作記憶間的關聯性。由於 NAA 是大腦內的代謝產物，該研究嘗試了解該神經物質是否為心肺適能與工作記憶間的中介變項。該研究招募 137 位 58 至 80 歲的參與者，利用最大攝氧量量測其心肺適能，並進行工作記憶的記憶廣度測驗與空間記憶測驗。結果顯示，高有氧適能組不僅在工作記憶表現得到效益，且不會受到年齡而導致腦內 NAA 濃度的減低，因此認為 NAA 是心肺適能與工作記憶的中介因子，並推論有氧適能可以有效改善神經元系統的流失，進而提升工作記憶表現。

四、特殊族群

近年亦有學者探討發展性協調障礙 (developmental coordination disorder, DCD) 孩童對於視覺空間記憶的表現是否會受到心肺適能而有所不同的影響 (Tsai et al., 2014)。該研究隨機分派 DCD 孩童至有氧耐力訓練組與控制組，有氧耐力訓練組是以 16 周心肺適能訓練為介入。結果顯示，運動組的 DCD 孩童在介入後的視覺空間記憶表現明顯進步，且在事件關聯電位表現上發現較大的 P3 振幅較大與較快的潛伏時間，意即心肺適能正面影響 DCD 孩童的視覺空間記憶與注意力投入資源。

該正面效益亦在長期疾病患者身上發現，Ickmans 等 (2013) 聚焦於長期疲勞症候群 (chronic fatigue syndrome, CSF) 患者的身體適能與工作記憶的關聯性。結果發現，身體適能越佳的患者與工作記憶表現有著正向的關聯性。此外，類似結果亦在冠狀動脈疾病 (coronary artery disease, CAD) 與心臟衰竭 (heart failure, HF) 患者證實身體活動與記憶的正面關係 (Garcia et al., 2013; Swardfager et al.,

2010)。Garcia 等 (2013) 指出，身體消耗與記憶在 HF 族群是呈現較高的相關性，意即該長期患者參與較高身體活動對記憶表現提升有其相關。而 Swardfager 等 (2010) 則進一步證實心肺適能與 CAD 族群的記憶呈現正相關的情況，說明心肺適能對特殊之族群記憶表現是有其正向關聯性。

五、小結

綜合上述的研究可以發現，透過長期健身運動或提升心肺適能的方式，與改善記憶表現有關，其改變機制可能包含大腦血流量增加、海馬迴體積較大、較為完整的大腦灰質與白質、促進大腦注意力投入資源與效率，及胰島素功能的穩定等。該正面影響涵蓋於整個生命週期，不論是孩童、成年人及老年人，甚至在特殊疾病患者皆能觀察到。然而，長期健身運動對於記憶的改善並非全面性的，研究發現健身運動對大腦和記憶是有選擇性的改善。此外，目前記憶研究的檢測仍以行為表現居多，雖然研究已藉由事件關聯電位、核磁共振造影、及眼動儀等儀器進行探討，但此應用仍屬於初始階段，仍需更多研究進一步作確認。

伍、急性健身運動與記憶

除了長期健身運動外，亦有研究聚焦於急性健身運動與記憶的相關議題上。該議題於近十年間已針對長期記憶、短期記憶，或工作記憶等類型進行探討。除由記憶測驗進行探究外，亦有研究以核磁共振造影探討急性健身運動與海馬迴的關係，彰顯了記憶此認知概念在該議題上的重要性。以下即針對此，進行有關急性健身運動與記憶表現之相關回顧，文獻摘要整理請參考表二。

一、工作記憶

Pontifex, Hillman, Fernhall, Thompson, 與 Valentini (2009) 比較單次阻力健身運動、有氧健身運動，及控制情境等對工作記憶表現的影響。結果顯示，相較於阻力健身運動與控制情境，急性有氧健身運動情境對促進斯騰伯格工作記憶的反應時間有其正面效益。認為有氧健身運動有效促使大腦血流量的提升，進而使大腦作用的選擇性改善。Komiyama 等 (2015) 則進一步支持急性健身運動與工作記憶的正向關聯，招募 16 位平均年齡 23 歲男性，並隨機分成正常氧壓組與低氧組進行急性健身運動介入，並使用 Go/No-Go 作業與空間延遲反應測驗

(spatial delayed response, spatial DR) 分別檢測執行功能與工作記憶的反應時間。結果顯示，不論是正常氧壓組或低氧組在兩測驗的反應時間皆有顯著的增進，證實無論在何種環境介入，急性健身運動對工作記憶皆有其正面之效益。

另有研究則嘗試以功能性核磁共振進行探究，Li 等 (2014) 招募 19 至 22 歲 15 位女大學生進行急性健身運動對工作記憶是否有正面的影響。健身運動介入為 30 分鐘的腳踏車運動，並使用 N 項作業任務搭配 fMRI 儀器去做檢測。結果發現，急性健身運動促使前額葉與枕葉皮質區有著顯著增加活化，並減少前扣帶皮質區的活化，說明急性健身運動改善大腦之執行控制過程，特別是單次有氧健身運動間接正面促進有關記憶的相關腦區功能。

然而，相異的結果亦在研究上證實，Lambourne (2012) 探討急性健身運動之不同時間點對工作記憶之影響，因此該研究招募 16 位年齡 21 歲的大學生，比較健身運動與控制情境在時間性概括作業 (temporal generalization task) 的工作記憶上的表現，此外亦比較健身運動前、中、後等時間點的差異。研究顯示，不論健身運動組或控制情境對工作記憶表現皆無正向之效果。該研究與先前研究係有其差異，可能原因係研究所聚焦的認知作業不同所致。

二、短期記憶、長期記憶

研究亦針對短期記憶、長期記憶進行探究。Labban 與 Etnier (2011) 以急性健身運動對長期記憶影響作探討，招募 48 位平均年齡 22 歲的大學生，並隨機分配於閱聽前運動 (聆聽兩段文字)、閱聽後運動及控制組，而急性健身運動介入是以中等強度 30 分鐘的有氧健身運動。研究顯示，僅有閱聽前運動組之記憶表現顯著優於控制組，但是兩個健身運動組之間則未達顯著差異。此項發現支持中等強度的有氧健身運動對記憶表現的正向影響，且健身運動的時機可能是改善記憶任務的原因。Coles 與 Tomporowski (2008) 則探討急性健身運動對短期記憶與長期記憶等兩種型態的影響，招募 18 位平均年齡 22 歲的年輕的參與者，使用三種不同的測驗，分別是布朗匹爾森測驗、set-shifting 測驗以及自由回憶共三種測驗，並且介入單次的腳踏車訓練，結果顯示，急性健身運動對於短期記憶的效果是不顯著的，然急性健身運動對於長期記憶的使用則是有幫助的，該不一致之結果意味著急性健身運動後對於訊息的儲存及建立有鞏固的作用。

三、其他記憶類別

除上述的記憶類別之研究，亦有研究嘗試瞭解急性健身運動對於動作記憶 (motor memory) 的影響。Roig, Skriver, Lundbye, Kiens, 與 Nielsen (2012) 招募 48 位年輕男性，並隨機分成控制組、健身運動前測驗組、健身運動後測驗組等三組，進行單次的腳踏車健身運動，在介入後的 1 小時、24 小時及 7 天進行動作記憶的檢測。結果指出，不論是健身運動前或後組在 24 小時跟 7 天後的表現皆優於控制組，此發現亦即急性健身運動可以有效的調節長期的動作學習表現。延續上述的研究，Skriver 等 (2014) 進一步探究急性健身運動與動作記憶之間的關聯性，並搭配其生物機制進行探討。該研究招募 32 位年輕男性參與者，並檢測了幾項血液生化的數值，分別有 BDNF、VEGF、IGF-1、腎上腺素、副腎上腺素、多巴胺和乳酸等。結果顯示，急性健身運動組對動作記憶表現顯著的優於控制組。不僅如此，急性健身運動組在 BDNF 和 VEGF 等生物指標亦顯著提升之情形。該兩篇研究進一步支持急性健身運動在不同記憶類別上的正面效益。

四、小結

綜合上述研究發現，急性健身運動對記憶表現多是呈現正向之效益。然部分研究仍有不一致之發現，推論其效益受記憶種類而影響。鑒於該議題研究仍較少，且研究仍有其不足之處，例如諸多研究多以單一記憶型態作為記憶的考究居多，較少數研究是進行兩種或多種記憶類型同時整合探究。因此，這方向或許能提供未來研究進行探討之方向性。

陸、結語與未來方向

經由回顧上述相關研究後可得知，記憶可分類多種不同之類型，本文嘗試提供用於量測有關短期、長期，及工作記憶使用率較高之測驗。此外，研究已指出記憶與海馬迴腦區的正向關聯性，說明兩者間可能互相影響的可能性。透過本文以長期、急性健身運動與記憶表現的研究進行回顧多指出，長期健身運動對孩童、成年、老年，甚至是特殊族群上之效益；急性健身運動的相關研究上則發現，雖然部分研究在記憶表現上有著正面之影響，然研究在如工作記憶上則敏感度較差，這影響可能是受不同記憶類別差異所致。

為進一步瞭解健身運動與記憶的更新知識，本文提供幾點未來可能進行後續研究之方向：其一，目前聚焦於健身運動，尤其在於急性健身運動方面，仍以行為測驗為主要量測方式。鑒於長期健身運動在核磁共振造影之儀器的應用已漸成熟（吳治翰、齊璘、張育愷，2015），建議未來能朝此取向進行有關記憶的系列性探討，進而瞭解健身運動對記憶所誘發之大腦功能之變化。其二，目前有關健身運動的研究多是以單一記憶種類作為整體記憶之概念，在推論時較不適宜，因此建議未來可採兩種或以上記憶類型測驗進行探討，以利未來進一步了解健身運動對於不同記憶型態的改善情形。另外，目前記憶測驗仍屬於基礎記憶能力，與日常生活之記憶有其差異性，因此結合多種記憶測驗於單一研究探討，將可推論至日常所應用之記憶能力。其三，在健身運動相關研究方面，由於多數研究聚焦於成年族群的探討，導致研究對象較為侷限，為此本文認為未來研究應朝向孩童、老年，及特殊族群上作探究。其四，目前急性健身運動的相關研究仍聚焦於運動後立即檢測記憶表現，而延續時間的探討亦為當代的重要議題之一（陳豐慈、王俊智、齊璘、張育愷，2013；Joyce et al., 2009），因此建議未來的研究可以朝此方向進行。其五，目前長期健身運動與記憶的相關研究，多是以心肺適能進行探討其與記憶之影響。然而，心肺適能可能受到許多生活因子所致，因此仍然建議未來研究可以縱貫式研究進行探討。最後，目前該議題相關研究在採取之記憶測驗較為分散，導致不同記憶測驗在比較上的困難，因此本文建議採用文內提升使用率較高之記憶測驗。

參考文獻

- 王俊智、祝堅恆、吳建霆、林季燕、張育愷 (2014)。急性有氧健身運動對威斯康辛卡片分類測驗表現之前導研究。《臺灣運動心理學報》，14(2)，15-31。
- 吳治翰、齊璘、張育愷 (2015)。以磁共振成像回顧健身運動與大腦結構之關聯。《中華體育季刊》，29(2)，153-160。
- 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(1)，45-54。
- 陳豐慈、王俊智、齊璘、張育愷 (2013)。急性健身運動對計畫執行相關功能在立即與延續時間之影響：前導研究。《大專體育學刊》，15(1)，29-39。
- Aggleton, J. P. (2014). Looking beyond the hippocampus: Old and new neurological targets for understanding memory disorders. *Proceeding, Biological Sciences*,

281(1786), 1-9.

- Ando, S., Kokubu, M., Yamada, Y., & Kimura, M. (2011). Does cerebral oxygenation affect cognitive function during exercise? *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 1973-1982.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes1. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *49*, 5-28.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1-29.
- Baym, C. L., Khan, N. A., Pence, A., Raine, L. B., Hillman, C. H., & Cohen, N. J. (2014). Aerobic fitness predicts relational memory but not item memory performance in healthy young adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*, 2645-2652.
- Bean, L. A., Ianov, L., & Foster, T. C. (2014). Estrogen receptors, the hippocampus, and memory. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, *20*, 534-545.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B.,...Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, *32*, 249-256.
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Cohen, N. J. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*, 344-349.
- 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*, 1174-1182.
- 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.
- Chen, A. G., Yan, J., Yin, H. C., Pan, C. Y., & Chang, Y. K. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent

- children. *Psychology of Sport and Exercise*, 15, 627-636.
- Cohen, N. J., & Eichenbaum, H. E. (1993). *Memory, amnesia and the hippocampal system*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Colcombe, S. J., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychology Science*, 14, 125-130.
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26, 333-344.
- Dai, C. T., Chang, Y. K., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2013). Exercise mode and executive function in older adults: An ERP study of task-switching. *Brain and Cognition*, 83, 153-162.
- Davachi, L. (2006). Item, context and relational episodic encoding in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 693-700.
- Diana, R. A., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). Imaging recollection and familiarity in the medial temporal lobe: A three-component model. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 379-386.
- Eichenbaum, H., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). The medial temporal lobe and recognition memory. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 123-152.
- 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.
- Erickson, K. I., Weinstein, A. M., Sutton, B. P., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., . . . Kramer, A. F. (2012). Beyond vascularization: aerobic fitness is associated with N-acetylaspartate and working memory. *Brain and Behavior*, 2, 32-41.
- Etnier, J. L. (2008). Interrelationships of exercise, mediator variables, and cognition. In T. W. Spalding, L. W. Poon, & Z. W. Chodzko (Eds.), *Exercise and its mediating effects on cognition* (Vol. 2, pp. 13-32). Champaign, IL: Human Kinetics.
- 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 & Exercise Psychology*, 31, 469-483.

- Etnier, J. L., Karper, W. B., Gapin, J. I., Barella, L. A., Chang, Y. K., & Murphy, K. J. (2009). Exercise, fibromyalgia, and fibrofog: A pilot study. *Journal of Physical Activity and Health, 6*, 239-246.
- Fortress, A. M., Hamlett, E. D., Vazey, E. M., Aston, J. G., Cass, W. A., Boger, H. A., & Granholm, A. C. (2015). Designer receptors enhance memory in a mouse model of Down syndrome. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of The Society for Neuroscience, 35*, 1343-1353.
- Garcia, S., Alosco, M. L., Spitznagel, M. B., Cohen, R., Raz, N., Sweet, L., . . . Gunstad, J. (2013). Cardiovascular fitness associated with cognitive performance in heart failure patients enrolled in cardiac rehabilitation. *BMC Cardiovascular Disorders, 13*, 29.
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin and Review, 20*, 73-86.
- Hillman, C. H., Buck, S. M., & Themanson, J. R. (2009). Physical activity and neurocognitive function across the life span. In W. Chodzko-Zajko, A. F. Kramer, & L. W. Poon (Eds.), *Aging, exercise, and cognition series: Enhancing cognitive functioning and brain plasticity* (pp. 85-110). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hillman, C. H., Kamijo, K., & Pontifex, M. B. (2012). The relation of ERP indices of exercise to brain health and cognition. In H. Boecker, C. H. Hillman, L. Scheef, & H. K. Struder (Eds.), *Functional neuroimaging in exercise and sport sciences* (pp. 419-446). New York: Springer.
- Hung, T. M., Tsai, C. L., Chen, F. T., Wang, C. C., & Chang, Y. K. (2013). The immediate and sustained effects of acute exercise on planning aspect of executive function. *Psychology of Sport and Exercise, 14*, 728-736.
- Ickmans, K., Clarys, P., Nijs, J., Meeus, M., Aerenhouts, D., Zinzen, E., . . . Pattyn, N. (2013). Association between cognitive performance, physical fitness, and physical activity level in women with chronic fatigue syndrome. *Journal of Rehabilitation Research and Development, 50*, 795-810.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin, 114*, 3-28.
- Joyce, J., Graydon, J., McMorris, T., & Davranche, K. (2009). The time course effect of moderate intensity exercise on response execution and response inhibition.

Brain and Cognition, 71, 14-19.

- Kamijyo, K., O'Leary, K. C., Pontifex, M. B., Themanson, J. R., & Hillman, C. H. (2010). The relation of aerobic fitness to neuroelectric indices of cognitive and motor task preparation. *Psychophysiology*, 47, 814-821.
- Kesaniemi, Y. K., Danforth, E. J., Jensen, M. D., Kopelman, P. G., Lefebvre, P., & Reeder, B. A. (2001). Dose-response issues concerning physical activity and health: An evidence-based symposium. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6 Suppl), S351-S358.
- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: A review. *Pediatric Exercise Science*, 26, 138-146.
- Khan, N. A., Raine, L. B., Drollette, E. S., Scudder, M. R., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., . . . Hillman, C. H. (2014). Impact of the FITKids physical activity intervention on adiposity in prepubertal children. *Pediatrics*, 133, e875-e883.
- Komiyama, T., Sudo, M., Higaki, Y., Kiyonaga, A., Tanaka, H., & Ando, S. (2015). Does moderate hypoxia alter working memory and executive function during prolonged exercise? *Physiology & Behavior*, 139, 290-296.
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., & Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal of Applied Physiology*, 101, 1237-1242.
- Labban, J. D., & Etnier, J. L. (2011). Effects of acute exercise on long-term memory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82, 712-721.
- Lambourne, K. (2012). The effects of acute exercise on temporal generalization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65, 526-540.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. D. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
- Leckie, R. L., Weinstein, A. M., Hodzic, J. C., & Erickson, K. I. (2012). Potential moderators of physical activity on brain health. *Journal of Aging Research*, 2012, 14.
- 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.

- Manns, J. R., Hopkins, R. O., Reed, J. M., Kitchener, E. G., & Squire, L. R. (2003). Recognition memory and the human hippocampus. *Neuron*, *37*, 171-180.
- Mayes, A., Montaldi, D., & Migo, E. (2007). Associative memory and the medial temporal lobes. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*, 126-135.
- McAuley, E., Szabo, A. N., Mailey, E. L., Erickson, K. I., Voss, M., White, S. M., . . . Kramer, A. F. (2011). Non-exercise estimated cardiorespiratory fitness: Associations with brain structure, cognition, and memory complaints in older adults. *Mental Health and Physical Activity*, *4*, 5-11.
- Miller, K. J., Siddarth, P., Gaines, J. M., Parrish, J. M., Ercoli, L. M., Marx, K., . . . Small, G. W. (2012). The memory fitness program: cognitive effects of a healthy aging intervention. *The American Journal of Geriatric Psychiatry: Official Journal of The American Association for Geriatric Psychiatry*, *20*, 514-523.
- Monti, J. M., Hillman, C. H., & Cohen, N. J. (2012). Aerobic fitness enhances relational memory in preadolescent children: The FITKids randomized control trial. *Hippocampus*, *22*, 1876-1882.
- Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., & Valentini, T. A. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*, 927-934.
- Pontifex, M. B., Parks, A. C., O'Neil, P. C., Egner, A. R., Warning, J. T., Pfeiffer, K. A., & Fenn, K. M. (2014). Poorer aerobic fitness relates to reduced integrity of multiple memory systems. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, *14*, 1132-1141.
- Raine, L. B., Lee, H. K., Saliba, B. J., Chaddock, H. L., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2013). The influence of childhood aerobic fitness on learning and memory. *PLoS One*, *8*(9), e72666.
- Roig, M., Skriver, K., Lundbye, J. J., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2012). A single bout of exercise improves motor memory. *PLoS One*, *7*(9), e44594.
- Skriver, K., Roig, M., Lundbye, J. J., Pingel, J., Helge, J. W., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2014). Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiology of Learning and Memory*, *116*, 46-58.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh, B. K., . . . Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance:

- A meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine*, 72, 239-252.
- Strohle, A. (2009). Physical activity, exercise, depression and anxiety disorders. *Journal of Neural Transmission*, 116, 777-784.
- Suthana, N., & Fried, I. (2012). Percepts to recollections: insights from single neuron recordings in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 427-436.
- Swardfager, W., Herrmann, N., Marzolini, S., Saleem, M., Kiss, A., Shammi, P., . . . Lanctot, K. L. (2010). Cardiopulmonary fitness is associated with cognitive performance in patients with coronary artery disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58, 1519-1525.
- Szabo, A. N., McAuley, E., Erickson, K. I., Voss, M., Prakash, R. S., Mailey, E. L., . . . Kramer, A. F. (2011). Cardiorespiratory fitness, hippocampal volume, and frequency of forgetting in older adults. *Neuropsychology*, 25, 545-553.
- Tarumi, T., Gonzales, M. M., Fallow, B., Nualnim, N., Lee, J., Tanaka, H., & Haley, A. P. (2013). Aerobic fitness and cognitive function in midlife: An association mediated by plasma insulin. *Metabolic Brain Disease*, 28, 727-730.
- Tian, Q., Simonsick, E. M., Erickson, K. I., Aizenstein, H. J., Glynn, N. W., Boudreau, R. M., . . . Rosano, C. (2014). Cardiorespiratory fitness and brain diffusion tensor imaging in adults over 80 years of age. *Brain Research*, 1588, 63-72.
- Tomporowski, P. D. (2003). Cognitive and behavioral responses to acute exercise in youths: A review. *Pediatric Exercise Science*, 15, 348-359.
- Tomporowski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: An introduction and overview. *Preventive Medicine*, 52(Supple 1), S3- S9.
- Tsai, C. L., Chang, Y. K., Chen, F. C., Hung, T. M., Pan, C. Y., & Wang, C. H. (2014). Effects of cardiorespiratory fitness enhancement on deficits in visuospatial working memory in children with developmental coordination disorder: A cognitive electrophysiological study. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29, 173-185.
- Tsai, C. L., Wang, C. H., Pan, C. Y., Chen, F. C., Huang, T. H., & Chou, F. Y. (2014). Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 262.

- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*, 385-389.
- Tulving, E., & Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, *247*(4940), 301-306.
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Malkowski, E., Alves, H., . . . Kramer, A. F. (2010). Functional connectivity: A source of variance in the association between cardiorespiratory fitness and cognition? *Neuropsychologia*, *48*, 1394-1406.
- Voss, M. W., Heo, S., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Alves, H., Chaddock, L., . . . Kramer, A. F. (2013). The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: Results of a one-year exercise intervention. *Human Brain Mapping*, *34*, 2972-2985.
- Wais, P. E., Squire, L. R., & Wixted, J. T. (2010). In search of recollection and familiarity signals in the hippocampus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 109-123.
- Wang, C. C., Chu, C. H., Chu, I. H., Chan, K. H., & Chang, Y. K. (2013). Executive function during acute exercise: The role of exercise intensity *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *35*, 358-368.
- Wendell, C. R., Gunstad, J., Waldstein, S. R., Wright, J. G., Ferrucci, L., & Zonderman, A. B. (2014). Cardiorespiratory fitness and accelerated cognitive decline with aging. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *69*, 455-462.
- Zhang, D., Xiao, Q., Luo, H., & Zhao, K. (2015). Effects of angiotensin-(1-7) on hippocampal expressions of GFAP and GDNF and cognitive function in rats with diabetes mellitus. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*, *35*, 646-651.
- Zhu, N., Jacobs, D. R. J., Schreiner, P. J., Yaffe, K., Bryan, N., Launer, L. J., . . . Sternfeld, B. (2014). Cardiorespiratory fitness and cognitive function in middle age: The CARDIA study. *Neurology*, *82*, 1339-1346.

Effects of exercise on memory related cognitive function

Wen-Chung Yang¹ Feng-Tzu Chen² Tsung-Yi Wu³ Lee-Hwa Chen¹
Yu-Kai Chang¹

¹ Department of Athletic Training and Health, National Taiwan Sport University

² Graduate Institute of Athletics and Coaching Science, National Taiwan Sport
University

³ Department of Combat Sport, National Taiwan University of Sport

Abstract

Previous studies indicated that exercise has a positive and specific impact on cognitive functions, particularly for executive function. However, studies focusing on the memory aspects related executive function were limited compared with other cognitive aspects. The purpose of this literature reviewed relevant studies exploring the relationship between exercise and memory, which the context included the definitions of memory, the relations between memory and the hippocampus cortex, and the issue related to the effects of chronic and acute exercise on memory. This literature showed that memory can be divided into short-term memory, long-term memory, and working memory. In addition, the review found a positive effect of chronic exercise on memory across life spans. Not only are there found positive effects impacting cognitive behavior performance, but also neuroelectronic and bio-mechanical approaches support these results. In the terms of the relationship between acute exercise and memory, the possible reasons leading to inconsistent results were because of neglecting the specific memory tasks. Finally, there are several unsolved problems remaining, so the present literature suggests that future investigations use MRI and ERP approaches in order to combine two or more tasks into a single research, and to focus on populations of children or adults, so as to explore the unexamined issues about cognitive sustained time, and to adopt memory tasks that are highly frequent used when examining memory abilities.

Key words: acute exercise, chronic exercise, short-term memory, long-term memory, working memory

表一 急性健身運動與記憶表現之相關研究

| 研究文獻 | 受試者人數 | 分組 / 介入內容 | 行為檢測 | 觀察項目 | 測量時間 | 結果 | 附註 |
|----------------------------|---------------------------------|---|---------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|----|
| Coles 與 Tomporowski (2008) | 18 位 平均 22.2 歲 男女混合 | 腳踏車運動組：0-5 分鐘 (30%Vo2max)、5-35 分鐘強度 (60%Vo2max)、35-40 分鐘 (30%Vo2max) 運動控制組：40 分鐘都坐腳踏車上、休息 控制組：40 分鐘閱讀書籍 | 心向轉移 布朗匹爾森測驗 自由回憶測驗 | 執行過程 短期記憶 長期記憶 | 介入前 介入後立即 長期記憶 | 執行過程：無顯著 短期記憶：無顯著 長期記憶：顯著 | 無 |
| Pontifex 等 (2009) | 21 位 平均 20.2 歲 12 男 9 女 | 阻力運動組：二頭彎舉、三頭推舉、腕姿 胸推、滑輪下拉、腿部推舉、腿部彎舉、橫鈴肩部推舉，80%的 1RM(最大肌力)，大約 8-12 反覆次數 有氧運動組：60-70%的中等強度跑步機訓練，持續 30 分鐘 控制組：靜坐下來閱讀雜誌 | 斯騰伯格工作記憶任務 | 工作記憶 | 介入前 介入後立即 介入後 30 分鐘 | 有氧運動組在介入後立即和後 30 分鐘有顯著效果 其他都無顯著 | 無 |
| Labban 與 Etnier (2011) | 48 位 平均 22.02 歲 15 男 33 女 | 運動完檢測組、運動前檢測組和控制組。 運動介入：0-5 分鐘、5-35 分鐘中等強 | 立即延遲回憶測驗 | 長期記憶 | 介入前或介入後 | 運動完檢測組的長期記憶表現優於其 | 無 |

表一 急性健身運動與記憶表現之相關研究 (續)

| | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|--------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Lambourne (2012) | 16 位 年齡 18-26 歲 8 男 8 女 | 運動完檢測 (PRE)：0.5 分 30%VO _{2max} , 5-35 分 90%VT 運動前檢測 (POST)：0.5 分 30%VO _{2max} , 5-35 分 90%VT 控制組 (CON) | 操作難度 多重試驗任務作業連續數字作、短暫間隔產生作業 | 工作記憶 認知功能 | 介入前 介入中 介入後 | 不論何種組別在工作記憶的表現上皆無顯著改善 | 無 |
| Roig 等 (2012) | 48 位 年齡 18-35 歲 全部男性 | 運動情境：腳踏車運動 0-2 分暖身、接著是三階段的高強度間歇運動 3 次 3 分高強度、3 次 2 分低強度(50W)，最後 3 分緩和，共 20 分 控制情境：20 分的靜坐 | 視覺追蹤精準度測驗 | 記憶 | 介入前 介入後 | 運動對動作記憶的表現有顯著效果 | 無 |
| Li 等 (2014) | 15 位 平均 19.56 歲 全部女性 | 運動情境：0.5 分暖身、5-25 分 60-70%最大心肺率、25-30 分緩和 控制情境：20 分的靜坐 | 第 N 項任務作業 | 工作記憶 | 介入後 | 工作記憶：無顯著 | MRI 發現運動後大腦有顯著的活躍 |
| Skriver 等 (2014) | 22 位 平均 18-35 歲 全部男性 | 運動組：腳踏車運動 0.2 分暖身、接著是三階段的高強度間歇運動 3 次 3 分高強度、3 次 2 分低強度(50W)，最後 3 分緩和，共 20 分 控制組：20 分的靜坐 | 視覺追蹤測驗 | 記憶 | 介入後 | 運動組的運作記憶表現有顯著的優異 | 無 |
| Komiyama 等 (2015) | 22 位 平均 18-35 歲 全部男性 | 腳踏車運動介入：前五分鐘為暖身，之後增加強度使心跳維持在 140 分並持續 30 分鐘 低氧壓組：FI02=0.15 正常氧壓組：FI02=0.209 | Go/No-Go 測驗 空間記憶延遲反應測驗 | 執行功能 工作記憶 | 介入中 在心跳維持 140 分的第 5 分和 23 分 | 低氧之下並不會使執行功能和工作記憶表現有顯著的優異 | 無 |

表二 長期健身運動與記憶表現之相關研究

| 研究文獻 | 受試者人數 | 分組 / 介入內容 | 行為檢測 | 觀察項目 | 測量時間 | 結果 | 附註 |
|---------------------|--|--|--|--------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| Erickson 等 (2009) | 165 位 平均 66.55 歲 56 男 109 女 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高有氧適能組 低有氧適能組 | 空間工作記憶 | 工作記憶 | 完成運動檢測後 前後 30 分鐘測驗 | 有氧適能與記憶的表現有顯著正相關 | MRI：有氧適能與海馬迴體積迴有正相關 |
| Swardfeger 等 (2010) | 81 位 平均 62.5 歲 70 男 11 女 | 比較有氧適能與認知功能相關性，檢測受試者的實際攝氧量峰值與預期攝氧量進行比較 預期攝氧量 男性：60-(0.55x年齡) ml/kg 每分鐘 女性：48-(0.37x年齡)ml/kg 每分鐘 | 路徑檢測測驗 叫色測驗 簡短智力測驗 語意記憶測驗 加州口語學習測驗 簡短視覺空間記憶測驗 | 認知功能 工作記憶 | 統一在早上 9:30 前後 30 分鐘測驗 | 執行功能和認知功能會受到有氧適能影響 | 無 |
| Kamijo 等 (2010) | 64 位 年輕成年人 25 男 39 女 | 高有氧適能組：男生 VO ₂ max 大於 50ml/kg 每分鐘 女生 VO ₂ max 大於 40ml/kg 每分鐘 低有氧適能組：低於上述值 | Sternberg 工作記憶任務 | 工作記憶 | 實驗進行的第二次 | 在行為測驗上兩組無顯著差異 | ERP：高有氧能組的專注表現較為優異 |
| Voss 等 (2010) | 32 位, 平均 24.1 歲 男女混和 120 位, 平均 66.5 歲 男女混 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高有氧適能組 低有氧適能組 | 輔機測驗 威斯康辛卡片分類測驗 空間工作記憶測驗 | 執行功能 工作記憶 | 無註記 | 有氧適能與認知功能有顯著的正相關 | MRI：高有氧能組大腦神經元和突觸較優異 |
| Chaddock 等 (2010) | 59 位 平均 9-10 歲 男女混合 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高體適能組 低體適能組 | 物件記憶 開關記憶 | 記憶 | 無註記 | 兩組間僅有開關記憶測驗有顯著差異 | MRI：兩組海馬迴體積有顯著差別 |

表二 長期健身運動與記憶表現之相關研究 (續)

| 研究者 | 受試者 | 實驗設計 | 測量工具 | 主要發現 | 結論 |
|--------------------|-------------------------------------|---|---------------|---|--|
| Chaddock 等 (2011) | 46 位， 平均 9.9 歲， 男女混合 | 修正版複合記憶測驗， 完成運動檢測後， 低有氧適應組在該記憶表 現較差，與高有氧適應組 在圖形記憶上有顯著差 異，物件記憶則無。 | 工作記憶 | | 無。 |
| McAuley 等 (2011) | 86 位， 平均 65.4 歲， 男女混合 | 空間工作記憶， 使用攝氧量峰值區分有氧適應， 高有氧適應組， 低有氧適應組 | 工作記憶， 長期記憶 | 完成運動檢測後， 高有氧適應組在兩個測驗 上皆顯著優於低有氧適應 組。 | MRI：海馬 迴與有氧適 能顯著相關。 |
| Szabo 等 (2011) | 158 位， 平均 66.49 歲， 53 男 105 女 | 空間工作記憶測驗， 使用攝氧量峰值區分有氧適應， 高有氧適應組， 低有氧適應組 | 工作記憶， 長期記憶 | 完成運動檢測後， 高有氧適應組的行為測驗 結果皆優於低有氧適應組。 | MRI：有氣 適能高，海 馬迴容積大。 |
| Erickson 等 (2012) | 137 位， 平均 66.08 歲， 47 男 90 女 | 空間記憶測驗， 使用攝氧量峰值區分有氧適應， 高有氧適應組， 低有氧適應組 | 短期記憶， 工作記憶 | 完成運動檢測後， 高有氧適應組會有較優秀 的工作記憶表現，與大腦 神經功能有關。 | MRI：高有 氧組神經執 行功能較高。 |
| Miller 等 (2012) | 115 位， 平均 80.9 歲， 男女混合 | 記憶訓練組：一次 60 分鐘，一週進行兩次研討課程 程訓練， 控制組， 前測與後測間隔七週。 | 記憶 | 介入前， 介入後， 透過記憶訓練課程，記憶 有顯著改善。 | 無。 |
| Weinstein 等 (2012) | 142 位， 平均 66.6 歲， 男女混合 | 使用最大攝氧量區分有氧適應， 高有氧適應組， 低有氧適應組 | 認知功能， 工作記憶 | 為期一年的縱貫 性實驗，前後測， 上標線都有顯著效果。 | MRI：高有氧 組海馬迴容 積較大， 白質斷裂 少。 |

表二 長期健身運動與記憶表現之相關研究 (續)

| | | | | | | |
|----------------|------------------------------------|---|--|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Yass 等 (2012), | 70 位, 平均 64.87 歲, 男女混合。 | 為期一年的隨機分在兩個組別。 有組：一週一次 40 分的走路訓練。 從一各五分鐘的暖身和伸展開始，每周增加 5 分鐘直到總共 40 分鐘的運動，運動維持在 50-60%最大心跳率。 肌力組：四種肌群訓練、兩種平衡訓練、一個瑜伽伸展以及一種自選運動，可使用壺鈴及彈力帶；每週更換一次訓練課程以維持興趣；運動反覆次數 13-15 之間。 | 順序與逆序記憶速度測驗 空間工作記憶測驗 轉換測驗 威斯康辛卡片分類測驗。 | 工作記憶， 空間記憶， 注意力， 執行功能。 | 有組的短期記憶表現優異於肌力組，複雜的項目則無組別上的差異。 更有顯著的改善。 | MRI：在有氧組發現大腦的白質含量有顯著的改善。 |
| Yass 等 (2012), | 54 位， 平均 11.6 歲， 27 男 27 女。 | 發展遲緩疾病組(DCD)：24 位。 正常組：30 位。 進而比較兩組別之間的神經網絡和工作記憶。 | 視覺空間工作記憶測驗。 | 工作記憶。 | 兩組別在無速度的測驗上無顯著差異，但是在逆速的行為測驗裡，DCD 組表現明顯較差。 | ERP：DCD 組在大腦反應的時間較長和較小的振幅。 |
| Yass 等 (2013), | 60 位， 年齡 11-12 歲， 37 男 23 女。 | DCD 無健身運動訓練組。 DCD 健身運動訓練組：壺鈴訓練 5x100 公尺、3x200 公尺、2x600 公尺。 長距離跑步加上其他一種的有氧運動訓練(腳踏車、跳繩)，大約 30 分，共 16 週，一週三次。 正常發展組。 | 視覺空間工作記憶測驗。 | 工作記憶。 | 運動訓練會使得 DCD 的孩童在規畫記憶表現上有顯著的改善。 | ERP：健身運動可改善 DCD 孩童的 P3 振幅及反應時間。 |

表二 長期健身運動與記憶表現之相關研究 (續)

| | | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|---|------------------------------------|
| <p>Raime 等 (2013), 48 位, 平均 9.9 歲, 27 女。</p> | <p>使用最大攝氧量區分有氧適能, 高有氧適能組, 低有氧適能組。</p> | <p>地圖測驗。</p> | <p>記憶。</p> | <p>完成運動檢測後, 兩組在測驗無顯著之差異。</p> | <p>無。</p> |
| <p>Tarumi 等 (2013), 58 位, 平均 52.5 歲, 21 男 37 女。</p> | <p>坐式生活組; 過去無規律運動的習慣。 健身運動組; 每周參與中等或劇烈運動至少 7.6 小時。</p> | <p>簡易智能測驗, 魏氏智力測驗, 加州口與學習測驗, 路徑描繪測驗, 口語流暢性測驗。</p> | <p>認知功能, 記憶, 執行功能。</p> | <p>完成運動檢測後, 健身運動組整體認知功能較為優異, 且胰島素阻抗較低, 並有較高的最大攝氧量, 最大攝氧量的數值越好則與記憶表現和胰島素濃度有相關。</p> | <p>無。</p> |
| <p>Ichikawa 等 (2013), 44 位, 平均 66.08 歲, 只有女性。</p> | <p>慢性疲勞症候群(CFS)組; 31 位確診的女性。 控制組(正常); 健康的女性。 進而比較兩組間的心肺適能和身體活動。</p> | <p>叫色測驗, 心理動作答題作業, 操作精度。</p> | <p>認知功能, 工作記憶。</p> | <p>完成運動檢測後, 組別發現, 工作記憶在控制組的表現較好, 心肺適能和認知功能顯著關係, 身體活動則無。</p> | <p>無。</p> |
| <p>Garcia 等 (2013), 41 位, 平均 68.34 歲, 男女混合。</p> | <p>分別使用代謝當量 (Metabolic equivalents, METs)、兩分鐘登階 (Two minute step test, 2MST) 和杜克活動狀態指數 (Duke activity status index, DASI) 區分心肺適能。</p> | <p>加州口語學習測驗, 複雜圖形測驗。</p> | <p>工作記憶。</p> | <p>完成心肺測驗後, 2MET 和 DASI 可以有有效的預測技術表現, 但是 METs 和 2MET 則有顯著關係, DASI 則無差異。</p> | <p>無。</p> |
| <p>Chang 等 (2013), 40 位, 年齡 65-72 歲, 男女混合。</p> | <p>高身體活動組, 低身體活動組。</p> | <p>斯騰伯格測驗。</p> | <p>工作記憶。</p> | <p>無標記。</p> | <p>增加 P3 與 N1 振幅, 且減少 P3 潛伏時間。</p> |

表二 長期健身運動與記憶表現之相關研究 (續)

| | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---|---|----------------------|--|---|--|
| Pontifex 等 (2014) ⁹ | 75 位 年齡 20.2 歲 25 男 40 女 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高有 氧適能組 低有 氧適能組 | 長期記憶測驗 操作難度 N 項作業任務 連續反應時間測驗 | 長期記憶 工作記憶 內隱記憶 | 完成運動檢測 後 後 後 後 | 低有 氧適能組在內隱 記憶和長期記憶的表 現較差 | 無 |
| Wendell 等 (2014) ⁹ | 615 位 平均 56.1 歲 男女混合 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高有 氧適能組 低有 氧適能組 | 班穎視覺回憶測驗 加州 口語學習測驗 常識、記憶、注意力測驗 簡短智力測驗 | 短期記憶 工作記憶 認知功能 | 該測驗為縱貫 性測驗，並且每 兩年做一次有 氧適能和行為 測驗 | 較高的有 氧適能與 認知功能 的表 現呈 正相 關 | 無 |
| Zhu 等 (2014) ⁹ | 2747 位 年齡 18-30 歲 男女混合 | 為期 25 年的縱貫性實驗，比較心肺適能與認知 功能的關聯 | 聽語文學習測驗 符號轉換測驗 | 工作記憶 | 開始後的第 2、 5、7、10、15、 20 和 25 年的時 候測驗 | 有 氧組的短期記憶表 現優於肌力組，剩餘的 項目則無組別上的差 異 | 無 |
| Tian 等 (2014) ⁹ | 164 位 平均 82.9 歲 79 男 85 女 | 使用攝氧量區分有氧適能 高有 氧適能組 低有 氧適能組 | 符號轉換測驗 簡易智力測驗 | 工作記憶 | 完成運動檢測 後 後 | 在老年人身上發現 較高的有 氧適能 與工作 記憶表 現較優 | MRI：發現 高有 氧適能 者大 腦結構 較為完 整 |
| Baym 等 (2014) ⁹ | 68 位 平均 21.79 歲 32 男 36 女 | 使用最大攝氧量區分有氧適能 高有 氧適能組 低有 氧適能組 | 關聯記憶 物件記憶 | 工作記憶 | 完成運動檢測 後 後 | 有 氧適能與關聯記憶 有關，但和物 件記憶則無 | 該測驗使用 眼動追蹤 |