

## 健身運動對執行功能的影響：威斯康辛卡片分類測驗的視角

王俊智<sup>1</sup> 吳聰義<sup>1,2</sup> 吳治翰<sup>1</sup> 張育愷<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立體育大學競技與教練科學研究所 <sup>2</sup>國立臺灣體育運動大學技擊運動學系

### 摘要

健身運動對認知功能的影響是當代研究非常熱門的議題。實證研究或統合分析多顯示，慢性或急性健身運動對認知功能的正面效益。研究更進一步指出，健身運動對於執行功能之效果尤佳。然而，過去在執行功能量測的擇選上有所侷限，而研究者呼籲採用神經心理測量的可能性。為進一步瞭解健身運動對執行功能的影響，本文以威斯康辛卡片分類測驗為視角，並聚焦於威斯康辛卡片分類測驗的簡介、威斯康辛卡片分類測驗與執行功能在認知神經科學的相關研究，以及健身運動與威斯康辛卡片分類測驗表現之相關研究進行回顧。結果顯示，前額葉在威斯康辛卡片分類測驗的表現扮演著重要的角色，尤其是在背外側前額葉。此外，雖然採用威斯康辛卡片分類測驗的研究仍屬少數，近幾年已有將神經心理測量應用在健身運動與執行功能的研究，而多數研究皆呈現健身運動對 WCST 表現有其正向影響。未來研究可將威斯康辛卡片分類測驗應用於探討不同劑量之健身運動與執行功能之議題，並可結合神經造影分析。此外，健身運動亦可應用於與執行功能衰退有關之疾病，作為臨床病患促進心理健康的途徑。

**關鍵詞：**威斯康辛卡片分類測驗、健身運動、認知、執行功能

---

主要聯絡者：張育愷

聯絡地址：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、緒論

雖然大腦與認知功能會隨著年齡的增加而逐漸衰退,然該退化現象並非決不可逆,個體可能透過多種不同的活動介入改變此老化之現象 (Chang, Tsai, Huang, Wang, & Chu, 2014), Rowe 與 Kahn (1997) 將維持較佳的身體與認知功能者視為成功老化 (successful aging), 亦代表著認知功能有其可塑性。因此,如何增進或維持認知功能成為當代重要的議題。

Hillman, Erickson, 與 Kramer (2008) 指出, 身體活動、智力活動的涉入、社會互動, 以及飲食可被視為維持認知功能與減緩認知衰退的生活型態因子。其中, 身體活動與認知功能的探討已於近四十年前受到關注。許多實證研究顯示健身運動可促進認知功能, 而該正面效益並可呈現於慢性健身運動 (chronic exercise) 或急性健身運動 (acute exercise) 等兩健身運動範疇 (陳豐慈、王俊智、祝堅恆、張育愷, 2013; 陳豐慈、王俊智、齊璘、張育愷, 2013; Chang, Hung, Huang, Hatfield, & Hung, 2014), 其相似結果亦獲統合分析研究所支持 (Etnier et al., 1997)。此外, Lista 與 Sorrentino (2010) 進一步提出健身運動增進認知功能之潛在生物機制, 其指出健身運動可增加大腦衍生神經滋養因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 的分泌, 並藉由促進血管的新生, 提升大腦的血流, 以及增加細胞和神經元增生。Colcombe 與 Kramer (2003) 同樣以統合分析再次證實有氧健身運動對認知功能的效益, 並發現健身運動對不同的認知功能向度影響並不一致, 例如: 健身運動對於執行功能 (executive function) 的效果最佳, 接著是控制型態、空間型態, 最後方為速度型態的認知功能。近期的實證研究亦支持這樣觀點, 亦即相對於基礎的認知功能, 健身運動對較高級的執行功能有較多的效益 (Chang, Tsai, et al., 2014; Pontifex, Hillman, Fernhall, Thompson, & Valentini, 2009)。執行功能係屬較高級的認知功能, 負責控制與調節較低等級的認知處理與目標導向或未來取向的行為 (Alvarez & Emory, 2006)。執行功能包含之次功能, 如抑制、轉換、工作記憶、計畫 (Sergeant, Geurts, & Oosterlaan, 2002)、選擇、策劃、計算過程的協調、和心理彈性 (Pontifex et al., 2009) 等。此外, 執行功能與額葉已被普遍地連結討論 (Demakis, 2004)。

Etnier 與 Chang (2009) 建議探討身體活動對執行功能的影響時, 建議使用神經心理測驗作為執行功能之測量工具。據該些學者統整臨床上常用來測量執行功能的神經心理測驗後發現, 威斯康辛卡片分類測驗 (Wisconsin Card Sorting Test, WCST) 為最普遍使用於量測執行功能的工具, 有超過 75% 的神經心理學家

使用，其對於檢測額葉損傷具有較高的敏感度；然而當前該工具的使用仍不普遍。本文目的即是回顧當前採用 WCST 來探討健身運動與執行功能之研究，並聚焦介紹 WCST 的指標意涵、WCST 在臨床上之應用，以及在應用於探討健身運動對執行功能之影響等部分作論述。期望藉由文獻之回顧與論述，提出未來研究該議題的方向與建議。

本研究主要藉由威斯康辛卡片測驗來探討健身運動與執行功能之關係。透過多個電子網路資料庫進行國內外文獻搜尋，其包含華藝線上圖書館、Pubmed、ScienceDirect。搜尋關鍵字包含 exercise (健身運動)、physical activity (身體活動)、cognitive function (認知功能)、executive function (執行功能)、Wisconsin Card Sorting Test, WCST (威斯康辛卡片分類測驗)。透過以上關鍵字於篇名與摘要進行交叉搜尋。最後，將重複的文獻予以刪除。此外，僅採納單一探討威斯康辛卡片測驗，及以健身運動相關變項介入之文獻。

## 貳、WCST 簡介

### 一、WCST 指標之意涵

WCST 較常使用的版本是 WCST 短版 (Heaton, Chelune, Talley, Kay, & Curtiss, 1993)。該版本係依據 Grant 與 Berg (1948) 的典範與計分方式所設計而成，適合檢測相當廣泛的年齡族群 (20 歲至 89 歲)。該測驗包含 4 張刺激卡，128 張反應卡。四張刺激卡內含不同幾何圖形，四張卡片內容分別為：一個紅色三角形、兩個綠色星形、三個黃色十字，以及四個藍色圓形。該測驗要求實驗參與者以反應卡與刺激卡進行配對。分類過程中不會給予任何指引，直到確定配對的卡片後，將會給予配對「正確」或「錯誤」的回饋。實驗參與者需透過回饋，尋找正確的配對規則。當實驗參與者連續正確的完成規定之數量後，即會改變配對之規則。此測驗結束的指標如下：其一，完成六個分配的種類；其二，完成 128 張反應卡的配對。只要達到其中一個結束指標，即表示完成測驗。

WCST 可以包含十多個不同的指標主要包括類型的完成數量、固執性錯誤的數量 (number of perseverative errors)，以及非固執性錯誤的數量 (number of non-perseverative errors) (Nyhus & Barcelo, 2009)，但大多數研究僅倚賴兩個或者三個指標分析。例如：Dietrich 與 Sparling (2004) 擷取了錯誤總數、固執性反應數、固執性錯誤、非固執性錯誤、概念水準反應，並將該些指標詮釋為工作

記憶、持續注意力，以及反應抑制。相似地，Huizinga, Dolan, 與 van der Molen (2006) 對固執性錯誤的詮釋與 Dietrich 與 Sparling (2004) 相同；然而有亦有學者將固執性錯誤詮釋為轉換與彈性，而另一個指標完成分類總數，被詮釋為注意力分配與計畫 (Lin, Chan, Zheng, Yang, & Wang, 2007)。Greve, Ingram, 與 Bianchini (1998) 將 WCST 指標區分為三大類，第一類的指標包含固執性錯誤、固執性反應、概念水準反應、完成分類總數，以及正確總數，該類別被視為轉換的能力；第二類為非固執性，其被視為問題解決的能力；最後，第三類為維持組數的失敗 (failure to maintain set)，則被視為注意力維持的能力。

## 二、WCST 的調節因子

在 WCST 的使用上，許多因子可能影響著該測驗之表現，以下以年齡、教育、性別、種族四個調節因子進行探討。

**年齡：**與其他人口資料變項相較下，年齡此變項與 WCST 表現的關係最為密切，其呈現二次方的影響 (Heaton et al., 1993)。Ashendorf 與 McCaffrey (2008) 的研究發現年輕人在 WCST 的第一個種類的達成數、固執反應和固執性錯誤的表現優於老年人。在後續的研究亦有許多以 WCST 探討執行功能與年齡之相關研究，同樣地發現執行功能在不同年齡上有顯著差異 (Huizinga et al., 2006; Salthouse & Siedlecki, 2007; Taconnat, Clarys, Vanneste, Bouazzaoui, & Isingrini, 2007)。然而，亦有不一致的研究發現。例如：Boone, Ghaffarian, Lesser, Hill-Gutierrez, 與 Berman (1993) 指出老年人 (年齡 60-69 歲) 比中年人 (年齡 45-49 歲) 達成較多的種類數，且有較少的固執性錯誤產生。此異歧的結果可能係由於實驗設計的差異所至。為進一步釐清，研究採取統合分析進行 WCST 在年齡上的探討。結果指出，年輕人 WCST 表現優於老年人。此外，WCST 的版本對於區辨不同年齡層的認知表現意有所差異。例如：相較於 Heaton 版本，Nelson 版本的 WCST 會出現較強韌的年齡差異。而就 WCST 的指標而言，固執性錯誤比完成分類總數較為敏感。因此，WCST 可以明顯量測出不同年齡之間執行功能的差異，而其中以固執性錯誤此指標對於年齡有較佳的敏感度 (Rhodes, 2004)。

**教育：**教育程度與 WCST 的分數亦有相關 (Strauss, Sherman, & Spreen, 2006)，且 WCST 修改過的版本亦顯著受教育所影響 (Lineweaver, Bond, Thomas, & Salmon, 1999)。Boone 等 (1993) 的研究發現，研究所教育程度的實驗參與者比高中教育程度者在固執性反應、總錯誤數、固執性錯誤率、概念水準反應率的

WCST 分數，有顯著較佳的分數。然而，高中教育程度與大學教育程度的實驗參與者間，或大學教育程度與研究所教育程度的實驗參與者之間則無差異。此外，Shu, Tien, Lung, 與 Chang (2000) 發現父親的教育程度對小孩 WCST 的分數亦有顯著的影響。有鑑於該些研究的發現，教育此調節因子需在進行 WCST 表現的分析中列入考慮。

**性別：**性別是一個備受爭議的話題 (Strauss et al., 2006)。WCST 原創者之一，Heaton 等 (1993) 提出 WCST 表現未明顯受到性別所影響。此外，後續亦有研究發現相似的結果 (Arffa, Lovell, Podell, & Goldberg, 1998; Laiacona, Inzaghi, De Tanti, & Capitani, 2000; Shu et al., 2000)。然而，Boone 等 (1993) 卻發現中年到老年女性者的 WCST 表現優於男性。該學者並進一步探討創傷性腦損傷病患之 WCST 表現與性別之關係，結果亦同樣顯示女性優於男性。此相同的結果亦發現於多發性硬化症 (multiple sclerosis) 的患者上。然而，在一般正常實驗參與者，並未發現 WCST 的表現在性別上有明顯差異 (Beatty & Aupperle, 2002)。因此，性別是否會影響 WCST 的表現或是否性別僅影響某些特定族群，仍需要有更多證據來證實。

**種族：**種族亦有可能成為 WCST 的調節因子 (Niemeier, Marwitz, Leshner, Walker, & Bushnik, 2007)。Shu 等 (2000) 研究結果顯示，美國孩童在種類完成數高於台灣的孩童，且固執性錯誤的分數低於台灣的孩童。此外，Shan, Chen, Lee, 與 Su (2008) 比較台灣人與美國人的 WCST 分數相較下，結果發現大部分年齡層的美國人的表現優於台灣。然此現象亦可能非由種族造成的，而是文化的差異所產生的 (Boone, Victor, Wen, Razani, & Ponton, 2007)。另外 Proctor 與 Zhang (2008) 的研究結果在 WCST 的表現上，未發現不同種族間有明顯差異存在。因此，種族是否會影響 WCST 的表現，還待日後更多研究進一步釐清。

### 參、WCST 與執行功能在認知神經科學的相關研究

透過認知神經科學手段，研究者能更精確的瞭解大腦活動情形。多數有關 WCST 應用於神經造影之研究指出，在額葉或前額葉的區域發現明顯地代謝或神經活動的增加 (Nyhus & Barcelo, 2009)。以下將分別以 WCST 與腦波、事件關聯電位，以及功能性磁共振造影的研究分別進行回顧。

## 一、WCST 與腦波

Chase-Carmichael, Ris, Weber, 與 Schefft (1999) 為檢測 WCST 對於小兒族群的神經學效度 (neurologic validity), 意即測驗量測額葉功能障礙的情況, 透過腦波、磁共振照影、斷層掃描檢測出大腦功能障礙的區域。50 位孩童實驗參與者中, 若額葉的單側或雙側有損傷之孩童, 即歸類至額葉組; 若實驗參與者在額葉以外的區域有單側或雙側損傷者, 則歸類到額葉以外的組別 (extrafrontal); 若受損區域分佈廣泛的是孩童, 將歸類到多重聚焦 (multifocal) 組。在比較三組孩童 WCST 表現後發現, 孩童無論左或右腦半球受損, WCST 的表現皆無差異。更令人驚訝的是三個組別間都沒有差異。雖然 Milner (1963) 指出 WCST 對於背外側前額葉損傷敏感度最高, 然而其未進一步區分損傷於前額葉之具體次區域的結果。未來研究探討大腦損傷與 WCST 表現之關係, 應具體區分大腦損傷的次區域。

Cicek 與 Nalcaci (2001) 提出腦波活動的頻譜分析可以提供與皮質機制有關的重要線索。該些研究者欲透過休息與操作 WCST 時, 雙側大腦半球間非對稱性 alpha 波活化的反應差異, 探討 WCST 表現與休息之間的關係。其研究結果顯示, 皮質區域與兩個波段 (8.6-10.2Hz 與 10.9-12.5Hz) 間呈現顯著的交互作用, 且在休息時, 較大的 alpha power 與較佳的 WCST 表現與有所關聯。而在執行時, 較小的左側前額葉 alpha power 與較大的兩側頂葉區 alpha power 皆與較佳的 WCST 關聯。此外, 其結果亦指出 WCST 執行時, alpha power 於左背側前額葉皮質 (dorsolateral prefrontal cortex) 扮演著重要的角色。該些結果意謂著 alpha 波的活化在閒置狀態與策略狀態, 皆會影響認知或注意力的處理。

Gonzalez-Hernandez 等 (2002) 則以不同頻率 (頻率範圍從 0.5 至 30Hz) 探討腦波在 WCST 執行時的變化, 其為首篇以腦波探討大腦神經網路的研究。具體而言, 研究透過分佈的神經基質所產生之具體振盪情形, 瞭解哪些聚集分佈之網路, 可能支持 WCST 表現。而頻率範圍內區分成  $\alpha$  (8~12Hz)、 $\beta$ -2 (20~25.5Hz)、 $\theta$  (4~6.5Hz)、 $\delta$  (0.5~4Hz), 以及  $\gamma$  (27~30Hz) 五種波段。研究結果顯示, WCST 誘發  $\delta$ 、 $\beta$ -2、 $\theta$ , 以及  $\gamma$  震盪的增加, 然於  $\alpha$  波之區域反而減少。而活化的區域包含額葉的次區域 (frontal sburegions)、顳葉 (temporal cortex)、前扣帶皮質 (cingulate cortex)、海馬旁迴 (parahippocampal)、頂葉 (parietal)、枕顳葉 (occipitotemporal cortex), 以及枕骨區域 (occipital poles)。研究同時也發現腦波於部分區域有重疊現象, 例如: 額葉與顳葉區域皆出現  $\delta$  與  $\theta$  波, 且枕顳葉與頂

葉區域僅出現  $\delta$  波，然  $\theta$  波則未出現於此兩大腦區域。在頂葉區域也顯示出  $\alpha$  與  $\gamma$  波之變化。這些結果意謂著在作業的執行時，不同處理過程大腦亦同時在進行調節。此外， $\delta$ 、 $\beta$ -2、 $\theta$ ，以及  $\gamma$  振盪系統選擇性分佈於不同腦區，且 WCST 之執行與工作記憶與訊息處理有關。因此，需透過多元神經群支持 WCST 之執行。

綜合上述研究，alpha power 於左背側前額葉皮質的活化有助於 WCST 之表現。此外， $\alpha$ 、 $\delta$ 、 $\beta$ -2、 $\theta$ ，以及  $\gamma$  振盪系統皆與 WCST 之表現有關，並選擇性地分布與不同腦區，意即 WCST 的不同執行階段需特定的震盪系統於大腦特定區域產生作用，以有效地執行 WCST。然研究並未發現前額葉損傷患者與健康族群之間的腦波有明顯差異。有鑑於研究探討 WCST 表現與腦波之研究仍較少，未來需更多探究方使 WCST 與腦波之間的關係更為明確。

## 二、WCST 與事件關聯電位

Barcelo 與同儕從 1997 年便開始系統性探討 WCST 表現與事件關聯電位之關係。該學者透過事件關聯電位瞭解於執行 WCST 之不同階段時，不同大腦部位之活化情形。Barcelo 等 (1997) 提出事件關聯電位是一個大腦活動的即時量測方法，其可提供在操作 WCST 時，額葉功能與認知功能之間關係更強韌的證據。在此研究，他們藉由在操作 WCST 電腦版時，紀錄其額葉、額顳葉、顳葉、頂葉，以及枕葉區域的事件關聯電位。探討執行 WCST 時，事件關聯電位於額葉與非額葉區之差異。在作業的部分主要聚焦於每個 WCST 序列的前面與後面試驗，它分成了兩種狀態，分別為注意力向度內的轉換與外部向度的轉換兩類。注意力的內部向度轉換係指維持有關橫跨一個改變刺激序列向度之能力，而外部向度轉換係指轉換注意力從一個舊的到一個新的且有相關刺激之向度。此研究結果顯示，WCST 前面與後面試驗之差異在刺激出現後的 120 毫秒，並且其與集中於左半腦的額顳葉區域負電位有關聯。此外，後面試驗的 P3b 震幅相較於前面試驗的 P3b 振幅大。該發現支持操作 WCST 時，對工作記憶有強烈的需求。此外，Barcelo 與 Rubia (1998) 指出於執行 WCST 的後面試驗時，顳頂區域誘發最大的 P3b 波形，且顳頂葉連結的中間結構較兩側結構更為重要。該區域於刺激卡片出現後的半秒內與完成反應前皆處於活化狀態，意即頂葉與中顳葉區於執行 WCST 亦扮演著重要的角色。然而，近期研究提出執行 WCST 組別轉換時，前額葉與頂葉最為活化 (Mestrovic, Palmovic, Bojic, Treselj, & Nevajda, 2012)。此外，Barcelo 與 Knight (2007) 指出外側前額葉負責執行 WCST 時的轉換能力，前額

葉損傷之患者會影響對於相似與新訊息的抑制與選擇能力。因此，執行 WCST 作業時，所需使用的大腦區域相當廣泛，而使用的主要區域則視操作 WCST 的階段而定。

Barcelo, Perianez, 與 Knight (2002) 的研究主要探討 P300 系統在 WCST 表現的回饋階段與卡片配對階段組別間工作記憶的轉換 (P3a) 與更新 (P3b)。其以聲音作為反應後之回饋，維持訊號為 1000Hz，而轉換訊號為 500Hz，轉換訊號出現則須從舊的分類規則轉換至新的分類規則。其試驗可分為 shift 3D 與 shift 2D 兩種。Shift 3D 表示實驗參與者在工作記憶歷程中掌控 3 個作業規則，例如：抑制之前的規則，然後必須考慮其餘兩個規則進行反應。shift 2D 表示實驗參與者於前試驗後，已排除其中一個規則，僅需考量剩餘的兩個規則。結果發現進行規則轉換時，前額葉扮演著非常重要的角色。P3b 反應出注意力的執行控制；而 P3a 的反應可能與認知彈性有關。此外，P3a 出現在 P3b 相關的工作裡，意即該兩個事件關聯電位成分同時作用於作業轉換的歷程中。具體而言，WCST 需將作業規則儲存於長期記憶中，並提取作業規則至正在作用於準備配對下一張卡片的工作記憶，該認知歷程需 P3a 與 P3b 系統才能成功地完成 WCST 的作業轉換。

Adrover-Roig 與 Barcelo (2010) 的近期研究探討年齡對認知控制之影響，以局部、重新開始、以及混和損耗等作為指標。該研究招募 40 位中年人 (年齡 49-60 歲) 與 40 位老年人 (年齡 61-80 歲)，並指導實驗參與者操作 WCST 電腦作業線索版並同時紀錄事件關聯電位。測驗中，聲音的線索會指示交換或重複作業的規則。研究結果顯示，低控制的中年人僅於作業轉換的情境下，呈現出較大重新開始的損耗與增加線索鎖定的 (cue-locked) P2 振幅 (190-250 毫秒)，其意謂著較無充分面對干擾出現的準備。此外，低控制的成人有較大的混合耗損與較小的線索鎖定的額葉慢負波 (fronto-central slow negativities) (500-700 毫秒)，其意謂著無法有效地維持作業組別的訊息。此外，老年人在單一作業與作業交換的情境中，額葉慢負波皆呈現減少的狀態。該學者總結指出，個體認知控制的差異主要影響作業組別變化與維持的準備，而年齡主要影響目標反應的選擇與作業的執行。

### 三、WCST 與功能性磁共振照影

功能性磁共振照影為具有優越空間解析之神經造影技術，其可以更精確地定義局部結構活動之影響 (Volz et al., 1997)。Monchi, Petrides, Petre, Worsley, 與 Dagher (2001) 的研究使用事件相關功能性磁共振照影，探討 WCST 表現的四個

階段之活動的形態，包括：獲得負面的回饋、負面回饋後的配對、獲得正面的回饋，以及正面回饋後的配對；此實驗設計了兩個控制的階段，包括：控制的回饋與控制的配對。實驗參與者在操作 WCST 與控制的作業時，同時進行功能性磁共振照影的掃描。結果顯示在 WCST 表現於不同階段有其特定不同的前額葉區域投入。而獲得負面的回饋階段與控制回饋相較下，雙側的中央背外側前額葉 (mid-dorsolateral PFC)、中央腹外側前額葉 (mid-ventrolateral PFC)，以及後側前額葉 (posterior PFC) 顯著的增加活化。而負面回饋後配對與控制的配對相較下，皆明顯增加於左被殼 (putamen) 與左背側前額葉之血氧濃度 (blood oxygenation level-dependent, BOLD)，而減少於左後壓部皮質 (restroplenia cortex) 的 BOLD。另獲得正面回饋與控制回饋相較下，皆明顯增加於左中央背外側前額葉、後側前額葉、壓後部皮質，以及左後側前額葉的 BOLD。然而，正面回饋後的配對與控制配對相較下，減少於右壓後部皮質與右後側頂葉的 BOLD。最後，無論獲得正面或負面的回饋，皆增加了中央背外側前額葉的活動，其代表著該前額葉在工作記憶裡扮演著事件監控的角色。而被殼僅於負面回饋後的配對增加活化，於正面回饋後的配對卻未發現明顯增加活化，顯示相較於例行性行為，被殼會有較多的投入於新行為。

Lie, Specht, Marshall, 與 Fink (2006) 藉由功能性磁共振照影檢測 WCST 之表現，將區分出不同的神經網路成分。WCST 依複雜度區分成 3 種等級 (A > B > C)，然後與高等級基準值 (high-level baseline, HLB) 情境互相對照。最後以功能性磁共振照影的數據與個體的行為參數進行分析。研究結果顯示，A 與 HLB 相對照下，WCST 為基礎的整體神經網路包含：額頂葉區域與紋狀體。此外，較複雜的工作記憶運作與右背外側前額葉有關，而簡單的工作記憶運作則與腹外側前額葉有關聯。雙側的喙狀前扣帶皮質 (rostral anterior cingulate cortex) 與顛頂葉交界區處為負責錯誤偵察的注意力網路。然需較多工作記憶與認知控制投入之階段，下尾部前扣帶皮質 (caudal ACC) 與右背外側前額葉皮質的活化增加，即意謂著注意力控制的提升。此外，非額葉的活動亦與組別轉換與工作記憶有關，例如：小腦、上頂葉皮質，以及後壓部皮質。該研究顯示，右背外側前額葉負責執行工作記憶運作與執行功能的主要區域，而喙狀與尾狀前扣帶皮質雖然負責注意控制的執行，然其活化的時間點並未重疊。

Specht, Lie, Shah, 與 Fink (2009) 的研究探討操作 WCST 時，前額網路的變化。此研究是採用自行發展出來的無語音的 WCST 進行施測。該 WCST 包含兩種情境：其一，要求實驗參與者需判斷配對類別為何，當達連續答對幾個試題後，

將會無通知的情況，變更配對之類別；其二，指導情境，該情境會告知正確的配對類別，其為檢測 WCST 的工作記憶，並被視為控制的情境。研究結果顯示，前額葉-頂葉的網路於所有情境皆出現活化，然與事先告知規則的情境相較下，需尋找正確配對規則的情境，其前額葉-頂葉的網路有較多的活化。此外，雖然 WCST 的情境同時需要左與右背外側前額葉的參與，然其各扮演著不同的角色。具體而言，右前額葉廣泛地投入於反應的選擇與認知控制，而左前額葉僅投入於誘導的推理與回饋的整合。

Wilmsmeier 等 (2010) 的研究亦透過事件相關功能性磁共振照影之技術，探討精神分裂症患者於 WCST 的表現，並發現負面回饋與正面回饋後的大腦區域相較下，精神分裂症患者活化的區域相當廣泛，包含下與中前額腦迴、頂葉、顳葉、枕葉、前扣帶皮質、輔助動作區、腦島、尾狀核、丘腦，以及腦幹。然健康族群僅侷限於皮質區域。另外相較於較於健康族群，精神分裂症患者於負面回饋後，喙狀前扣帶皮質有較多的活化，並且負面回饋後的配對期間則於背側前扣帶皮質有較多的活化。該結果意謂著精神分裂症患者於組別轉換時，有較多情緒與認知的需求。因此，精神分裂症患者明顯缺乏執行功能的認知彈性。

#### 肆、健身運動對 WCST 表現之相關研究

許多研究已指出健身運動對執行功能之影響進行探究，其研究內容已探討不同型態之健身運動的類型、時間、頻率與強度等議題。Pontifex 等 (2009) 另指出，有氧健身運動對執行功能有不成比例之影響，亦即對於較複雜的作業會獲得較多來自健身運動之效益。Etnier 與 Chang (2009) 指出 WCST 是在臨床上最廣泛的使用在測量執行功能的測驗，然當前僅有少數之研究將 WCST 應用於健身運動對執行功能的研究上。在該呼籲之下，後續研究已漸採用 WCST 最為研究工具，以下將回顧應用 WCST 於健身運動與執行功能研究做探討。

Dietrich 與 Sparling (2004) 以暫時性前額葉功能低下的假說 (transient hypofrontality hypothesis) 為基礎，探討急性健身運動中是否會降低需倚賴前額葉的認知。此研究包含了兩個實驗。第一個實驗，實驗參與者自由選擇參與跑步或踩腳踏車運動，再將這兩類型的運動之實驗參與者以 2 比 1 的比例隨機分配至運動組與控制組。運動介入階段分別為跑步或踩腳踏車，共歷時 50 分鐘。前五分鐘為熱身，接著逐漸增加至 70%-80%最大心跳率之強度，第一個 20 分鐘實驗參與者專心的跑步或踩腳踏車。於 25 分鐘後，開始操作兩個測驗 (WCST 與 Brief

Kaufman Intelligence Test, K-BIT), 且繼續運動至兩個測驗結束。控制組則站在跑步機上或坐在腳踏車上供 50 分鐘, 在 25 分鐘等待後, 開始操作認知測驗; 而第二個實驗之實驗參與者來自第一個實驗之跑步的實驗參與者, 實驗參與者皆需參與實驗組與控制組, 並且操作需操作步距測量的聽覺序列附加作業 (Paced Auditory Serial Addition Task, PASAT) 與畢保德圖畫詞彙測驗 (Peabody Picture Vocabulary Test, PPVT)。此實驗採組內與完全對抗平衡設計。實驗流程大致與第一個實驗相同, 但它在操作測驗前, 跑步為中等強度, 在 20 分鐘至 40 分鐘時增加了強度, 提高實驗參與者的身體的挑戰, 整個運動時間歷時 65 分鐘。結果顯示無論是跑步或騎腳踏車者皆在 WCST 的表現出現衰退的情形, 並且第二個實驗 PASAT 表現亦發現相似的結果。此研究結果證實耐力健身運動選擇性影響依賴前額葉的執行功能, 例如: 工作記憶、持續的注意力, 以及抑制習慣反應的能力。此外, 在運動中, 操作需要倚賴前額葉認知測驗, 會導致認知表現衰退。然而, 只需少部分前額葉投入之認知處理, 則不受影響。

建立在 Dietrich 與 Sparling 的基礎, Del Giorno, Hall, O'Leary, Bixby, 與 Miller (2010) 進一步驗證該假說, 並聚焦於探討不同時間點 (前、中、後, 以及運動後 20 分鐘) 對 WCST 表現之影響。該實驗中, 每位大學年齡之實驗參與者需首先測量個體之換氣閾值 (ventilatory threshold, VT), 並在之後不同天參與進兩種強度的健身運動 (75%VT 與 VT)。認知測驗在運動中施測, 內容包括事件持續表現作業 (Contingent Continuous Performance Task) 與 WCST 兩種, 運動後立即與運動結束 20 分鐘後, 亦再進行第三及第四次測驗。結果顯示, 運動中執行控制呈現衰退, 支持了暫時性前額葉功能低下假說。此外, 在運動強度為 VT 的情境下, 執行控制的表現仍不佳, 這可能由於在高強度的健身運動後, 需要大量的時間讓大腦恢復平衡狀態。然而, 王俊智、陳豐慈、齊璘、張育愷 (2012) 探討不同健身運動強度時 WCST 表現之影響。該研究結果發現僅高強度急性健身運動會導致 WCST 的表現下降, 其結果支持暫時性前額葉功能低下假說; 然而中與低強度急性健身運動中未發現明顯影響 WCST 表現。該暫時性前額葉功能低下假說受到健身運動強度調節的結果, 亦已由較大樣本數的後續研究提出對該結果更強韌之證據 (Wang, Chu, Chu, Chan, & Chang, 2013)。

另一方面以基因的視角檢視健身運動與認知功能之關係, Etnier 等 (2007), 探討血脂蛋白基因第四型 (Apolipoprotein E-e4, ApoE-e4)、有氧適能, 以及認知表現之間的交互作用, 並以其他不同的認知測量提供更廣泛的認知功能評估。血脂蛋白基因第四型與一般族群認知的衰退有關 (Feskens et al., 1994)。此研究實驗參

與者為認知功能正常，但具有阿茲海默症家庭病史的女性。實驗參與者需至實驗室 3 天。第一天，實驗參與者須完成一些量表 (例如：Folstein Mini-Mental Status Examination; Hamilton Rating Scale for Depression, HRSD; Beck Depression Inventory)，並採集實驗參與者的血液樣本，作為 ApoE 的評估。第二天，實驗參與者需操作認知測驗，包括：聽力語言學習測驗 (auditory verbal learning test, AVLT)、複雜圖形測驗 (complex figures test, CFT)、區間設計作業 (block design task)，以及威斯康辛卡片分類測驗。第三天，實驗參與者需完成強度漸增的健身運動測驗。研究結果顯示 ApoE-e4 與記憶測驗 (AVLT)、PASAT 及 CFT 皆達到顯著交互的關係，然與 WCST 表現卻無影響，顯示 ApoE-e4 與有氧體適能可能僅與特定之認知功能有所關聯，部分地支持認知儲存假說 (cognitive reserve hypothesis)。

Albinet, Boucard, Bouquet, 與 Audiffren (2010) 以生理的視角探討短期健身運動對認知功能之影響，並檢測兩種訓練計畫對心率變異性 (heart rate variability, HRV) 與執行表現的影響。HRV 與執行功能的作業表現有關，並且神經組織對認知、情緒及自動調節與 HRV 和執行功能有密切的關係 (Thayer, Hansen, Saus-Rose, & Johnsen, 2009)。此研究共招募 24 位坐式生活的老年人，並將其隨機分配至 12 週的有氧或伸展課程。每週 3 次訓練，每次一個小時。在有氧訓練課程主要聚焦於提升心血管適能與有氧耐力。有氧運動的核心階段包括走路、循環訓練、登階，以及漸進式跑步；而伸展訓練課程主要聚焦於提升柔軟性、平衡，以及身體意識，此課程核心階段包含整個身體的伸展、平衡控制的健身運動，以及各部位間的協調性健身運動。每個課程包括 10 分鐘暖身、核心階段為 40 分鐘，以及 10 分鐘緩和。所有實驗參與者在訓練課程的前後，皆測量 HRV 與操作電腦版 WCST。結果顯示只有有氧訓練組增加迷走神經調節 (vagal-mediate) 的 HRV 參數，並且也只有氧訓練組增進 WCST 的表現。更顯示了健身運動扮演著心臟與大腦防護的重要角色，並指出健身運動、HRV，以及認知的直接關係。然在伸展運動則在 WCST 的表現未發現差異，意謂著不同運動類型對認知作業的表現會產生不同的效果。

亦有研究採用隨機試驗檢測健身運動對自我陳述的認知症狀與客觀的認知表現測量的影響，Etnier 等 (2009) 以健身運動介入纖維肌痛症 (fibromyalgia syndrome, FMS) 的女性患者，檢視其是否可以改善這些患者的心理與生理症狀。大部分 FMS 的病患除了生理的症狀外，常會經歷憂鬱 (Alfici, Sigal, & Landau, 1989; Da Costa, Dobkin, Dritsa, & Fitzcharles, 2001) 與主觀的認知功能衰退

(Grace, Nielson, Hopkins, & Berg, 1999; Landro, Stiles, & Sletvold, 1997)。所有實驗參與者需介入 18 週的健身運動。健身運動每週從事三天, 每天 60 分鐘。其健身運動內容包含走路 15 分鐘 (55%至 65%最大儲備心跳率)、8 站輕阻力運動循環, 以及靜態拱橋運動 (每次三秒, 重複 10 次)。在健身運動介入的前、後接受心理測量、FMS 症狀、認知測驗, 以及走路能力等檢測。認知測量則分別使用 Pincus 認知症狀問卷 (Pincus Cognitive Symptoms Inventory) 測量認知能力。以雷氏聽力字彙學習測驗 (Rey Auditory Verbal Learning, AVLT) 測量記憶力。接著以步距測量附加的序列注意力作業。最後, 執行功能採用 WCST 與叫色干擾作業 (Stroop interference task) 進行檢測。結果顯示參與 18 週健身運動的實驗參與者比控制組明顯的增進了有氧體適能, 且顯著地降低疲勞、憂鬱, 以及 FMS 的症狀, 然在 WCST 上卻未發現相似的效益。

綜合以上之研究, 當代研究已探討不同的健身運動類型 (例如: 有氧健身運動、伸展運動)、慢性運動 (長期與短期), 以及急性運動、WCST 不同的測量時間, 以及有關健身運動改善執行功能相關之機制 (ApoE-e4 與 HRV), 且多數研究發現健身運動可增進 WCST 表現。此外, 三篇聚焦於健身運動中對 WCST 影響之研究, 其結果部份支持暫時性前額葉功能低下假說。這些研究同時也顯示健身運動的劑量反應上。具體而言, 中等強度的健身運動比高強度的效果較佳。然亦有一篇研究發現慢性運動在 WCST 的表現未發現差異。鑑於以上之描述, WCST 為一個健身運動探討認知功能時中度敏感的工具, 未來研究可進一步探討健身運動影響執行功能之機制, 以獲得健身運動與 WCST 表現之間關係更完整之知識。

## 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, 349-358。
- 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, 45-54。
- 陳豐慈、王俊智、齊璘、張育愷 (2013)。急性健身運動對計畫相關執行功能在立即與延續時間之影響: 前導研究。《大專體育學刊》, 15, 29-39。
- Adrover-Roig, D., & Barcelo, F. (2010). Individual differences in aging and cognitive control modulate the neural indexes of context updating and maintenance during

- task switching. *Cortex*, 46, 434-450.
- Albinet, C. T., Boucard, G., Bouquet, C. A., & Audiffren, M. (2010). Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 617-624.
- Alfici, S., Sigal, M., & Landau, M. (1989). Primary fibromyalgia syndrome-A variant of depressive disorder? *Psychotherapy and Psychosomatics*, 51, 156-161.
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16, 17-42.
- Arffa, S., Lovell, M., Podell, K., & Goldberg, E. (1998). Wisconsin Card Sorting Test performance in above average and superior school children: Relationship to intelligence and age. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13, 713-720.
- Ashendorf, L., & McCaffrey, R. J. (2008). Exploring age-related decline on the Wisconsin Card Sorting Test. *Clinical Neuropsychologist*, 22, 262-272.
- Barcelo, F., & Knight, R. T. (2007). An information-theoretical approach to contextual processing in the human brain: Evidence from prefrontal lesions. *Cerebral Cortex*, 17 Suppl 1, i51-60.
- Barcelo, F., Perianez, J. A., & Knight, R. T. (2002). Think differently: A brain orienting response to task novelty. *Neuroreport*, 13, 1887-1892.
- Barcelo, F., & Rubia, F. J. (1998). Non-frontal P3b-like activity evoked by the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroreport*, 9, 747-751.
- Barcelo, F., Sanz, M., Molina, V., & Rubia, F. J. (1997). The Wisconsin Card Sorting Test and the assessment of frontal function: A validation study with event-related potentials. *Neuropsychologia*, 35, 399-408.
- Beatty, W. W., & Aupperle, R. L. (2002). Sex differences in cognitive impairment in multiple sclerosis. *Clinical Neuropsychologist*, 16, 472-480.
- Boone, K. B., Ghaffarian, S., Lesser, I. M., Hill-Gutierrez, E., & Berman, N. G. (1993). Wisconsin Card Sorting Test performance in healthy, older adults: Relationship to age, sex, education, and IQ. *Journal of Clinical Psychology*, 49, 54-60.
- Boone, K. B., Victor, T. L., Wen, J., Razani, J., & Ponton, M. (2007). The association between neuropsychological scores and ethnicity, language, and acculturation variables in a large patient population. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22,

355-365.

- 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*, 217-223.
- Chang, Y. K., Tsai, C. L., Huang, C. C., Wang, C. C., & Chu, I. H. (2014). Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: General or specific cognitive improvement? *Journal of Science and Medicine in Sport, 17*, 51-55.
- Chase-Carmichael, C. A., Ris, M. D., Weber, A. M., & Schefft, B. K. (1999). Neurologic validity of the Wisconsin Card Sorting Test with a pediatric population. *The Clinical Neuropsychologist, 13*, 405-413.
- Cicek, M., & Nalcaci, E. (2001). Interhemispheric asymmetry of EEG alpha activity at rest and during the Wisconsin Card Sorting Test: Relations with performance. *Biological Psychology, 58*, 75-88.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science, 14*, 125-130.
- Da Costa, D., Dobkin, P. L., Dritsa, M., & Fitzcharles, M. A. (2001). The relationship between exercise participation and depressed mood in women with fibromyalgia. *Psychology, Health & Medicine, 6*, 301-311.
- Del Giorno, J. M., Hall, E. E., O'Leary, K. C., Bixby, W. R., & Miller, P. C. (2010). Cognitive function during acute exercise: A test of the transient hypofrontality theory. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 32*, 312-323.
- Demakis, G. J. (2004). Frontal lobe damage and tests of executive processing: A meta-analysis of the category test, stroop test, and trail-making test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 26*, 441-450.
- Dietrich, A., & Sparling, P. B. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain and Cognition, 55*, 516-524.
- Etnier, J. L., Caselli, R. J., Reiman, E. M., Alexander, G. E., Sibley, B. A., Tessier, D., & McLemore, E. C. (2007). Cognitive performance in older women relative to ApoE-epsilon4 genotype and aerobic fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39*, 199-207.

- 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.
- 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 & Health, 6*, 239-246.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 19*, 249-277.
- Feskens, E. J., Havekes, L. M., Kalmijn, S., de Knijff, P., Launer, L. J., & Kromhout, D. (1994). Apolipoprotein e4 allele and cognitive decline in elderly men. *British Medical Journal, 309*, 1202-1206.
- Gonzalez-Hernandez, J. A., Pita-Alcorta, C., Cedeno, I., Bosch-Bayard, J., Galan-Garcia, L., Scherbaum, W. A., & Figueredo-Rodriguez, P. (2002). Wisconsin Card Sorting Test synchronizes the prefrontal, temporal and posterior association cortex in different frequency ranges and extensions. *Human Brain Mapping, 17*, 37-47.
- Grace, G. M., Nielson, W. R., Hopkins, M., & Berg, M. A. (1999). Concentration and memory deficits in patients with fibromyalgia syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 21*, 477-487.
- Grant, D. A., & Berg, E. A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology, 38*, 404-411.
- Greve, K. W., Ingram, F., & Bianchini, K. J. (1998). Latent structure of the Wisconsin Card Sorting Test in a clinical sample. *Archives of Clinical Neuropsychology, 13*, 597-609.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). Wisconsin Card Sorting Test manual: Revised and expanded. *Odessa: Psychological Assessment Resources.*
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews. Neuroscience, 9*, 58-65.

- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuro-psychologia, 44*, 2017-2036.
- Laiacona, M., Inzaghi, M. G., De Tanti, A., & Capitani, E. (2000). Wisconsin card sorting test: A new global score, with Italian norms, and its relationship with the Weigl sorting test. *Neurological Sciences, 21*, 279-291.
- Landro, N. I., Stiles, T. C., & Sletvold, H. (1997). Memory functioning in patients with primary fibromyalgia and major depression and healthy controls. *Journal of Psychosomatic Research, 42*, 297-306.
- Lie, C. H., Specht, K., Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2006). Using fMRI to decompose the neural processes underlying the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroimage, 30*, 1038-1049.
- Lin, H., Chan, R. C., Zheng, L., Yang, T., & Wang, Y. (2007). Executive functioning in healthy elderly Chinese people. *Archives of Clinical Neuropsychology, 22*, 501-511.
- Lineweaver, T. T., Bond, M. W., Thomas, R. G., & Salmon, D. P. (1999). A normative study of Nelson's (1976) modified version of the Wisconsin Card Sorting Test in healthy older adults. *The Clinical Neuropsychologist, 13*, 328-347.
- Lista, I., & Sorrentino, G. (2010). Biological mechanisms of physical activity in preventing cognitive decline. *Cellular and Molecular Neurobiology, 30*, 493-503.
- Mestrovic, A. H., Palmovic, M., Bojic, M., Treselj, B., & Nevajda, B. (2012). Electrophysiological correlates activated during the Wisconsin Card Sorting Test (WCST). *Collegium Antropologicum, 36*, 513-520.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting: The role of the frontal lobes. *Archives of Neurology, 9*, 100-110.
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin Card Sorting revisited: Distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience, 21*, 7733-7741.
- Niemeier, J. P., Marwitz, J. H., Leshner, K., Walker, W. C., & Bushnik, T. (2007). Gender differences in executive functions following traumatic brain injury.

- Neuropsychological Rehabilitation*, 17, 293-313.
- Nyhus, E., & Barcelo, F. (2009). The Wisconsin Card Sorting Test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update. *Brain and Cognition*, 71, 437-451.
- 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 and Science in Sports and Exercise*, 41, 927-934.
- Proctor, A., & Zhang, J. (2008). Performance of three racial/ethnic groups on two tests of executive function: Clinical implications for traumatic brain injury (TBI). *NeuroRehabilitation*, 23, 529-536.
- Rhodes, M. G. (2004). Age-related differences in performance on the Wisconsin card sorting test: A meta-analytic review. *Psychology and Aging*, 19, 482-494.
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The Gerontologist*, 37, 433-440.
- Salthouse, T. A., & Siedlecki, K. L. (2007). Efficiency of route selection as a function of adult age. *Brain and Cognition*, 63, 279-286.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioural Brain Research*, 130, 3-28.
- Shan, I. K., Chen, Y. S., Lee, Y. C., & Su, T. P. (2008). Adult normative data of the Wisconsin Card Sorting Test in Taiwan. *Journal of the Chinese Medical Association*, 71, 517-522.
- Shu, B. C., Tien, A. Y., Lung, F. W., & Chang, Y. Y. (2000). Norms for the Wisconsin Card Sorting Test in 6- to 11-year-old children in Taiwan. *The Clinical Neuropsychologist*, 14, 275-286.
- Specht, K., Lie, C. H., Shah, N. J., & Fink, G. R. (2009). Disentangling the prefrontal network for rule selection by means of a non-verbal variant of the Wisconsin Card Sorting Test. *Human Brain Mapping*, 30, 1734-1743.
- Strauss, E., Sherman, E., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York: Oxford University Press.
- Taconnat, L., Clarys, D., Vanneste, S., Bouazzaoui, B., & Isingrini, M. (2007). Aging

- and strategic retrieval in a cued-recall test: The role of executive functions and fluid intelligence. *Brain and Cognition*, 64, 1-6.
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37, 141-153.
- Volz, H. P., Gaser, C., Hager, F., Rzanny, R., Mentzel, H. J., Kreitschmann-Andermahr, I., . . . Sauer, H. (1997). Brain activation during cognitive stimulation with the Wisconsin Card Sorting Test-A functional MRI study on healthy volunteers and schizophrenics. *Psychiatry Research*, 75, 145-157.
- 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, 358-367.
- Wilmsmeier, A., Ohrmann, P., Suslow, T., Siegmund, A., Koelkebeck, K., Rothermundt, M., ... Pedersen, A. (2010). Neural correlates of set-shifting: Decomposing executive functions in schizophrenia. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 35, 321-329.

## Effect of exercise on executive function: Wisconsin Card Sorting Test perspective

Chun-Chih Wang<sup>1</sup> Tsung-Yi Wu<sup>1,2</sup> Chih-Han Wu<sup>1</sup> Yu-Kai Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate Institute of Coaching Science, National Taiwan Sport University

<sup>2</sup>Department of Combat Sport, National Taiwan University of Sport

### Abstract

Emerging studies have examining the effects of exercise on cognitive function. Empirical studies and meta-analytic reviews have indicated that both chronic and acute exercise benefit cognitive function, with that executive function has greater facilitation. Nevertheless, the measurements of executive function have been limited and researchers have called for caution to employ more neuropsychological measurement in exercise and cognition field. The purpose of the present study is to examine the exercise effect on executive function from Wisconsin Card Sorting Test (WCST) perspective by reviewing the introduction of WCST, the findings regarding to WCST and executive function in neuropsychological field, and the exercise effect on WCST performance. The results revealed that the prefrontal cortex play a crucial role during administrating WCST, especially the dorsolateral prefrontal cortex. Although WCST studies associated with exercise and executive function is only recently examined, majority of these studies revealed the positive exercise effect on WCST. The findings suggested that future research could explore dose-response relationship of exercise on executive function using WCST and neuroimaging technique. In addition, future research could also examine the effects of exercise on executive function in population with disease related to cognitive decline in order to identify the role of exercise treatment on psychological health.

**Key words: cognition, executive function, exercise, Wisconsin Card Sorting Test**