

## 神經回饋在提升運動表現之研究

洪樂亞<sup>1</sup> 洪聰敏<sup>2</sup>

### 摘要

神經回饋從過去被作為醫療用途，用來治療癲癇、注意力缺陷過動症（ADHD），直到近年來才開始在運動領域所應用。神經回饋訓練是透過教導使用者學習控制大腦活動，來達到症狀或功能的改變。到目前為止有關應用神經回饋訓練來提升運動員成績表現的研究數量不多，大部分的研究結果皆指向正面效果，但是研究的證據力相對較薄弱，且還有很多方法學上的疑慮需要被釐清。因此本文擬回顧神經回饋對運動表現促進的相關研究，並在研究方法中特別針對訓練的位置、頻率段、次數，受試者的分派和實驗設計進行探討，進而提出未來研究的建議以供參考。

**關鍵詞：**競技運動、專注、腦波、文獻回顧、研究方法

---

<sup>1</sup> 私立中國文化大學光電物理學系學士班

<sup>2</sup> 國立臺灣師範大學體育學系研究講座教授

通訊作者：洪聰敏，E-mail: ernesthungkimo@yahoo.com.tw

DOI:10.6618/HSSRP.201906\_13(2).1

## 壹、前言

在緊張的時刻下，你是否會出現焦慮、心神不寧、受當下無關的思緒影響而無法保持專注呢？在高度壓力下需要極高專注力的作業；例如：手術治療、空氣槍射擊、高爾夫球推桿、籃球罰球，若是沒有良好的心智狀態，可能會造成不理想的表現。特別是在高壓力情境下，像是在客場比賽時，敵對的加油聲一面倒；面對過去對戰成績五五波的對手，沒有十足的把握也沒有絕對不會贏的可能，在這些狀態中若沒有穩定的專注力，很有可能會受到影響。然而，平常的訓練都是以精進動作技能為主，專注訓練很容易被忽略。雖然訓練專注的方法有很多種，但是神經回饋因其可以提供客觀專注能力狀態的訊息，讓受試者更能具體獲得學習進展進而提升控制感，使其有別於其他的訓練方法。

神經回饋是生物回饋的一環，曾被當作藥物的替代方案，被用來提升注意力、認知與運動表現、與放鬆。目前曾被用來做為神經回饋的儀器有腦波（Electroencephalograph, EEG）、腦磁波（Magnetoencephalograph, MEG）、核磁共振造影（Magnetic Resonance Imaging, MRI），和腦波、腦磁波相比，雖然核磁共振造影有較高的空間解析度，可以更精準地定位出大腦活動的部位，但是其較低的时间解析度對於區辨運動員瞬息的心境變化可能較受限。另外，和腦波相比，腦磁波和核磁共振造影的價格較昂貴，並非大部分實驗室負擔的起，且儀器龐大不便於攜帶，再加上此二者的測量方式是讓受試者在限制行動下進行掃描，無法使用真實運動的動作以避免影響收訊品質，因而大部分研究選擇以意象的方式進行，在訓練上較難貼近生態效度。因此以腦磁波、核磁共振造影為神經回饋研究工具的研究較少。而腦波雖然在空間解析度方面較不出色，但是運用較先進的科技如多頻道記錄、生物物理、與數學方法所發展出的高解析度腦波，使其空間解析度改善不少，腦波因而成為較普遍的腦部影像技術。而目前大部分神經回饋訓練相關的研究多以腦波為主，故本文將聚焦在腦波神經回饋訓練在提升運動表現的研究。

神經回饋訓練大多數是利用視覺或聽覺來提供使用者的大腦活動狀態訊息，一般是藉由腦波感應器記錄使用者之腦波活動，設定訓練的目標閾值以及訓練的方向性，當腦波狀態達到閾值時，便給與回饋訊息以協助使用者控制腦波。神經回饋訓練最早是從 1960 年代開始，Kamiya（1962）的第一個實驗要求受試者閉上雙眼，當聽到聲音時，需回應自己是否處於  $\alpha$  波狀態，於猜測後立即給予解答，在這個實驗初期，受試者的答對率大約 50%，而有的受試者在多次答題後正確率有提高的趨勢。第二部分則是要求受試者在聽到第一次鈴響時進到  $\alpha$  的狀態，聽到第二次鈴響時則不要進到  $\alpha$  狀態，這個實驗的目的在於檢驗腦波是否可以被受試者控制，結果顯示有一些受試者可以對鈴聲反應進入對應的狀態。由於  $\alpha$  波是個抑制波（Pfurtscheller, 1992），較高的  $\alpha$  波反映著

該部位的功能的不活化，在這兩部分的實驗表示受試者可以分辨  $\alpha$  波的狀態也有一定程度的控制。再來 Wyrwicka 跟 Sterman (1968) 的動物實驗發現貓在特定情境下的動作中，大腦的低頻  $\beta$  波 (SMR) 會有活動。Larsen 跟 Sherlin (2013) 以提升 12-15Hz (SMR) 的功率為目標訓練貓，發現到比起沒有受過訓練的貓，有受過訓練的貓更能抵抗癲癇的發作。這表示著 SMR 的訓練對治療癲癇是有正面效果的，這個發現也促使精神病學家著重在這個指標訓練大腦的劑量。

自此之後陸續有越來越多的神經回饋研究出現，且初期主要是應用在醫學方面，例如：以  $\beta$ - $\theta$  神經回饋訓練幫助 ADHD 過動症減緩 (Lubar et al., 1995)、降低 3-8Hz 同時提升 9-18Hz 神經回饋訓練幫助癲癇症狀舒緩 (Walker and Kozlowski, 2005)、抑制  $\theta$  提升  $\beta$  幫助中風患者復健 (Rozelle and Budzynski, 1995)、 $\alpha$ - $\theta$  神經回饋訓練減輕酒精成癮性 (Peniston and Kulkosky, 1989)、 $\theta$ -SMR 神經回饋訓練讓藥物濫用減輕 (Burkett et al., 2005)、 $\alpha$ - $\theta$  神經回饋幫助創傷性症候群恢復 (Peniston and Kulkosky, 1990)。臨床病理外，近年來也許多研究發現對認知功能有提升的效果。例如：健康成人持續性注意力的提升與提升  $\beta$  功率有關 (Egner and Gruzelier, 2001)、提升 SMR/ $\theta$  跟 SMR/ $\beta$  與成人工作記憶的提升有關 (Vernon et al., 2003)、SMR 神經回饋提升健康成人視覺空間轉換的能力 (Doppelmayr and Weber, 2011)、11.6-16Hz (Sigma) 神經回饋訓練促進大學生睡眠 (Berner et al., 2006)、 $\alpha$ / $\theta$  神經回饋訓練幫助大學生情緒的放鬆 (Egner et al., 2002)；除了對於認知功能提升外，也發現神經回饋訓練對於音樂創意性提升 (Gruzelier et al., 2014)、戲劇演出的抗壓力增加 (Gruzelier et al., 2010)、醫生精密手術的時間縮短 (Ros et al., 2009) 等效果。

直到近年來神經回饋才開始應用在提升運動表現上，然而目前以運動表現提升為目的的神經回饋訓練之研究篇數不多，國內的研究更是少數，因此，本文欲收集國內外以神經回饋訓練提升運動表現的研究，針對運動的類型、訓練的次數、頻率段、電極點位置做分類，再針對研究設計做批判，並提供未來研究方向以供參考。

## 貳、運動表現與大腦活動相關理論

### 一、心理動作效率假說 (Psychomotor Efficiency Hypothesis)

神經效率假說提出較佳的認知效率化伴隨著較低的新陳代謝率，心理動作效率假說是神經效率假說特定於運動之一個假說，此假說認為在運動表現中，招募較少的中樞神經系統資源與特定的認知程序來達成較佳的表現有關。而且熟練的動作技能在大腦的神經迴路會在動作準備期中一致性地誘發出最佳表

現。因此心理動作效率假說解釋了在競技運動中，動作相關的中樞神經系統會被精緻化。

過去全腦的核磁共振造影的研究支持了運動員的最佳表現與動作準備期在感覺動作區神經迴路的精緻化有關，研究發現在專家、生手高爾夫球員的組間比較中，專家高爾夫球員在推桿作業的動作準備期有較高的專注力及較活化的推桿相關神經網絡系統（Milton et al., 2007）。在過去腦波的研究中，表現通常伴隨著在感覺動作區中較精簡的心理歷程（Cheng et al., 2015）。這個發現被解釋成專家在動作準備期有較低複雜性的心理歷程跟較少的心理變項（Hung et al., 2008）。

經過反覆的練習，與作業相關的腦區會與動作技能的執行產生連結且有高度的一致性，減少不相干的訊息處理。Kober、Witte、Stangl、Väljamäe、Neuper 與 Wood（2015）發現到降低感覺動作區的神經活動後，可以改善處理刺激的能力。這個發現也提出了認知處理的能力可透過減少感覺動作的資訊涉入，進而增加刺激處理的能力（Serman, 1996）。

## 二、多重動作計畫模式 Multi-action Plan Model (MAP model)

良好運動表現的定義是協調肌肉，動作執行以最小化的能量、力氣、心理的資源進行，具有高度的一致性與最短的執行時間（Krane and Williams, 2006），在動作執行的時刻可以迅速的由控制模式轉變為自動模式。

Bertollo 等人（2016）用了四個象限區分了注意力控制的程度與表現好壞時的心理歷程關係，如圖一所示，X 軸代表了注意力投入的高低，Y 軸表示表現的好壞。

第一象限（optimal-automatic），是一種流暢的狀態，運動員在這個情境中是有自信地且能夠掌控場面，並且能夠主導自己的心理、身體達成任務。動作是以不費力、自動化的形式執行，表現的處理效率與效益都很高。這個狀態容易受到壓力、疲勞、意外事件或表現問題而中斷。

第二象限（optimal-controlled），表現是高效益卻是低處理效率的（例如：再投資理論），提高注意力程度以面對任務需求，Eysenck 與 Derakshan（2011）提出表現處理上是費力、以控制化的方式執行，需要工作記憶的涉入。在第二象限這個狀態中，要維持表現的流暢與注意力的控制，需要大量有意識的投入。

第三象限（suboptimal-controlled），與第二象限類似，特徵是在控制歷程過度的再投資，且工作記憶投入太多使得動作的流暢性被破壞（Maxwell et al., 2000; Oudejans et al., 2011），導致原本一個完整的動作被拆解成一個一個的步驟。表現中大腦的活動呈現右頂葉與前額葉有活化的現象（Broyd et al., 2009），表現跟處理效率都不好。

第四象限（suboptimal-automatic），是典型的沒效率表現、低處理效率、不依賴工作記憶。

這個多重動作計畫模式得到一系列的研究支持，它解釋了專家在賽場上注意力與表現之間的關係，專家運動員在不同的情境下，使用多種心智歷程來達成好表現，研究者發現到專家運動員在這四象限的狀態中，有不同的生理現象（例如：心跳率、呼吸頻率、出汗反映），也有不同的腦波皮質活動（Di Fronso et al., 2016）。

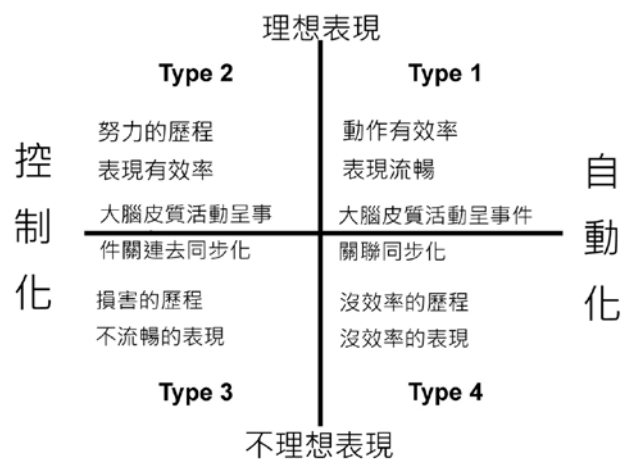


圖 1 多重動作計畫模式

而另外良好的運動表現特徵是動作的流暢性與自動化。這是透過長期的訓練而來，因此了解運動技能學習各階段之訊息處理特徵對於了解大腦活動相當重要。

### 三、運動技能學習三階段 Three Stages of Motor Skill Learning (Fitts and Posner, 1967)

#### （一）認知階段

對於初學者來說，在認知階段要解決的問題是理解該做什麼（Schmidt and Lee, 2005）。一個新的動作，動作的流程會透過觸覺、視覺、聽覺接收訊息，將資訊傳入中樞神經，傳入中樞神經時，認知作用會將動作加以比對、解釋、更新加入長期記憶中。在這個階段中有較多的認知投入，動作不流暢且容易產生錯誤。

#### （二）聯結階段

聯想階段的特點是語言信息少，表現性能較小，表現有意識的做調整，表現有些許的笨拙和脫節，需要很長時間才能完成。在此階段，運動員可以進行動作調整並且將數個較細微的運動技能串聯起來。在連結期要解決的問題是學會如何流暢地執行技能（Schmidt and Lee, 2005）。從認知角度來看，運動員試圖將陳述性知識轉化為程序性知識。換句話說，運動員正在修正動作。

### （三）自動化階段

這是動作學習的最後階段。通常需要長時間的訓練才能達到自動化階段。在這個階段中，動作執行基本上是以自動化的方式進行，認知處理的需求很小，運動員能夠注意到和處理其他的資訊，例如防守球員的位置或比賽策略（Schmidt and Lee, 2005）。他們可以反應而不經思考（或者最低限度的思考），將動作流暢的執行。

表 1 Fitts and Posner（1967）動作學習三階段

狀態	歷程	特性	其他稱呼
認知	訊息接收	收益大、表現不穩定	視覺動作階段
連結	動作結合	收益小，表現無條理，有意識的努力	動作階段
自動化	更多時間的練習	表現看起來沒有意識涉入，自動又流暢	自動化階段

腦波的分析分為時間面分析、頻率面分析、和空間面分析。在競技運動神經回饋相關研究的腦波分析與訓練主要是依據腦波的頻率或是功率，因此本文著重在頻率面這個議題做討論。

### 四、 $\alpha$

$\alpha$  的頻譜範圍是約 8-12 Hz，一般被認為是與皮質活動呈現負相關，腦區中若呈現較高的  $\alpha$  功率表示該腦區功能的抑制或是怠速的狀態，反之則表示該腦區的功能活化（Klimesch et al., 2007; Pfurtscheller, 1992）。後來的研究指出 low  $\alpha$  波（8-10Hz）的活動與抑制大腦功能有關，在選擇性注意力中扮演著重要的角色（例如 Aftanas and Golocheikine, 2001; Klimesch et al., 1990; Klimesch et al., 2007）。

第一個用  $\alpha$  波功率來探討優異精準運動表現之心智歷程的腦波成份是 1984 年 Hatfield、Landers 和 Ray（1984）的來福槍研究，分別記錄左右腦顳葉區的大腦皮質活動，再以左右腦顳葉區 T4 $\alpha$ /T3 $\alpha$  比值作為指標，比值越大表示左腦功能的活化，反之則是右腦的活化，該研究發現越接近動作執行的時間點，參與者的 T3 $\alpha$  功率逐漸增加，T4 $\alpha$  功率維持不變。該射擊研究第二部分新增了屬於左腦功能的口語與分析作業與右腦功能的視覺空間作業，這樣的研究設計是想了解動作執行時左顳葉區  $\alpha$  波變化跟左右腦功能哪種認知作業相似。結果發現左顳葉區  $\alpha$  波變化跟口語與分析功率之關係較大，在扣扳機比起執行射擊作業一開始，左右顳葉區比值較小，意味著一開始瞄準時大腦活動接近執行口語與分析作業，直到扣扳機前大腦活動轉變為執行空間作業，這樣的轉變可解釋成減少自我對話以利動作自動化。這樣的結果更支持了認知功能轉換的解釋。而射擊作業觀察到的左右腦顳葉區  $\alpha$  波功率變化的現象在其他運動也有類似的發現，如射箭（Salazar et al., 1990）、高爾夫推桿（Crews and Landers, 1993）。表示射擊前 T3 $\alpha$  功率的發現可推論至其他精準性運動。

第一個以左顳葉區  $\alpha$  波之研究發現為基礎的神經回饋訓練研究是 Landers 等人 (1991)，但是該研究採用與  $\alpha$  波有正相關的慢波為神經回饋標的，招募了 16 位男性及 8 位女性準菁英射箭選手，隨機分派至正確回饋組（高左半腦慢波）、錯誤回饋組（高右半腦慢波）和無回饋組。前測與後測進行配戴腦波帽，紀錄 T3、T4 電極點的 27 次距離 45 公尺的射箭測驗。神經回饋訓練採用一次性提升慢波，訓練採用視覺回饋。結果顯示神經回饋跟時間有顯著的交互作用，三個組別在前測沒有差異，而後測正確回饋組顯著的提升表現，專注及自信心沒有達顯著，有趣的是錯誤回饋組的表現不但沒有持平，甚至出現退步的情形。

由於  $\alpha$  功率在不同的腦區反映出的是該對應腦區與功能之活化狀況，因此除了左顳葉區的研究之外，也有研究者針對其他腦區甚或與其他腦波頻率合併來進行研究。首先是在感覺動作區的  $\alpha$  功率，此一區域的  $\alpha$  功率與自我覺察、自我控制及自我調節的策略有關 (Edmonds and Tenenbaum, 2012)。Rostami、Sadeghi、Karami、Abadi 和 Salamati (2012) 以感覺動作區的  $\alpha$  波作為神經回饋訓練的標的，將 24 名國家級或縣市級的射擊選手分派至神經回饋組及控制組。神經回饋訓練每周 3 次，每次 60 分鐘共計五週。每次訓練二個模式各 30 分鐘，第一個模式在提升 C3、C4 之 SMR (13-15 Hz) 同時抑制 high  $\beta$  (20-30 Hz)。第二個模式在提升 Pz 之  $\alpha$  (8-12 Hz) 和  $\theta$  (4-8 Hz) 同時抑制 high  $\beta$  (20-30 Hz)，採用聽覺與視覺的回饋方式。並於神經回饋訓練前與後進行男性 60 發、女性 40 發的 10 公尺的步槍射擊作業檢測。結果發現訓練後的表現神經回饋組優於控制組。

再來是  $\alpha$  波與放鬆的狀態有關 (Kamiya, 1968)，研究中  $\alpha$  跟  $\theta$  常常一起被用來反映出正面的心理狀態 (Aftanas and Golocheikine, 2001)。Egner 與 Gruzelier (2003) 的研究將參與者隨機分派至  $\alpha/\theta$  神經回饋組、 $\beta 1$  神經回饋組、SMR 神經回饋組、身體活動組、心智訓練組和亞歷山大自學組，發現接受 10 次電極點 Pz 的  $\alpha/\theta$  神經回饋訓練後，音樂表現比使用電極點 Cz 的 SMR 跟  $\beta 1$  神經回饋訓練的控制組和不回饋組還要好。對於表現提升的解釋是電極點 Pz 的  $\alpha/\theta$  神經回饋訓練可以改善表演前認知焦慮的調節能力，腦波也顯示與降低焦慮一致。後續也有數篇研究採用電極點 Pz 的  $\alpha/\theta$  神經回饋訓練。例如 Gruzelier 與 Thompson 等人 (2014) 招募了 64 位舞蹈系學生，男性 22 人、女性 42 人，隨機分派至 4 組 ( $\alpha-\theta$  神經回饋組、心律變異組 HRV、舞蹈系研究組、控制組)。神經回饋進行 10 次的抑制電極點 Pz 的 high  $\alpha$  (10-13 Hz) 同時提升  $\theta$  (5-8 Hz)，於神經回饋訓練之前、後進行 40 秒舞蹈表現、認知創造力和心情量表的檢測，結果顯示神經回饋有助於舞蹈表現。另外，Raymond 等人 (2005) 招募了 24 位舞蹈系的學生，隨機分派至  $\alpha/\theta$  神經回饋組、HRV 組和控制組。由於中途有 8 名受試者退出，完成研究的受試者剩下神經回饋組 6 人、HRV 組 4 人和控制組 8 人。研究中提到受大學假期的影響，受試者間有著不同練習的次數。神經回饋採用個人化  $\alpha$  頻率作為訓練的波段範圍，訓練 10 次

電極點 Pz 的抑制  $\alpha$  波，同時提升  $\theta$  波，結果顯示了神經回饋組和 HRV 組都有較好的表現。

最後，有一篇使用了電極點 Oz  $\alpha$  功率的神經回饋訓練，Dekker、Van den Berg、Denissen、Sitskoorn 與 Van Boxtel (2014) 招募了 12 位體操員，隨機分派至  $\alpha$  功率神經回饋的實驗組或是隨機  $\beta$  功率神經回饋的控制組，實驗採用雙盲設計，在訓練電極點 Oz 10 次的聽覺神經回饋訓練前後檢驗量化腦波和認知測驗 (N-Back)，並於後測結束後兩個月收保留測驗以探討長期訓練效果。結果顯示實驗組整體上有較好的表現，而兩個月後的保留測驗與控制組沒有差異。

根據上述之文獻回顧，在 6 篇使用  $\alpha$  波作為指標的神經回饋訓練研究中，一篇訓練位置在顳葉區、一篇在枕葉區、一篇在中央區、三篇在頂葉區。而 Landers 等人 (1991) 的研究發現一次性訓練顳葉區的慢波就有表現效果；而其他的訓練都超過 10 次，不論是訓練頂葉區、中央區還是枕葉區都有促進表現的效果，表示不論訓練次數的多寡，可能都會有提升表現的效果。但是其中有一篇研究之受試者沒有被隨機分派，可能較難排除其他的混淆因子。六篇研究的對象包含了射擊選手、體操員、音樂系的學生，這樣的結果顯示神經回饋訓練的效果可以包含技巧性與精準性運動項目。

## 五、SMR

感覺動作節律 (SMR) 是在感覺動作皮質區 (Cz、C3、C4) 測量到 12-15 Hz 的腦波，在中央皮質區收到的 SMR 與專注力和動作準備有關，與感覺動作皮質的活動成負相關 (Serman, 1996)，在視覺作業比起動作作業在感覺動作皮質區有較高的 11 至 15 Hz 活動 (Mann et al., 1996)，這個發現被認為是身體的感覺會干預知覺與訊息處理的整合，Serman (1996) 發現身體活動與 SMR 抑制有關，更加支持了這個論點，因此 SMR 被認為是專注力有關的指標之一 (Gruzelier et al., 2010)。

較高的 SMR 與良好的表現有關，首先 Cheng、Hung 等人 (2015) 發現到飛鏢投擲專家與生手相比在出手前兩秒有較高功率的 SMR，並維持穩定較高的趨勢。可能的解釋是生手對於新的動作技能的不熟悉而需依賴外在訊息的回饋來執行動作，這導致了感覺動作區不斷的處理外在感覺訊息，導致較高的感覺動作區活動，並伴隨著較低的 SMR 功率。而專家選手在投擲飛鏢前其注意力集中於作業需求的程序上，不被外在動作訊息介入而影響其動作表現，也因為較低的身體感覺訊息的輸入可以減少干擾，而是以一種自動化的方式執行動作，伴隨較高的 SMR 功率。另外 Cheng、Wang 等人 (2017) 招募了 24 位高技能空氣手槍選手，進行了 40 次射擊作業，同時紀錄腦波跟射擊成績，發現選手的表現提升與最後幾秒較高的 SMR 功率有關。可能的解釋是較高的 SMR 功率可以過濾掉與作業不相干的訊息處理，以促進高技能射擊選手自動化的動作執行，因而帶來較佳的表現。



在運動表現方面以 SMR 作為神經回饋訓練指標的研究不多，僅有一篇單獨以 SMR 作為標的的神經回饋訓練。Cheng、Huang 等人（2015）招募 16 位高技能高爾夫選手（14 男 2 女），差點數 0（3.90），隨機分派至 SMR 神經回饋組和假回饋組，以八次提高電極點 Cz 的 SMR 功率的神經回饋訓練介入高爾夫球推桿作業，訓練之前和之後檢驗推桿作業，發現 SMR 神經回饋訓練可以改善選手的推桿成績以及 SMR 功率。再來是由於  $\theta$  波與工作記憶有關，抑制  $\theta$  波可以減少工作記憶的提取進而維持動作的自動化，因此有部分的 SMR 神經回饋訓練的研究也會針對  $\theta$  波作抑制。就如前面討論  $\alpha$  波研究提過的，Rostami 等人（2012）採用了準實驗設計，探討提升電極點 C3、C4 之 SMR（13-15 Hz）同時抑制 high  $\beta$ （20-30 Hz）以及提升電極點 Pz 之  $\alpha$ （8-12 Hz）和  $\theta$ （4-8 Hz）同時抑制 high  $\beta$ （20-30 Hz）之神經回饋訓練之效果，結果發現訓練後的表現神經回饋組優於控制組，也由於該研究之神經回饋訓練放入許多腦波頻率之成分，因此無法單獨分析這些效果是來自那腦波頻率成分。Shaw、Zaichkowsky 與 Wilson（2012）的體操員研究，使用了單組前、後測設計和混和性介入，讓體操員以聽覺回饋的方式進行 10 次 HRV 回饋同時提升電極點（Cz、C3）的 SMR 功率與抑制  $\theta$  功率，結果顯示在體操員的平衡項目中有提升表現的效果。Paul、Ganesan 與 Sandhu（2011）招募了 24 名大學射箭選手，隨機分派至實驗組與控制組。神經回饋訓練採用聽覺與視覺回饋提升電極點 Cz 的 SMR（12-15 Hz）同時抑制  $\theta$ （4-7 Hz）和 high  $\beta$ （22-26 Hz），訓練 12 次每次 20 分鐘，前、後測記錄受試者的心跳、壓力、覺醒程度、腦波與表現。結果顯示雖然實驗組的 SMR 神經回饋訓練在表現上沒有達顯著提升，但是在訓練後，後測的覺醒程度、壓力都比前測有顯著地下降，作者表示表現沒有達顯著提升可能的原因是受到壓力的調節，導致下一次的表現帶有正面或負面的情緒。Faridnia、Shojaei 與 Rahimi（2012）讓游泳選手分組進行兩階段 12 次的神經回饋訓練，第一階段以視覺回饋的方式提升 C3、C4 的 SMR（12-15 Hz）同時降低  $\theta$ （4-8 Hz）和 high  $\beta$ （22-37 Hz），第二階段同是以視覺回饋的方式提升相同電極點位置的  $\beta$ （15-18 Hz）同時降低 high  $\beta$ 。結果顯示比起控制組，神經回饋訓練能降低焦慮感。Mikicin（2015）招募學生運動員隨機分派至實驗組、控制組各 25 人，進行為期 4 個月，20 次以聽覺和視覺回饋訓練電極點 C3、C4 提升  $\beta 1$ （21-35 Hz）和 SMR（12-15 Hz）同時降低  $\theta$ （4-7 Hz）和  $\beta 2$ （31-35 Hz），結果顯示實驗組比起控制組有較顯著的自動化。

總結來說，上述 6 篇有關於 SMR 神經回饋訓練的研究，其中一篇是使用單一指標進行訓練，一篇在 SMR 神經回饋訓練的同時抑制  $\beta$  波，四篇在 SMR 神經回饋訓練的同時抑制  $\theta$  波。紀錄電極點的位置，六篇中有四篇記錄 C3、C4，兩篇記錄 Cz。訓練次數從最少的 八次（Cheng et al., 2015）到最多的二十次（Mikicin, 2015）。只有一篇沒有以表現作為依變項（Mikicin, 2015）。有一篇研究在神經回饋訓練後表現控制組相比沒有達顯著。五篇的組間設計中，有一篇沒有將參與者做隨機分派，有一篇控制組使用偽回饋訓練。

## 六、 $\theta$

前額葉的  $\theta$  波是一種用來探討持續性注意力的指標，與認知的資源分配有關。當執行的作業需要注意力時，Fm  $\theta$  波會呈現活化現象。在解剖生理上，Osaka、Komori、Morishita 與 Osaka（2007）發現到注意力資源投入時，前扣帶皮質、背側前額皮質區、和上頂葉區會跟著活化，表示可能與注意力有關。推測出 Fm  $\theta$  的活化可能來自於前扣帶迴（Gevins et al., 1997）。也有可能是前扣帶迴和前額皮質區交互作用產生。在心理歷程上，過去研究發現 Fm  $\theta$  可代表工作記憶的需求程度與意識控制由上而下的注意力歷程，換句話說就是幫助運動員注意力資源重新分配，使他們的表現達到理想的目標。

過去少量的研究檢驗了 Fm  $\theta$  與運動表現的關係，Doppelmayr、Finkenzeller 與 Sauseng（2008）發現來福槍射擊選手比起生手在瞄準時至扣扳機前其 Fm  $\theta$  功率顯著較高。較高的 Fm  $\theta$  被認為是專家藉由穩定的意識控制由上而下的持續注意力直到動作執行。相似的結果也在高爾夫推桿作業的研究中發現。高技能高爾夫選手在推桿執行期有較高的 Fm  $\theta$  功率（Baumeister et al., 2008）。Haufler、Spalding、Santa Maria 與 Hatfield（2000）也發現到射擊專家比起生手整體上有較高的  $\theta$  波功率。整合了上述研究得到初步證據支持 Fm $\theta$  跟測量運動表現執行前的持續注意力有關。上述組間設計之研究發現在專家運動員的動作準備期有較高的 Fm $\theta$  功率，但在高技能的高爾夫球選手個人表現好壞之組內研究卻有不一樣的發現。Kao、Huang 與 Hung（2013）招募 18 位高技能高爾夫選手進行 100 次推桿作業，再從中取 15 次最佳及最差表現進行個人內比較，結果發現較佳表現比起較差表現在動作執行前有較低的 Fm  $\theta$  功率。同是精準性項目，在比較高技能籃球員罰球動作準備期的 Fm  $\theta$  中，發現到 Fm  $\theta$  功率在好表現的動作準備期有較穩定的現象（Chuang et al., 2013）。

而以  $\theta$  頻率段作為神經回饋訓練的研究，僅有一篇使用 Fm  $\theta$  作為神經回饋訓練標的，Kao、Huang 與 Hung（2014）招募 3 位高技能高爾夫選手，前期使用聽覺和視覺回饋進行一次性坐姿神經回饋訓練降低位在電極點 Fz 的  $\theta$  功率，後期將神經回饋訓練結合推桿作業，使用聽覺作為大腦活動的回饋方式，得到三位參與者都能從神經回饋訓練中降低  $\theta$  功率，而且高爾夫推桿成績也有進步。

在中央區及頂葉區的  $\theta$  波與內在取向、直覺有關係，Pz  $\theta$  或 Cz  $\theta$  與減少作業不相關的訊息處理有關。底下這幾個研究由於都是採用混合多頻率腦波指標做為神經回饋訓練標地，因此都在前面其他腦波頻率段做過詳細討論，這裡僅簡略提供研究結果，首先是 Raymond 等人（2005）招募了 24 位舞蹈系的學生，隨機分派至  $\alpha/\theta$  神經回饋組、HRV 組和控制組。訓練 10 次電極點 Pz 的抑制  $\alpha$  波，同時提升  $\theta$  波，結果顯示了神經回饋組和 HRV 組都有較好的表現。再來是 Gruzelier 與 Thompson 等人（2014）的神經回饋介入舞蹈的研究中使用了隨機分派將參與者分至 4 組（ $\alpha$ - $\theta$  神經回饋組、心律變異組 HRV、舞蹈系研究組、控制組），結果顯示電極點 Pz 的 10 次  $\alpha$ - $\theta$  神經回饋訓練對舞者在表現時

的焦慮感降低、舞蹈創意提高。接著是 Rostami 等人（2012）的射擊研究，發現提升 SMR 同時抑制 high  $\beta$  與提升  $\alpha$  和  $\theta$  同時抑制 high  $\beta$  的混和神經回饋訓練有助於射擊表現。同樣地，Paul 等人（2011）發現提升 SMR 同時抑制  $\theta$  和 high  $\beta$  有助於提升射箭選手的覺醒程度與壓力調節，但是對表現的提升未達顯著。再來是 Faridnia 等人（2012）發現二階段神經回饋訓練，第一階段提升 SMR 同時降低  $\theta$  和 high  $\beta$ ，第二階段提升  $\beta$  同時降低 high  $\beta$ 。可以降低游泳選手之焦慮感。Shaw 等人（2012）發現提升 SMR 與抑制  $\theta$  的神經回饋訓練可以改善體操運動員的平衡項目表現。最後，Mikicin（2015）發現提升 B1 和 SMR 同時降低  $\theta$  和  $\beta_2$  的神經回饋訓練可以提升學生運動員之運動表現。

在收錄的八篇使用到  $\theta$  波作為神經回饋指標的研究中，四篇訓練感覺動作區，三篇針對頂葉區做訓練，只有一篇訓練前額葉。Kao 等人（2014）的研究使用一次性地訓練額中線  $\theta$  波，結果顯示有進步，因此可推斷 Fm  $\theta$  神經回饋訓練可能一次以上的訓練都能看出效果。全部八篇  $\theta$  波神經回饋的研究中有一篇沒有看表現進步的幅度、一篇表現沒有進步，可能的解釋是覺醒程度直接或間接地影響了運動表現。研究設計的部分有一篇未隨機分派，這可能對結果會有證據力薄弱的問題；有兩篇採用單組前後測設計，建議需要加入控制組，可以使證據力提升。

## 肆、討論

種種研究成果支持了神經回饋訓練對於運動表現有正面效果，但到目前為止，多數的研究都還有一種或多種方法學上的限制，這樣的限制有可能使得訓練效果的證據力受到影響。因此對於未來的研究，我們應該要有更嚴謹的研究方法來解決過去的研究限制，例如 Gruzelier（2014b）跟 Hammond（2011）提出，神經回饋的頻率段與訓練的位置，這兩個因素是能夠最直接地影響整個神經回饋訓練程序。Gruzelier（2014a）和 Rogala、Jurewicz、Paluch、Kublik、Cetnarski 與 Wrobel（2016）提出一些全面的神經回饋方案的建議。在這些建議中，我們會強調神經回饋訓練介入運動表現研究的領域的相關因素，未來研究人員參考這些建議可以讓研究設計品質更高且更能夠使得神經回饋在運動表現的中介更清晰。

### 一、評估標準

神經回饋訓練除了要檢視運動表現，更重要的是確認參與者是否學會控制大腦活動。應該要確保或是評估自我調節的量，過去對於訓練的劑量是以表現進步的幅度作為評估標準，但很少有研究對目標大腦的活動變化做報告（例如 Cheng et al., 2015; Ring et al., 2015）。未來應該要將表現變化的曲線與腦波變化作關聯，作為大腦訓練與運動表現更強力的支持。

## 二、個別差異性

神經回饋訓練的成效應以個人為標準，而非組別之間，這受到個人學習的能力、受試者的認知、訓練提供的指導語、過去是否有參與過類似的訓練等影響。若以群體表現作為標準，並非所有參與者都學會在相同程度上自我調節目標大腦活動：有些人可能比其他入學得更好。因此，在目標大腦活動中表現出最大變化的參與者也應該表現出最大的行為（表現）變化。考慮到這一點，可以使用個人目標腦波調節的程度與個人表現作為檢驗學習自我調節與行為變化之間的關聯。

## 三、控制組設定

介入性質的研究應要有其他的組別作為比對，也要符合 RCT 的標準。只有單一組別前後測的研究或加上不給予訓練的控制組是不夠的，例如，要確認神經回饋訓練對運動表現有正面的效果，需要凸顯出良好的運動表現是由特定目標的大腦活動引起的，這必須要將其他的解釋因素排除，能夠幫助表現改善的可能因素有幾點 1. 時間、訓練效果 2. 安慰劑效應：為了達到他人的期待，提高自我效能，並更加努力。增加積極控制組（active control）可以將此二者因素排除，例如 Cheng、Huang 等人（2015）的假回饋組，或 Landers 等人（1991）的非相關腦區訓練，以及，Ring 等人（2015）訓練其他頻率段。

## 四、訓練課程設計

研究人員在設計神經回饋訓練方案時必須考慮許多設計選擇。例如：1. 訓練的頻率段（例如，SMR,  $\alpha$  和  $\theta$ ），選擇的頻率段要有過去的研究支持腦波活動與表現的關係。例如過去已有研究支持  $\theta$  波段與放鬆的狀態有關，大腦運作呈怠速狀態；2. 電極點位置（例如，Fz, Cz, Pz, Oz, C3, C4, T3 和 T4）電極的位置亦要有過去的研究支持與表現的關係，例如 Hatfield、Landers 與 Ray（1984）的來福槍研究發現了專家、生手組間的顳葉區（T3、T4）活動有差異，該研究的第二部分又發現了左右腦顳葉區的功能；3. 介入課程（訓練的次數，每個訓練的持續時間，訓練之間的間隔時間），介入方式的設計將可能影響訓練的有效性（Rogala et al., 2016）。訓練量可能讓參與者有更快的學習或是讓參與者感到疲勞；4. 回饋的方式（例如聽覺，視覺、身體感覺）將取決於是否要在真實的作業環境中提供神經回饋訓練，例如：高爾夫推桿時、空氣槍射擊準備時等需要高度視覺專注的作業較難使用視覺回饋。雖然擁有多種回饋手段可能更好，但至少在結合作業的訓練開始時，視覺回饋不能用於需要視覺瞄準的真實比賽環境中；5. 保留效果之探討，儘管已有相當之證據支持神經回饋訓練之急性效果，但最重要的是，在完成訓練後此效果可以維持的程度與效期（例如 Schmidt et al., 1990），目前此方面之研究證據有限，未來需要更多的研究來探討以利實務之運用；6. 回饋的頻率，如果每次都提供回饋，學習者可能

會對神經回饋產生依賴性（例如 Arns et al., 2008），這可能會使得沒有神經回饋時表現得不理想（例如 Winstein and Schmidt, 1990）。因此，建議在整個訓練過程中逐步降低回饋頻率，並教導受試者學習在無回饋訊息之下還能透過其他制約刺激來控制腦波。

## 五、研究樣本數不足

至今為止的研究通常參與者的數量較少，因此造成統計考驗力不足、發現真正影響的可能性受到阻礙，或是神經回饋訓練的效果因樣本數補足而降低可信度。未來的研究應該要有更多專業樣本（例如，單項運動中的精英運動員的同質樣本）可以解決這個問題。或是複製研究方法，擴充樣本數以達到確認效果量。

## 六、參與者技能水平

對於受試者族群的水準評斷應該要有更明確的指標，單就定義菁英或專家運動員的標準就存在相當大的不一致（Polman, 2012），例如有的文獻對於專家的定義是接觸該運動 10 年以上（Ericsson et al., 1993; Hayes, 1985），或是進行該運動的時間累計超過 10000 小時（Gladwell, 2009），對於受試者的招募應有個更明確的技能評斷方式，例如高爾夫的差點（Handicap）桿數、武術的帶數級別等。

## 七、混淆變項排除

為了避免混淆變項對研究結果產生干擾，組別之間除了要經過隨機對照試驗（Randomized controlled trial, RCT）組別之間均質，參與者的潛在混淆因子也要受到控制，例如年齡、性別、慣用手、任何腦部損傷等等，尤其是要確定參與者平常打球習慣用手與慣用手相同，像是有桌球選手為了發展打球策略，刻意訓練左手持拍，即使左手是非慣用手；左利手的高爾夫球桿訂製困難，刻意訓練右手持桿等。

## 伍、結論

總結下來，現有證據支持神經回饋訓練能幫助運動員提升運動表現，且包含精準性與其他技巧性甚或體能性項目。然而這些研究成果會受到對照組的影響，若未來的研究能夠在現有研究基礎上，對研究之混淆變項進行有效控制，擴增有效樣本數的話，能夠對神經回饋訓練提供更穩固的支持，確立訓練的次數與表現提升的程度和腦波變化之間的關係，除了更進一步了解大腦活動與運動表現之間的密切關係之外，也將對以神經回饋為基礎之運動表現提升介入策略提供有效之應用方向。

## 參考文獻

- Aftanas, Lyubomir. I. and S. A. Golocheikine (2001). Human anterior and frontal midline  $\theta$  and lower  $\alpha$  reflect emotionally positive state and internalised attention: High-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, 310: 57-60.
- Arns, Martijn, Michiel Kleinnijenhuis, Kamran Fallahpour, and Ri-en Breteler (2008). Golf performance enhancement and real-life neurofeedback training using personalized event-locked EEG profiles. *Journal of Neurotherapy*, 11: 11-18.
- Baumeister, Jochen, Kirsten Reinecke, Heinz Liesen, and Michael Weiss (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 4: 625-631.
- Berner, I., M. Schabus, T. Wienerroither, and W. Klimesch (2006). The Significance of Sigma Neurofeedback Training on Sleep Spindles and Aspects of Declarative Memory. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31, 2: 97-114.
- Bertollo, Maurizio, Selenia di Fronso, Edson Filho, Silvia Conforto, Maurizio Schmid, Laura Bortoli, Silvia Comani, and Claudio Robazza (2016). Proficient brain for optimal performance: The MAP model perspective. *PeerJ*, 4: e2082.
- Broyd, Samantha J., Charmaine Demanuele, Stefan Debener, Suzannah K. Helps, Christopher J. James, and Edmund J. S. Sonuga-Barke (2009). Default-mode brain dysfunction in mental disorders: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33: 279-296.
- Burkett, Virginia Shannon, John Michael Cummins, Robert Malcolm Dickson, and Malcolm Skolnick (2005). An open clinical trial utilizing real-time EEG operant conditioning as an adjunctive therapy in the treatment of crack cocaine dependence. *Journal of neurotherapy*, 9, 2: 27-47.
- Cheng, Ming Yang, Chiao-Ling Hung, Chung Ju Huang, Yu Kai Chang, Li Chuan Lo, Cheng Shen, and Tsung-Min Hung (2015). Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing. *Biological Psychology*, 110: 212-218.
- Cheng, Ming Yang, Chung-Ju Huang, Yu-Kai Chang, Dirk Koester, Thomas Schack, and Tsung-Min Hung (2015). Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 37, 6: 626-636.
- Chuang, Lan-Ya, Chung-Ju Huang, and Tsung-Min Hung (2013). The differences in frontal midline  $\theta$  power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. *International Journal of Psychophysiology*, 90, 3: 321-328.

- Crews, Debra J. and Landers Daniel M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25: 116-126.
- Dekker, Marian K. J., Berber. R. Van den Berg, Ad J. M. Denissen, Margriet M. Sitskoorn, and Geert J. M. Van Boxtel (2014). Feasibility of eyes open  $\alpha$  power training for mental enhancement in elite gymnasts. *Journal of Sports Science*, 32: 1550-1560.
- Di Fronso, Selenia, Claudio Robazza, Edson Filho, Laura Bortoli, Silvia Comani, and Maurizio Bertollo (2016). Neural markers of performance states in an Olympic athlete: An EEG case study in air-pistol shooting. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15: 214-222.
- Doppelmayr, Michael and Emily Weber (2011). Effects of SMR and theta/beta neurofeedback on reaction times, spatial abilities, and creativity. *Journal of Neurotherapy*, 15: 115-129.
- Doppelmayr, Michael, Thomas Finkenzeller, and Paul Sauseng (2008). Frontal midline  $\theta$  in the pre-shot phase of rifle shooting: Differences between experts and novices. *Neuropsychologia*, 46, 5: 1463-1467.
- Edmonds, W. Alex and Gershon Tenenbaum (Eds.). (2012). *Case studies in applied psychophysiology: Neurofeedback and biofeedback treatments for advances in human performance*. Chichester, UK: Wiley.
- Egner, Tobias and John H. Gruzelier (2001). Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *Neuroreport*, 12: 4155-4159.
- Egner, Tobias and John H. Gruzelier (2003). Ecological validity of neurofeedback: Modulation of slow-wave EEG enhances musical performance. *Neuroreport*, 14, 9: 1221-1224.
- Egner, Tobias, Emilie Strawson, and John H. Gruzelier (2002). EEG signature and phenomenology of alpha/theta neurofeedback training versus mock feedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27: 261-270.
- Ericsson, K. Anders, Ralf Krampe, and Clemens Tesch- Römer (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100: 363-406.
- Eysenck, Michael William and Nazanin Derakshan (2011). New perspectives in attentional control theory. *Personality and Individual Differences*, 50: 955-960.
- Faridnia, Mehrsa, Masoumeh Shojaei, and Alireza Rahimi (2012). The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers. *Annual of Biological Research*, 3: 1020-1028.

- Fitts, P. Morris and Michael I. Posner (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Gevens, Alan, Matthew E. Smith, Linda McEvoy, and Dong Yu (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, 7, 4: 374-385.
- Gladwell, Malcolm (2009). *Outliers: The story of success*. London: Penguin Books.
- Gruzelier, John H. (2014a). EEG-neurofeedback for optimizing performance. II: creativity, the performing arts and ecological validity. *Neuroscience & Biobehavioral Review*, 44: 142-158.
- Gruzelier, John H. (2014b). EEG-neurofeedback for optimizing performance. III: A review of methodological and theoretical considerations. *Neuroscience & Biobehavioral Review*, 44: 159-182.
- Gruzelier, John, Atsuko Inoue, Roger Smart, Anthony Steed, and Tony Steffert (2010). Acting performance and flow state enhanced with sensory-motor rhythm neurofeedback comparing ecologically valid immersive VR and training screen scenarios. *Neuroscience Letters*, 480, 2: 112-116.
- Gruzelier, John, Melissa Foks, Tony Steffert, Max Jin Lung Chen, and Tomas Ros (2014). Beneficial outcome from EEG-neurofeedback on creative music performance, attention and well-being in school children. *Biological Psychology*, 95: 86-95.
- Gruzelier, John, Trevor Thompson, Emma Redding, R. Brandt, and Tony Steffert (2014). Application of  $\alpha/\theta$  neurofeedback and heart rate variability training to young contemporary dancers: state anxiety and creativity. *International Journal of Psychophysiology*, 93: 105-111.
- Hammond, D. Corydon (2011). What is neurofeedback: an update. *Journal of Neurotherapy*, 15: 305-336.
- Hatfield, Brad D., Daniel M. Landers, and William J. Ray (1984). Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen. *Journal of Sport Psychology*, 6, 1: 42-59.
- Haufler, Amy J., Thomas W. Spalding, D. Laine Santa Maria, and Bradley D. Hatfield (2000). Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*, 53: 131-160.
- Hayes, John R. (1985). Three problems in teaching general skills. In Judith W. Segal, Susan F. Chipman, & Robert Glaser (Eds.), *Research and open questions: Vol. 2. Thinking and learning skills* (pp. 391-406). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.



- Hung, Tsung Min, Amy J. Haufler, Li-Chuan Lo, Gottfried Mayer-Kress, and Bradley Hatfield (2008). Visuomotor expertise and dimensional complexity of cerebral cortical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40: 752-759.
- Kamiya, Joe (1962). Conditioned Discrimination of the EEG Alpha Rhythm in Humans. *The Western Psychological, San Francisco*. California.
- Kamiya, Joe. (1968). Conscious control of brainwaves. *Psychology Today*, 1: 56-60.
- Kao, Shih Chun, Chung-Ju Huang, and Tsung Min Hung (2014). Neurofeedback training reduces frontal midline  $\theta$  and improves putting performance in expert golfers. *Journal of Applied Sport Psychology*, 26, 3: 271-286.
- Kao, Shih-Chun, Chung Ju Huang, and Tsung Min Hung (2013). Frontal Midline  $\Theta$  is a Specific Indicator of Optimal Attentional Engagement During Skilled Putting Performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 35, 5: 470-478.
- Klimesch, Wolfgang, Gert Pfurtscheller, Wolfgang Mohl, and Harold Schimke (1990). Event-related desynchronization, ERD-mapping and hemispheric differences for words and numbers. *International Journal of Psychophysiology*, 8: 297-308.
- Klimesch, Wolfgang, Paul Sauseng, and Simon Hanslmayr (2007). EEG  $\alpha$  oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53, 1: 63-88.
- Kober, Silvia Erika, Matthias Witte, Matthias Stangl, Aleksander Våljamäe, Christa Neuper, and Guilherme Wood (2015). Shutting down sensorimotor interference unblocks the networks for stimulus processing: An SMR neurofeedback training study. *Clinical Neurophysiology*, 126: 82-95.
- Krane, Vikki and Jean Williams (2006). Psychological Characteristics of Peak Performance. In J. M. Williams (Ed.), *Applied Sport Psychology: Personal Growth to Peak Performance* (pp. 207-227). New York: McGraw-Hill.
- Landers, Daniel M., Steven J. Petruzzello, Walter Salazar, Debra J. Crews, Karla A. Kubitz, Timothy L. Gannon, and Myungwoo Han (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23: 123-129.
- Larsen, Stephen and Leslie Sherlin (2013). Neurofeedback: An emerging technology for treating central nervous system dysregulation. *Psychiatric Clinics of North America*, 36: 163-168.
- Lubar, Joel F., Michie Odle Swartwood, Jeffery N. Swartwood, and Phyllis H. O'Donnell (1995). "Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in TOVA scores, behavioral ratings, and WISC-R performance". *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 20, 1: 83-99.

- Mann, Christopher A., Maurice Barry Stermann, and David A. Kaiser (1996). Suppression of EEG rhythmic frequencies during somato-motor and visuo-motor behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 23, 1-2: 1-7.
- Maxwell, John P., Richard S.W. Masters, and Frank F. Eves (2000). From novice to no know-how: a longitudinal study of implicit motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 18: 111-120.
- Mikicin, Mirosław (2015). The autotelic involvement of attention induced by EEG neurofeedback training improves the performance of an athlete's mind. *Biomed. Human. Kinetics*, 7: 58-65.
- Milton, John, Ana Solodkin, Petr Hluštík, and Steven L. Small (2007). The mind of expert motor performance is cool and focused. *NeuroImage*, 35: 804-813.
- Ming-Yang Cheng, Kuo-Pin Wang, Chiao-Ling Hung, Yu-Long Tu, Chung-Ju Huang, Dirk Koester, Thomas Schack, and Tsung-Min Hung (2017). Higher power of sensorimotor rhythm is associated with better performance in skilled air-pistol shooters. *Psychology of Sport and Exercise*, 32: 47-53.
- Osaka, Mariko, Mie Komori, Masanao Morishita, and Naoyuki Osaka (2007). Neural bases of focusing attention in working memory: an fMRI study based on group differences. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7, 2: 130-139.
- Oudejans, Raoul R.D., Wilma Kuijpers, Chris C. Kooijman, and Frank C. Bakker (2011). Thoughts and attention of athletes under pressure: skill-focus or performance worries?. *Anxiety, Stress, and Coping*, 24: 59-73.
- Paul, Maman, Sathiyaseelan Ganesan, and Jaspal Singh Sandhu (2011). Effect of sensory motor rhythm neurofeedback on psycho-physiological, electroencephalographic measures and performance of archery players. *Ibnosina Journal of Medicine & Biomedical Science*, 4: 32-39.
- Peniston, Eugene G. and Paul J. Kulkosky (1990). Alcoholic personality and alpha-theta brainwave training. *Medical Psychotherapy*, 3: 37-55.
- Peniston, Eugene G. and Paul J. Kulkosky (1989).  $\alpha$ - $\theta$  brainwave training and  $\beta$ -endorphin levels in alcoholics. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 13: 271-279.
- Pfurtscheller, Gert (1992). Event-related synchronization (ERS): An electrophysiological correlate of cortical areas at rest. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 83: 62-69.
- Polman, Remco (2012). Elite athletes' experiences of coping with stress. In J. Thatcher, M. Jones, & D. Lavallee (Eds.), *Coping and emotion in sport* (2nd ed.). (pp. 284-301). London: Routledge.

- Raymond, Joshua, Imran Sajid, Lesley A. Parkinson, and John H. Gruzelier (2005). Biofeedback and dance performance: a preliminary investigation. *Applied Psychophysiology & Biofeedback*, 30: 65-73.
- Ring, Christopher, Andrew Cooke, Maria Kavussanu, David McIntyre, and Rich Masters (2015). Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in sport. *Psychology of Sport & Exercise*, 16: 118-127.
- Rogala, Jacek, Katarzyna Jurewicz, Katarzyna Paluch, Ewa Kublik, Ryszard Cetnarski, and Andrzej Wrobel (2016). The do's and don'ts of neurofeedback training: A review of the controlled studies using healthy adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10: 301.
- Ros, Tomas, Merrick J. Moseley, Philip A. Bloom, Larry Benjamin, Lesley A. Parkinson, and John Gruzelier (2009). Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neuroscience*, 10, 1: 87.
- Rostami, Reza, Heidar Sadeghi, Kobra Allah Karami, Masoud Nosrat Abadi, and Payman Salamati (2012). The effects of neurofeedback on the improvement of rifle shooters' performance. *Journal of Neurotherapy*, 16: 264-269.
- Rozelle, George R. and Thomas H. Budzynski (1995). Neurotherapy for stroke rehabilitation: A single case study. *Biofeedback and Self-Regulation*, 20: 211-228.
- Salazar, Walter, Daniel M. Landers, Steven J. Petruzzello, Myungwoo Han, Debra J. Crews, and Karla A. Kubitz (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61: 351-359.
- Schmidt, Richard A. and Timothy D. Lee (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, Richard A., Claudia Lange, and Douglas E. Young (1990). Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science*, 9: 325-348.
- Shaw, Lindsay, Leonard Zaichkowsky, and Vietta Wilson (2012). Setting the balance: using biofeedback and neurofeedback with gymnasts. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 6: 47-66.
- Serman, M. Barry (1996). Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: implications for self-regulation. *Biofeedback and Self-Regulation*, 21: 3-33.
- Vernon, David, Tobias Egner, Nick Cooper, Theresa Compton, Claire Neilands, Amna Sheri, and John Gruzelier (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47: 75-85.

- Walker, Jonathan E. and Gerald P. Kozlowski (2005). Neurofeedback treatment of epilepsy. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14: 163-176.
- Winstein, Carolee J. and Richard A. Schmidt (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16: 677-691.
- Wyrwicka, Wanda and Maurice B. Stermann (1968). Instrumental conditioning of sensorimotor cortex EEG spindles in the waking cat. *Physiology & Behavior*, 3: 703-707.

【Invited Article】

## **Research on Enhancement of Sports Performance by Neuro-Feedback**

Eric Hung<sup>1</sup> Tsung-Min Hung<sup>2</sup>

### **Abstract**

Neurofeedback training (NFT) has been used to treat clinical conditions such as epilepsy and Attention Deficit Hyperactivity Disorder. It was not until the early 90s that NFT was applied in the sport domain. NFT can help users control their brain activity, and result in function or symptom changes. Although the number of studies that have applied NFT to enhance motor performance are limited, most of these studies have shown a positive effect. However, some of these studies suffer from weak research design and methodology, which compromises the quality of evidence for the effectiveness of NFT on motor performance. Therefore, this paper intends to review related research with a particular focus on the methodological issues of electrode, frequency band, times, subject assignment, and study design to provide suggestions for future research.

**Keywords: sport, concentration, EEG, review, research method**

---

<sup>1</sup> Undergraduate Student, Department of Optoelectric Physics, Chinese Culture University

<sup>2</sup> Research chair professor, Department of Physical Education, National Taiwan Normal University  
Corresponding Author: Tsung-Min Hung, E-mail: ernesthungkimo@yahoo.com.tw