

一般發展孩童執行功能與動作表現相關性研究之探討： 文獻回顧

陳妍妃¹ 林克忠¹ 謝好歲² 王浩妮¹

背景與目的：執行功能與動作表現在過去研究中常被視為兩個不同的領域而分開探討，但近年來有學者提出，這兩個看似不相關的領域，可能有著根本上的關連。以發展的觀點來看，學者們認為執行功能與動作技巧有類似的發展時程；且神經影像結果亦顯示，當從事某些認知相關任務時，負責動作的小腦區域會出現共同活化的現象。因此本文將透過文獻回顧，探討一般正常發展孩童執行功能與動作表現之相關性。**方法：**藉由 PubMed、Medline 等資料庫，使用 executive function, shifting, inhibition, working memory, motor/motor skills/motor performance, children 等關鍵字，搜尋近 10 年之相關文獻，最後共選出 10 篇符合之文獻。**結果：**10 篇文獻中，受試對象為一般發展孩童，年齡介於 3-16 歲。文獻回顧結果顯示一般發展孩童之執行功能與動作表現在部分項目呈顯著相關，如：執行功能之抑制能力和工作記憶與手部靈巧度、丟接技巧顯著相關；而執行功能之抑制、工作記憶測驗與平衡能力則不相關。而研究進一步發現，執行功能與動作表現的相關性存在於較複雜的動作協調表現上，如：路徑描繪、串珠、球類丟接等；而對於較基本的動作能力（如：平衡能力）則與各類執行功能不盡相關。此外，有研究顯示，即使是一般發展孩童，若其執行功能或動作技巧表現較差，容易伴隨另一項功能表現的缺失。**結論：**綜合上述文獻回顧結果顯示，執行功能與動作表現部分測驗呈顯著相關，執行功能對一般發展孩童之影響可能在於較複雜的動作協調表現。此外，目前文獻對於執行功能的定義與評估仍未有黃金標準，因此，對於如何適切地定義與評量孩童之執行功能，仍待未來探究與克服。

關鍵詞：抑制，工作記憶，轉移，動作表現，兒童

前言

執行功能為一保護傘名詞，涵蓋複雜認知過程，包含計畫、抑制控制、注意力彈性以及工作記憶等，構成彈性目標導向的行為基礎。在 Miyake、Friedman、Emerson、Witzki 與 Howerter (2000) 以大學生族群為對象的研究中，驗證性因素分析顯示執行功能包含 3 個潛在變項，即為抑制 (inhibition)、工作記憶 (working memory) 和轉移 (shifting)。抑制能力意指刻意抑制優勢的、自

動的，或是預期要做的反應，以執行目標行為。工作記憶意指更新和監控工作記憶表現，將與任務相關之訊息編碼，且能修正舊的、不相關的訊息。轉移意指在不同任務、操作或心向作用轉移的能力，也稱作注意力轉移或任務轉移。在兒童族群方面，Welsh、Pennington、與 Groisser (1991) 和 Hughes (1998) 分別以 8-12 歲與 3-4 歲的孩童為研究對象，他們利用主成分分析 (principal components analysis) 探討執行功能的潛在因素，得到與 Miyake 等人一致的結果。因

國立台灣大學醫學院職能治療學系 (所)¹ 長庚大學醫學院職能治療學系暨行為科學研究所²

通訊作者地址：王浩妮，100 台北市中正區徐州路 17 號 4 樓，電話：02-33668163；電子郵件：mhwang@yu.edu.tw

接受刊載：102 年 6 月 14 日

此本研究將採用上述研究之共識，將執行功能此一向度定義為包含：抑制、工作記憶和轉移三個層面來進行探討。

執行功能與動作表現在過去研究中常被視為兩個不同的領域而分開探討，但近年來有學者提出，這兩個看似不相關的領域，可能有著根本上的關連性(Barkley, 1997; Diamond, 2000; Livesey, Keen, Rouse, & White, 2006; Michel, Roethlisberger, Neuenschwander, & Roebers, 2011; Piek et al., 2004; Roebers & Kauer, 2009)。Barkley (1997)年提出「執行功能神經心理混合模式 (Hybrid neuropsychological model of executive function)」，指出執行功能中的行為抑制、工作記憶、目標導向、執行複雜和新穎行為能力等會直接影響動作品質與動作流暢度。此外，也有學者引用 Sergeant (2000) 提出之「三階梯式訊息處理之認知能量模式 (Three-tiered cognitive-energetic model of information processing)」來佐證執行功能與動作表現之相關性，認為此模式中的最高層級—執行功能管理系統，包含回顧表現、矯正錯誤、計畫、與監控能力等，亦是執行動作技巧所需之重要元素，藉此推論執行功能與動作表現之間可能有著密不可分的關係(Livesey et al., 2006)。

以發展觀點來看，學者們認為執行功能與動作技巧有類似的發展時程。有研究指出，孩童之執行功能與動作協調表現在學齡前期與學齡早期皆為快速發展時期(Livesey et al., 2006; Michel et al., 2011)。Michel等人(2011)表示執行功能為從嬰兒時期到青少年長時間的發展，此發展脈絡與前額葉皮質的發展有著密切的相關性，而學齡前和小學時期則為執行功能快速發展的重要時期(Chan et al., 2010; Michel et al., 2011)；此外，此時期也是孩童動作協調技巧由不成熟的動作控制發展為成熟動作控制系統的關鍵期(Chan et al., 2010)。Diamond (2000) 則表示較複雜的執行功能（如：正確訊息轉換、心理彈性訊息處理以及同時考慮問題的多面向等較複雜之能力）與高技巧的動作表現（如：精細動作控制、雙手協調以

及視動技巧等），皆在青少年時期會達到發展顛峰。雖然不同學者著重的年齡層不同，但結果顯示不論在何時期，執行功能與動作協調、控制在發展時程上確實是有重疊的，因此推論兩者間可能存在相關性。

以大腦區域活化的觀點來看，可更進一步支持此兩者的相關性。根據功能性神經影像研究結果顯示，在從事認知功能相關任務時，負責認知能力的腹側前額葉皮質區域與負責動作控制之小腦區域，會產生同時活化的現象，學者將此現象稱為共同活化 (co-activation)；相關研究也進一步發現，執行任務之記憶需求與兩區域的活化程度相關，在執行較預想中困難、新奇、有變化、需快速反應與專心度之任務時，腹側前額葉皮質與小腦兩區域的活化量皆會同時增加；反之，當任務練習一段時間已不需太多認知能力時，前額葉皮質活化量會下降，同時小腦的活化量也會跟著減少(Diamond, 2000)。另一方面，以神經路徑的觀點來看，Livesey 等人(2006)提出執行功能中的抑制能力與動作表現具關連性，如：負責動作控制的基底核可接收來自前額葉（一般認為控制執行功能的主要區域）的訊息後進行動作的選擇，進而抑制不想要的動作；而基底核中的紋狀體，接收來自不同腦區的訊息，再將訊息傳至蒼白球並輸出抑制訊息到其他腦區，如：動作輔助區，動作輔助區可在執行反應抑制任務時，抑制不必要的動作皮質區域，進而達到有效之動作控制能力。綜合上述觀點可知，在進行執行功能任務時，動作與執行功能主要負責的腦區域皆會活化；而在進行動作任務時，也牽涉到執行功能的表現，因此可推測執行功能與動作表現可能具有高度的關連性。

在過去研究中發現，執行功能與動作表現的缺失在許多有臨床診斷的孩童身上是同時存在的，如研究發現注意力缺陷過動症 (attention deficit-hyperactivity disorder, ADHD) 孩童常合併有執行功能缺失與動作表現障礙的問題(Barkley, 1997; Barkley & Murphy, 2006; Diamond, 2000; Michel et al., 2011; Piek et al., 2004; Sergeant,

2000; Shimoni, Engel-Yeger, & Tirosh, 2012); 另一方面，探討發展協調障礙 (developmental coordination disorder, DCD) 研究也發現，DCD 孩童並非只存在動作協調的問題，執行功能的缺失亦常被提及，如：視覺空間工作記憶的障礙 (Alloway, 2007; Alloway & Temple, 2007)，或者是無法順利完成高度執行功能需求的任務（如：需有速度或正確度的需求、偵測錯誤、預期或事先計劃等）(Piek et al., 2004; Wuang, Su, & Su, 2011)。由上述 ADHD 與 DCD 孩童研究發現可推論，執行功能與動作表現似乎存在某種程度的相關性。

如前所述，過去對於執行功能與動作表現相關性之理論與機制（如：發展時程、神經路徑、大腦活化），皆支持執行功能與動作表現存在某程度的關聯性，但目前尚未有研究進行此議題的統整。因此，本文將透過文獻回顧之方式，期望能藉過去研究成果之彙整，進一步討論與驗證此觀點。此外，為試圖檢驗執行功能與動作表現之相關性並非巧合，亦非疾病診斷或單一領域缺失造成的全面影響，本文獻回顧主要以正常發展孩童為族群的研究，進行兩者相關性的探討。

方法

經由 PubMed 與 Medline 等電子資料庫，使用 executive function, shifting, inhibition, working memory, motor/motor skills/motor performance, children 等為關鍵字進行近 10 年內 (2002-2012) 發表之文獻搜尋，資料庫初步搜尋結果有 980 篇文獻。第一階段排除：(1)非探討相關性的研究，如僅探討執行功能或動作表現、預測性的縱貫性研究（如：早期認知 / 動作表現預測未來認知 / 動作表現），或是療效研究等；(2)研究對象不包含一般發展孩童；(3)非英文書寫。排除後共有 18 篇文獻符合納入標準。最後根據內文進行篩選，進一步排除 9 篓體能活動之相關研究（如：腳踏車、跑步機、有氧運動等），因其與動作表現相關之成效評量為心跳速率、耗氧量、

腕動計、身體活動量表等指標，此與一般臨床所使用的動作表現評估測驗並不相同，因此予以排除。最後共有 9 篓文獻符合納入標準，再依此 9 篓文獻之參考資料中增加 1 篓符合篩選條件之文獻，最後總共選出 10 篓文獻。

結果

表一列出各篇參考文獻的研究目的與方法、受試者、評量內容與研究結果。

受試者與研究設計

所納入之文獻的受試者年齡介於 3-16 歲，其中有 4 篓研究以 5-6 歲之一般發展孩童為主 (Livesey et al., 2006; Michel et al., 2011; Niederer et al., 2011; Wassenberg et al., 2005)；6 篓研究對象年齡分布範圍較廣，分別為 6-9 歲 (Roebers & Kauer, 2009)、6-14 歲 (Piek et al., 2004)、3-14 歲 (Chan et al., 2010)、4-11 歲 (Davis, Pitchford, Jaspan, McArthur, & Walker, 2010)，以及 12-16 歲 (Rigoli, Piek, Kane, & Oosterlaan, 2012a, 2012b)。所有研究皆在當地一般幼稚園及學校進行招募，排除非一般性發展之孩童，如：魏氏兒童智力測驗之語文理解合成分數 (Wechsler Intelligence Scale for Children IV Verbal Comprehension index, VCI) 小於 80 分者 (Piek et al., 2004; Rigoli et al., 2012a, 2012b)、發展遲緩病史、身體障礙、慢性疾病、廣泛性發展遲緩或神經疾患 (Chan et al., 2010; Rigoli et al., 2012a, 2012b; Roebers & Kauer, 2009) 等，並皆在取得家長同意後進行施測。

此 10 篓文獻中，有 1 篓為橫斷性與縱貫性的綜合研究 (Niederer et al., 2011)、2 篓為縱貫性追蹤型研究 (Cameron et al., 2012; Michel et al., 2011)，其餘 7 篓為橫斷性研究。此外，文獻中包含對可能影響執行功能與動作表現相關因子之探討，包含年齡、性別 (Wassenberg et al., 2005)、社經地位 (Michel et al., 2011; Niederer et al., 2011; Rigoli et al., 2012a, 2012b)、注意力

表一 研究目的與方法、受試者特色、評量內容、研究結果

第一作者 (年代)	研究目的、受試者特色 與研究方法	評量內容		研究結果
		執行功能	動作表現	
Piek (2004)	澳洲柏斯(Perth) 研究目的：探討常態樣本學齡期孩童動作協調和執行功能的相關性；且將這群常態樣本中有動作協調障礙與正常動作協調者進行分組與比較 受試者：238名（男117，女121），年齡介於6-14歲（平均年齡10.58歲），於澳洲柏斯地區42所學校進行招募 • 排除VIQ < 80者 受試者分組： • NDI ≤ 80：動作障礙組 (N = 28，男20，女8) • NDI ≥ 100：控制組 (N = 76，男33，女43) • 控制變因：年齡、性別、口語能力(VIQ)、注意力缺失(CBCL)	停止抑制測驗(GNG) 路徑描繪/記憶更新測驗 目標忽略測驗(GNT) VIQ	麥凱倫神經肌肉發展評量 之神經發展指數(MAND-NDI)	全部樣本： • 注意力缺失與NDI和3項執行功能呈負相關 • 年齡與各項執行功能皆呈顯著相關；VIQ與GNT相關 • 性別方面，整體來說女生的速度較慢於男生，但正確率較高 • 控制各項因素後，僅TMT與NDI顯著相關 分組樣本： • 動作障礙組與控制組在TMT表現有顯著差異
Wassenberg (2005)	荷蘭馬斯垂克(Maastricht) 研究目的：控制5-6歲孩童注意力後，認知與動作表現相關性，且欲探討此相關性是否為全面性相關 受試者：378名（男213，女165），年齡介於5-6歲。本研究為“馬斯垂克注意力研究(the Study of Attention Disorder Maastricht)”的一部份。研究對象為馬斯垂克一般幼稚園進行招募：除了正常發展孩童，本研究也將有行為問題風險的孩童納入，以CBCL進行分組。 • 外顯組：CBCL外顯行為分測驗得分高於90個百分比和/or CBCL注意力問題得分高於95(N = 145) • 內隱組：CBCL內隱行為得分高於90個百分比，以及不符合E組條件者(N = 46)	PAKIT-語義流暢度測驗 (VFT) K-ABC-詞彙順序測驗 (WOT)	馬斯垂克動作測驗(MMT) K-ABC-數字背誦測驗 (NRT) 漸進式圖形測驗(PFT)	• 全面性相關：研究將含有動作要素的認知測驗排除，得到一個認知的綜合分數，但此綜合分數與動作測驗結果未達顯著相關，因此認為認知與動作間並非全面性相關 • 認知與動作相關性在以CBCL分組的族群中無顯著差異 • 控制注意力後，VFT、WOT與MMT顯著相關 • 邏輯迴歸分析：執行功能表現平均或低於平均者之VFT、WOT順序與MMT顯著相關，且勝算比大於1；執行功能平均或高於平均者則無相關

表一 研究目的與方法、受試者特色、評量內容、研究結果（續）

第一作者 (年代)	研究目的、受試者特色 與研究方法	評量內容		研究結果
		執行功能	動作表現	
Livesey (2006)	<ul style="list-style-type: none"> 控制組：CBCL 總分在正常範圍 (N = 187) 其他因素：性別、注意力 (CBCL) <p>澳洲雪梨 (Sydney) 研究目的：探討學齡前以及幼稚園孩童反應抑制與動作表現相關性 受試者：36 名（男 15，女 21），年齡介於 63-83 個月（平均年齡 75 個月），於雪梨一間私立幼稚園與兩間公立學校課後照顧中心進行招募 其他因素：年齡、外顯行為 (RBRI)</p>	馬斯垂克動作測驗 (MMT) 改良版停止訊號測驗 (SST) MABC 史楚普日夜測驗 (DNS)	<ul style="list-style-type: none"> 抑制注意力後，性別因素在不同執行功能項目與動作表現達顯著： 年齡與執行功能、動作測驗皆為顯著相關 外顯行為與 DNS、MABC 之手部靈巧度、球類技巧顯著相關 SST、DNS 與 MABC 手部靈巧度、丟接技巧分測驗顯著相關 研究結果發現，受試者在 DNS 的抑制年齡後，兩側夾擊測驗、賽門測驗和 CFT 與跳躍；CFT 與側向移動；BCR、賽門測驗與姿勢轉換；賽門測驗、CFT 與插棒呈現顯著相關 控制年齡與速度後，僅兩側夾擊與跳躍；BCR 與姿勢轉換仍呈顯著相關 執行功與動作表現之相關性在第一次測驗（新穎任務）時顯著相關，但第二次測驗則不相關 	
Roobers (2009)	<p>瑞士 研究目的：探討 7 歲常態樣本執行功能與動作控制的相關性 受試者：112 名（男 53，女 59），年齡介於 5-9 歲（平均年齡 7 歲 6 個月），於瑞士四所公立學校一年級進行招募</p> <ul style="list-style-type: none"> 排除有發展遲緩病史者 排除測驗反應時間少於 150ms 或多於 2500ms，超過 3 個標準差者（排除 2% 的受試者） 控制變因：年齡、速度（插棒測驗結果） 	逆向顏色記憶測驗 (BCR) 兩側夾擊測驗 賽門測驗 認知彈性測驗 (CFT) 插棒		
Chan (2010)	<p>中國 研究目的：神經性軟性症狀在一般發展孩童與 ADHD 孩童的盛行率，與其和神經心理因素的相關性 受試者：一般發展孩童 214 名（男 129，女 85），年齡介於 3-14 歲之間，於中國南部中高階社區地位的幼稚園與小學進行招募</p> <ul style="list-style-type: none"> 排除有腦傷或神經性疾病史、發展遲緩，或是感覺統合失調者 控制變因：年齡、智力 (C-WISC) 	史楚普顏色文字測驗 (SCW) WCST VFT	<ul style="list-style-type: none"> 控制年齡與智力後，WCST 與 CNI 之動作協調測驗呈顯著相關 控制年齡與智力後，史楚普顏色文字測驗、WCST 與 CNI 之去抑制動作測驗呈顯著相關 	

表一 研究目的與方法、受試者特色、評量內容、研究結果（續）

第一作者 (年代)	研究目的、受試者特色 與研究方法	評量內容		研究結果
		執行功能	動作表現	
Davis (2010)	英國諾丁漢(Nottinghamshire) 研究目的：探討小腦在認知與動作發展相關性的 角色，對象包含一般發展孩童與小腦腫瘤患者 受試者：一般發展孩童 242 名（男 118，女 124），年齡介於 4-11 歲之間，於諾丁漢的地區 小學進行招募	K-ABC (測驗中的短期記憶) BOT-2 憶測驗〔WOT 和 NRT〕)	K-ABC 之短期記憶、視覺處理和 流體推力測驗項目與 BOT-2 各項測 驗顯著相關 • K-ABC 之長期儲存與提取和理解 能力之具體化能力與 BOT-2 除了動作 協調測驗外的三項測驗達顯著相 關	• K-ABC 之短期記憶、視覺處理和 流體推力測驗項目與 BOT-2 各項測 驗顯著相關 • K-ABC 之長期儲存與提取和理解 能力之具體化能力與 BOT-2 除了動作 協調測驗外的三項測驗達顯著相 關
Michel (2011)	瑞士德語區 研究目的：藉由一年的追蹤，探討孩童執行功能 與動作表現的發展狀況；並比較 5-7 歲有和沒有 動作協調障礙孩童執行功能與動作協調技巧與兩 者間之相關性 受試者：94 名，於一般學校與幼稚園進行招募 (總人數為 468 人)，接著以 MABC-2 手部靈巧 度測驗篩選受試者，並進行分組（動作障礙組 〔MABC-2 手部靈巧度測驗低於 10 個百分比〕 + 控制組〔MABC-2 手部靈巧度測驗高於平均〕） • 5 歲：23（男 19）+23（男 11） • 6 歲：24（男 15）+24（男 10） • 12 個月的縱貫型追蹤研究 • 排除測驗結果 3 個標準差以上的受試者 • 控制變因：年齡、SES、智力測驗(CFT-1)、語 言(HWT)、訊息處理能力	BCR CFT 史楚普水果測驗 (FST)	MABC-2-手部靈巧度分測 驗	• 動作測驗：動作障礙組成高度穩 定，控制組則為低度穩定 • 執行功能測驗：FST 與 CFT 在動作 障礙組與控制組有顯著差異；但兩 組之 BCR 則無差異 • 控制智力後，動作障礙組之 BCR 與 MABC-2 手部靈巧度顯著相關； 控制組則不相關
Niederer (2011)	瑞士 研究目的：探討有氧運動與動作技巧與認知功能 的橫斷性與縱貫性相關性 受試者：245 名（男 124，女 121），學齡前孩童 (平均年齡 5.2 歲)，於瑞士德語及法語區進行 隨機控制試驗	智能發展良表 (IDS) KHV-VK	動作技巧： • 年齡與動作技巧（靈敏度、動態平 衡）以及認知測驗為顯著相關 • BMI 與動作技巧相關 橫斷性結果： • 控制背景因素後，IDS、KH V-VK 與靈敏度障礙測驗顯著相關 縱貫性結果： • 控制背景因素與基礎認知測驗結果 顯著相關 • 控制背景因素與基礎動態平衡結果 顯著相關	• 年齡與動作技巧（靈敏度、動態平 衡）以及認知測驗為顯著相關 • BMI 與動作技巧相關 橫斷性結果： • 控制背景因素後，IDS、KH V-VK 與靈敏度障礙測驗顯著相關 縱貫性結果： • 控制背景因素與基礎認知測驗結果 顯著相關 • 控制背景因素與基礎動態平衡結果 顯著相關

表一 研究目的與方法、受試者特色、評量內容、研究結果（續）

第一作者 (年代)	研究目的、受試者特色 與研究方法	評量內容		研究結果
		執行功能	動作表現	
Rigoli (2012)	澳洲柏斯 研究目的：探討正常發展青少年其執行功能與動作協調適性，並進一步討論ADHD症狀與其他因素的影響 受試者：93名（男55，女38），年齡介於12-16歲（平均年齡14歲2個月），於五間隨機挑選的中學進行招募 • 排除VIQ<80者、有身體障礙、慢性疾病、廣泛性發展遲緩，以及神經疾患 控制變因：年齡、性別、SES、口語能力(VCI)、ADHD症狀(SWAN)	N-Back NEPSY II	MABC-2	<ul style="list-style-type: none"> 由二變量相關分析得，僅VCI、SWAN注意力、SWAN-過動/衝動為共變量 控制共變量後，N-back測驗與MABC-2總分、丟接技巧；NEPSY II之抑制測驗完成時間與MABC-2總分呈現顯著相關
Rigoli (2012)	澳洲 研究目的：探討青少年常態樣本之動作協調、工作記憶和學業表現之相關性，欲驗證動作協調、工作記憶和學業表現的相關路徑為何（直接或是間接） 受試者：93名（男55，女38），年齡介於12-16歲（平均年齡14.2歲），於澳洲地區60所公立中學進行招募 • 排除：VCI<80、有生理障礙、慢性疾病或是有影響發展的醫療狀況者 控制變因：SES、VCI、ADHD症狀(SWAN)	WISC-IV WMI N-Back	MABC-2	<ul style="list-style-type: none"> 控制背景因素後，WMI、N-back與MABC-2之丟接測驗顯著相關 研究結果顯示，動作協調與學業表現為間接相關，而工作記憶為影響兩者關係的調節因子之一。

註：VIQ: Verbal Intelligence Quotient; VCI: Verbal Comprehension Index; C-WISC: Chinese version of Wechsler Intelligence Scale for Children; CFT-1: Culture Fair Intelligence Test-Scale 1; HWI: Hammover-Wechsler-Intelligence test language subscale test; MAND-NDI: McCammon Assessment of Neuromuscular Development-Neurodevelopmental Index; CBCL: Child Behavior Checklist; RBR: Rowe Behaviour Rating Inventory; SES: Socioeconomic Status; BMI: Body Mass Index; SWAN: Strength and Weakness of ADHD Symptoms and Normal Behavior; NGN: No/No-go task; TMT: Trail Making/Memory Updating Test; GNT: Goal Neglect Test; PAKIT: Revised Amsterdam Child Intelligence Test; K-ABC: Kaufman Assessment Battery for Children; VFT: Verbal Fluency Test; WOT: Word Order Test; NRT: Number Recall Test; SST: Stop-Signal Task; DNS: Day-Night Stroop task; BCR: Backward Color Recall; CFT: Cognitive Flexibility Task; SCW: Stroop Color-Word Test; WCST: Wisconsin Card Sorting Test FST: Fruit Stroop Task; IDS: Intelligence and Development Scales; KHV-VK: Konzentrations-Handlungsverfahren für Vorschulkinder; NEPSY II: A Developmental Neuropsychological Assessment II; MMT: Maastricht Motor Test; MABC/MABC-2: Movement Assessment Battery for Children-Second Edition; CNI: Cambridge Neurological Inventory; BOT-2: Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency - 2nd ed.

(Piek et al., 2004; Wassenberg et al., 2005)、口語能力 (Michel et al., 2011; Piek et al., 2004; Rigoli et al., 2012a, 2012b)、智力 (Chan et al., 2010; Michel et al., 2011)、行為問題以及 ADHD 症狀 (Rigoli et al., 2012a, 2012b) 等。

執行功能與動作表現之評估內容

由於目前孩童的執行功能評估尚無黃金標準，評估測驗大多為研究者自行設計，或是採用過去相關文獻資料所使用的非標準化測驗，再依受試者的不同，稍做調整，因此 10 篇文獻所選用的評估工具不盡相同。本研究依前言所定義的 3 項執行功能（即抑制、工作記憶以及轉移）進行測驗的分類：

抑制之相關評估包含停止抑制測驗 (Go/No-Go Test, GNG)、目標忽略測驗 (Goal Neglect Test, GNT)、停止訊號測驗 (Stop-Signal Task, SST)、史楚普測驗 (Stroop Task)（包含史楚普日夜測驗 [Day-Night Stroop task, DNS] 、史楚普水果測驗 [Fruit Stroop Task, FST] 和史楚普文字顏色測驗 [Stroop Color-Word Test, SCW] ）、兩側夾擊測驗 (Flanker Task)，以及賽門測驗 (Simon tasks)。

工作記憶相關測驗包含路徑描繪 / 記憶更新測驗 (Trail Making/Memory Updating Test, TMT)、逆向顏色記憶測驗 (Backward Color Recall, BCR)、詞彙順序測驗 (Word Order Test, WOT)、數字背誦測驗 (Number Recall Test, NRT)、智能發展量表 (Intelligence and Development Scales, IDS)、魏氏兒童智力測驗-工作記憶測驗 (Wechsler Intelligence Scale for Children-IV Working Memory Index, WMI)，以及 N-Back。

轉移之相關測驗則包含語義流暢度 (Verbal Fluency Test, VFT)、漸進式圖形測驗 (Progressive Figure Test, PFT)、認知彈性測驗 (Cognitive Flexibility Task, CFT)、改良版威斯康辛卡片分類測驗 (Wisconsin Card Sorting Test, WCST)、KHV-VK (Konzentrations-Handlungsverfahren für Vorschulkinder)，以及發展性神經心理評估-第二

版 (A Developmental Neuropsychological Assessment II, NEPSY II)。

在動作評量方面，不同研究採用不同之動作測驗，其中有 8 篇採用標準化之動作評估工具：包含 1 篇使用兒童動作能力測驗 (Movement Assessment Battery for Children, MABC) (Livesey et al., 2006)、3 篇採用兒童動作能力第二版 (Movement Assessment Battery for Children-Second Edition, MABC-2) (Michel et al., 2011; Rigoli et al., 2012a, 2012b)、1 篇採用布魯茵克斯-歐西瑞斯基動作精煉度評量第二版 (Bruininks-Oseretsky test of Motor Proficiency - 2nd ed, BOT-2) (Davis et al., 2010)、1 篇採用麥卡倫神經動作發展評量—神經發展指標 (McCarron assessment of neuromuscular development-neurodevelopmental index, MAND-NDI) (Piek et al., 2004)、1 篇採用馬斯垂克動作測驗 (Maastricht Motor Test, MMT) (Wassenberg et al., 2005) 與 1 篇採用劍橋神經量表 (Cambridge Neurological Inventory, CNI) (Chan et al., 2010)；另有 1 篇研究則使用非標準化之評估項目：跳躍、側向移動、姿勢轉換和插棒做為動作表現的依據 (Roebers & Kauer, 2009)、1 篇使用靈敏度障礙測驗與動態平衡測驗量測動作技巧 (Niederer et al., 2011)。

執行功能與動作表現之相關性

綜合 10 篇探討執行功能與動作表現相關性之研究，研究結果支持執行功能與動作表現在部分測驗呈顯著相關，如：TMT 與 MAND-NDI (Piek et al., 2004)；WOT、VFT 與 MMT (Wassenberg et al., 2005)；反應抑制測驗 (SST、DNS) 與 MABC 之手部靈巧度以及丟接技巧 (Livesey et al., 2006)；兩側夾擊測驗與跳躍能力、BCR 與姿勢轉換 (Roebers & Kauer, 2009)；WCST 與 CNI 之動作協調測驗，SCW、WCST 與 CNI 之去抑制動作測驗 (Chan et al., 2010)；NRT、WOT 與 BOT-2 各項測驗 (Davis et al., 2010)；BCR 與 MABC-2 之手部靈巧度測驗

(Michel et al., 2011)；IDS、KHV-VK 與靈敏度障礙測驗 (Niederer et al., 2011)等；N-Back 與 MABC-2 總分和丟接技巧分測驗，NEPSY II 抑制測驗之完成時間與 MABC-2 總分 (Rigoli et al., 2012a)；WMII、N-Back 與 MABC-2 之丟接測驗 (Rigoli et al., 2012b)。然而，亦有些執行功能測驗則與特定動作表現不相關，如抑制測驗（如 SST 和 DNS）、工作記憶測驗（包含 IDS、WMII 和 N-Back）與平衡測驗不相關 (Livesey et al., 2006; Niederer et al., 2011; Rigoli et al., 2012a, 2012b)。

討 論

由過去理論觀點、發展時程、神經影像證據等顯示執行功能與動作表現有著根本上的關連，甚至有研究認為其相關性屬於“全面相關 (global-to-global relation)” (Bushnell & Boudreau, 1993; Piaget & Inhelder, 1966)。Wassenber 等人 (2005) 的研究試圖驗證此觀點，但該研究結果顯示執行功能與動作表現的相關性僅存在於特定的測驗項目中（如：工作記憶），此結果與本文獻回顧之結果一致，認為執行功能與動作表現兩者之間的相關性並非全面相關，僅於特定測驗項目存在相關性，如：執行功能之抑制相關測驗和工作記憶與動作表現之手部靈巧度和丟接技巧呈顯著相關；而執行功能之抑制測驗、工作記憶與動作表現之平衡能力則不相關。在此 10 篇文獻回顧中，我們也進一步發現，執行功能與動作表現的相關性多存在於較複雜的動作任務活動中，如：動作協調、路徑描繪、串珠、球類丟接等；而較基本的動作能力，如姿勢轉換或平衡能力則與各類執行功能要素較不相關。此與 Cameron 等人 (2012) 提出之說法一致，研究表示相較於簡單動作需求之任務，執行複雜動作控制任務時需更多認知能力支援。Diamond (2000) 的研究也表示腹側前額葉除了負責複雜認知能力（如：執行功能），在動作控制上亦占有重要角色；同樣地，小腦除了負責較高

階的動作技巧與協調（如：動作處理過程），在許多新穎或有時間需求的認知任務中，與前額葉扮演著同等重要的功能 (Davis et al., 2010; Diamond, 2000)，由此可解釋執行功能與動作表現之相關性在複雜動作或動作協調任務較為顯著。此外，O'Halloran、Kinsella 與 Storey (2012) 進一步以小腦損傷患者之相關研究指出，許多小腦損傷研究與神經影像證據顯示，小腦與腹側前額葉執行功能（包含工作記憶、計畫以及分散注意力）有顯著的關聯性。除了小腦機制外，前額葉皮質、基底核與神經傳導物（如：多巴胺）等亦為可能的相關解釋機制 (Diamond, 2000; Livesey et al., 2006; Piek et al., 2004; Rigoli et al., 2012b; Wassenberg et al., 2005)，然而確切的機制仍須未來研究進一步探討與了解。

有研究將受試者依不同程度之執行功能與／或動作表現進行分組討論，結果顯示即使是一般發展孩童，若其執行功能或動作技巧表現較差，容易伴隨另一項功能表現的缺失。如：Wassenberg 等人 (2005) 將受試者依執行功能測驗結果分成三組：高於平均、平均與低於平均三組，探討這三組之動作表現之異同，研究結果顯示執行功能低於平均組之執行功能測驗與動作表現顯著相關，而執行功能高於平均組則無顯著相關；且由邏輯迴歸分析結果，執行功能低於平均組與動作表現之勝算比 (odds ratio) 大於 1，表示動作表現較差之孩童，在執行功能測驗中表現亦較差；此外，Michel 等人 (2011) 的研究得出一致的結果，Michel 等人將 468 位一般發展孩童依動作表現分成動作能力較差組 (MABC-2 手部靈巧度得分在 10 個百分比以下，共 47 位) 與動作能力較佳組 (MABC-2 手部靈巧度得分在平均或平均以上，共 47 位)，研究結果顯示執行功能測驗與動作表現之顯著相關僅出現在動作能力較差的受試者中，而動作能力較佳的族群則無顯著相關。綜合來說，雖然執行功能與動作表現兩者之相關性不如原預期的全面相關，但由過去研究結果仍可看出執行功能與高階動作能力存在高度之關聯性。此外，由上述結果亦可知，即

使是一般發展孩童，若其動作或執行功能能力較差，容易伴隨另一項功能的缺失。

此文獻回顧也進一步探討是否有其他相關因子，會影響執行功能與動作表現之相關性。Wassenberg 等人 (2005) 原假設注意力可能為調節執行功能與動作表現的重要因子，但在控制注意力變項之後，發現執行功能與動作表現仍存在顯著相關，因此除了可證實執行功能與動作表現兩者間確實存在相關之外，也說明此相關性可能不受注意力影響。性別方面，Wassenberg 等人表示性別會影響孩童之動作表現，且動作相關問題較常發生在男孩，該研究假設男孩的執行功能與動作表現的相關性應較女孩顯著，結果顯示語義流暢度測驗和動作表現顯著相關僅出現在男孩族群；而詞彙順序測驗和動作表現顯著相關性則僅在女孩族群。Wassenberg 等人的研究結果推翻了執行功能與動作表現相關性在男孩族群較女孩顯著的假設，但由該研究結果得知不同測驗的相關性確實存在性別差異，性別對於不同執行功能與動作表現的影響程度與確切機制仍需未來研究進一步探討與驗證。

另外，在此文獻回顧過程中，我們發現在孩童的執行功能評量上，存在定義歧異與評估工具選用的限制。在執行功能定義方面，如前言所述，執行功能為涵蓋廣泛的認知功能，Miyake 等人 (2000) 所提出執行功能包含的 3 個層面（抑制、工作記憶和轉移）為過去最常被提及之執行功能，Miyake 等人表示著重此 3 項執行功能的原因有：第一、相較於其他執行功能，如計畫能力 (planning) 更為基礎，且相對更為有明確定義；第二、有相對較簡易且易取得的測驗來量測目標執行功能；第三、也是最重要的，此 3 項執行功能常涵蓋在許多複雜且常見的執行功能測驗中，Miyake 等人認為此 3 項執行功能或許可提供執行功能真正要測得的基礎。因此，在目前的相關研究中多採用此 3 項執行功能進行相關議題的探討，但關於執行功能的定義與機制目前尚未有明確的定論，此易造成研究結果比較上的困難，對於執行功能明確機制與較一致的定義或許

估，仍需未來研究更進一步的探討。

除了執行功能的定義尚不完善之外，其評估工具的選用與限制也是未來需要深入探討的重要議題。目前對執行功能的評估工具仍存在以下問題：第一、目前對於執行功能的評估，仍未有完善之標準化評估工具，不同的研究會選用不同的測驗，且大多數採用過去相關研究自行設計的非標準化評估項目，如 SST、史楚普測驗、兩側夾擊測驗、BCR 等，造成研究結果比較與實證累積上之困難。第二、承前所述，許多執行功能測驗多取自過去研究所使用的非標準化評估測驗，評估工具的選用是否適用於該研究對象，亦會影響研究結果，如 Livesey 等人 (2006) 的研究中採 Berlin 與 Bohlin (2002) 所設計之 DNS，雖然兩篇研究受試對象皆為學齡前孩童，然而該 DNS 測驗對於 Livesey 等人 (2006) 的研究對象則出現天花板效應（正確率達 88%），結果顯示該 DNS 並不適用於 Livesey 等人的研究對象。造成此測驗結果的差異可能為受到不同區域或文化的影響，建議未來相關研究應使用符合該受試對象程度的執行功能測驗，包含發展年齡、文化背景，以及學習環境等，以確保研究結果的準確性。第三、執行功能測驗需符合受試者的發展狀態，尤其是適合孩童執行功能的測驗則更顯困難。Hughes (1998) 表示有許多證據支持早期前額葉以及執行功能發展在學步孩童就已出現，但執行功能在孩童的相關研究仍相對較少，主要原因為大多數執行功能測驗對於孩童而言過於困難，發展適用於孩童（尤其學齡前和 / 或年幼孩童）的簡易執行功能評估測驗很重要；Hughes 與 Graham (2002) 更進一步闡述執行功能在孩童的相關研究能克服成人研究的限制：(1) 測驗的信效度：相對於成人，孩童的控制的行為與自動化行為對比較為絕對，表現更加穩定，測驗的信效度較易建立；(2) 測驗的複雜性：成人的測驗常常會有純化困難的問題，難以確認是否測得特定的目標能力，然而為符合孩童發展程度，測驗需相對簡化，如此便能降低測驗的複雜性，能更精準量測特定目標能力；(3) 處理過程與行為表

現的一致性：成人呈低度一致性，即單一特定的處理過程缺失可能造成各種的行為缺失，反之亦然；相對成人，孩童的行為則顯而易懂。綜上所述，如何選擇涵蓋定義、機制與合乎文化適性的執行功能之評估工具，亦是未來相關研究須克服的挑戰之一。

結論

執行功能與動作表現在過去研究中常被視為兩個不同的領域而分開探討，這兩個看似不相關的領域，從過去學者提出之理論模式、發展時程、大腦活化區域與神經路徑等證據顯示兩者可能有著根本上的關連性。本文藉回顧 10 篇執行功能與動作表現相關性之文獻做進一步的探討。結果顯示在一般發展孩童之執行功能與高階動作表現確實存在相關性，且兩者易出現雙重缺失的現象。未來研究仍待討論的議題包含：執行功能與動作表現相關的作用機制為何？兩者之間的互動關係將如何影響孩童的表現？在臨床上，對於執行功能或動作障礙孩童進行介入時，若針對其執行功能或動作加強訓練，可能在哪些不同面向會得到效益呢？此外，雖然目前執行功能相關研究在兒童領域的文獻資料較為有限，但成人族群相關研究的探討則有相當豐富的文獻可考，建議未來也可針對成人群族亦或比較成人與兒童族群之異同處，進行文獻回顧之深入探討。

參考文獻

- Alloway, T. P. (2007). Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *Journal of Experimental Child Psychology*, 96(1), 20-36.
- Alloway, T. P., & Temple, K. J. (2007). A comparison of working memory profiles and learning in children with developmental coordination disorder and moderate learning difficulties. *Applied Cognitive Psychology*, 21(4), 473-487.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65-94.
- Barkley, R. A., & Murphy, K. R. (2006). *Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Clinical Workbook* (3rd ed., Vol. 2). New York: Guilford Press.
- Berlin, L., & Bohlin, G. (2002). Response inhibition, hyperactivity, and conduct problems among preschool children. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 31(2), 242-251.
- Bushnell, E. W., & Boudreau, J. P. (1993). Motor development and the mind: The potential role of motor abilities as a determinant of aspects of perceptual development. *Child Development*, 64(4), 1005-1021.
- Cameron, C. E., Brock, L. L., Murrah, W. M., Bell, L. H., Worzalla, S. L., Grissmer, D., et al. (2012). Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. *Child Development*, 83(4), 1229-1244.
- Chan, R. C. K., McAlonan, G. M., Yang, B., Lin, L., Shum, D., & Manschreck, T. C. (2010). Prevalence of neurological soft signs and their neuropsychological correlates in typically developing Chinese children and Chinese children with ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(6), 698-711.
- Davis, E. E., Pitchford, N. J., Jaspan, T., McArthur, D., & Walker, D. (2010). Development of cognitive and motor function following cerebellar tumour injury sustained in early childhood. *Cortex*, 46(7), 919-932.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and

- of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16(2), 233-253.
- Hughes, C., & Graham, A. (2002). Measuring executive functions in childhood: Problems and solutions? *Child and Adolescent Mental Health*, 7(3), 131-142.
- Livesey, D., Keen, J., Rouse, J., & White, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6-year-old children. *Human Movement Science*, 25(1), 50-64.
- Michel, E., Roethlisberger, M., Neuenschwander, R., & Roebers, C. M. (2011). Development of cognitive skills in children with motor coordination impairments at 12-month follow-up. *Child Neuropsychology*, 17(2), 151-172.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., et al. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BioMed Central Pediatrics*, 11(1), 1-9.
- O'Halloran, C. J., Kinsella, G. J., & Storey, E. (2012). The cerebellum and neuropsychological functioning: A critical review. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 34 (1), 35-56.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *The psychology of the child*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piek, J. P., Dyck, M. J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L. M., et al. (2004). The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(8), 1063-1076.
- Rigoli, D., Piek, J. P., Kane, R., & Oosterlaan, J. (2012a). An examination of the relationship between motor coordination and executive functions in adolescents. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(11), 1025-1031.
- Rigoli, D., Piek, J. P., Kane, R., & Oosterlaan, J. (2012b). Motor coordination, working memory, and academic achievement in a normative adolescent sample: Testing a mediation model. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 27(7), 766-780.
- Roebers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175-181.
- Sergeant, J. (2000). The cognitive-energetic model: An empirical approach to attention-deficit hyperactivity disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24(1), 7-12.
- Shimoni, M., Engel-Yeger, B., & Tirosh, E. (2012). Executive dysfunctions among boys with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): Performance-based test and parents report. *Research in Developmental Disabilities*, 33(3), 858-865.
- Wassenberg, R., Feron, F. J., Kessels, A. G., Hendriksen, J. G., Kalff, A. C., Kroes, M., et al. (2005). Relation between cognitive and motor performance in 5- to 6-year-old

- children: Results from a large-scale cross-sectional study. *Child Development*, 76(5), 1092-1103.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). Anormative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7(2), 131-149.
- Wuang, Y. P., Su, C. Y., & Su, J. H. (2011). Wisconsin card sorting test performance in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 32 (5), 1669-1676.



Relationship between Executive Functions and Motor Performance in Typically Developing Children: A Literature Review

Yen-Wen Chen, BS¹ Keh-Chung Lin, ScD¹ Yu-Wei Hsieh, PhD² Tien-Ni Wang, PhD¹

Objective: Executive function and motor performance have been studied and discussed separately in previous studies. However, there is growing consensus that these two concepts may be fundamentally interrelated. From developmental perspective, both executive function and motor development display equally protracted developmental timetable. Functional neuroimaging studies consistently find that when a cognitive task increases activation in dorsolateral prefrontal cortex it also increases activation in the contralateral cerebellum. Thus, the purpose of this reviewing article is to investigate and summarize the relationship between executive function and motor performance in typically developing children. **Methods:** A computerized search was conducted in Medline and PubMed to identify relevant studies. The selection criterion for the reviewing articles were studies that (1) investigated the relationship between executive function and motor performance, (2) recruited participants from typically developing children, (3) be written in English, and (4) published from 2002 to 2012. Finally, ten articles were included for reviewing. **Results:** The results of this review suggest that executive function is significantly related to several specific motor performances, particularly to those required highly motor planning skills such as path drawing, manual dexterity or ball manipulation. On the contrary, no significant relationship was found between the basic motor skills and executive function. In addition, the results also showed that the relationship between executive function and motor performance were higher in children with poorer executive function/motor skills than those who demonstrate average executive function/motor skills. **Conclusion:** Based on our reviewing, the relationship between executive function and motor performance was significant especially in performing complex motor tasks. In addition, no gold standard definition and instruments were used for measuring the executive function in these studies. Further research with more appropriate definition and assessments in executive function is suggested to validate the mechanism and the relationship between executive function and motor performance.

Key words: Inhibition, Working memory, Shifting, Motor performance, Children

School of Occupational Therapy, College of Medicine, National Taiwan University¹ Department of Occupational Therapy and Graduate Institute of Behavioral Sciences, Chang Gung University²

Address Correspondence to: Tien-Ni Wang, School of Occupational Therapy, College of Medicine, National Taiwan University, 4F, No. 17, Kushou Road, Taipei City 100, Taiwan. Tel: (+886)-2- 33668163 e-mail: tmwang@ntu.edu.tw

Accepted for publication: June 14, 2013