

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育與運動科學系

碩士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

不同壓力下推桿表現及腦血流之影響：近紅外光頻譜研究

Effect of stress on cortical hemodynamics during golf putting in

VR: A fNIRS Study

張惟淳

Wei-Chun Chang

指導教授：洪聰敏 博士

Advisor：Tsung-Min Hung, Ph.D.

中華民國 113 年 2 月

February 2024

# 謝 辭

這趟旅程終於來到最後一哩路，回首起初踏入這個新領域，無非是跨出舒適圈的決定，兩年半的時間，無疑首要感謝的是指導教授— 洪聰敏老師，除了學術研究上邏輯的訓練，更多的是人生觀的思考。同等感謝的屬我最親愛的家人們，用自己的方式無條件支持與相信我，絕對是最大的精神後盾！很感謝 HTML 實驗室每位成員共同創造的歡愉團隊氣氛，我從各位身上學習到很多的優點，也期許自己未來能吸取優點成為更好的人。完成論文的一路上，感謝建霖、家豪、壬霆、紹瑀學長學弟們願意奉獻無數夜晚一起挑燈夜戰協助我、替我解惑，也謝謝芝雁學姊無私的傳授知識，感謝所有協助完成實驗的學弟妹們，未來一定會懷念一起並肩奮鬥的時光。最後要感謝自己，雖然取得碩士學位只是人生階段的一個小環節，但這過程所發生的任何事，不管好與壞皆是很好的積累，即使遇到挫折與壓力，充滿自我懷疑，仍堅守意志沒有放棄，真的超棒的！

2024.2

# 不同壓力下推桿表現及腦血流之影響：近紅外光頻譜研究

2024 年 2 月

研究生：張惟淳

指導教授：洪聰敏

## 摘要

過去研究發現在壓力下前額葉活化的抑制造成較差的運動表現，有研究者建議可以透過神經科學的儀器來探究其機制，故本研究旨在應用功能性近紅外光譜 (fNIRS) 來研究壓力對前額葉腦區血液動力學的影響。本研究招募了 27 名高爾夫球選手在虛擬實境中透過觀眾噪音、獎勵激勵和任務困難引起壓力，分別進行三情境（控制情境、低壓情境、高壓情境）共 90 桿的推桿任務，同時記錄運動表現、前額葉含氧血紅素以及主觀量表。我們發現，與控制情境相比，在高壓情境下，推桿表現較差 ( $F=7.672, p=.001$ )，前額葉皮質的平均含氧血紅素 ( $F=2.87, p=.047$ ) 以及視覺類比量表 (VAS) 放鬆程度顯著降低 ( $F=3.23, p=.049$ )，而競賽狀態焦慮量表之身體焦慮顯著提升 ( $F=8.15, p=.002$ )。這些結果表明，血液動力學反應的降低可能是受到負面情緒的影響。在虛擬實境模擬下，在壓力情境發現前額葉皮質活化的血液動力學反應，進一步為在 fNIRS 領域探索與壓力相關的神經策略提供了證據，然而因壓力改變注意力相關的認知歷程仍待進一步釐清。

**關鍵字：**壓力下失常、近紅外光頻譜儀、前額葉活化、推桿表現

# Effect of stress on cortical hemodynamics during golf putting in VR: A fNIRS Study

February, 2024

Author: Wei-Chun Chang

Advisor: Tsung-Min Hung

## Abstract

Previous research has found that inhibition of the prefrontal cortex activation impairs athletic performance under pressure. Some researchers suggest that employing neuroscience approach can provide insights for its potential mechanisms. As such, this study aimed to apply Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) to examine the impact of stress on prefrontal cortex hemodynamics. Twenty-seven experienced golfers performed a 90 trials of putting task while performance, oxygenated hemoglobin concentrations and subjective questionnaire was measured under three conditions with various level of stress (i.e., control condition, low pressure condition and high pressure condition) in a virtual reality (VR) environment. Stress was induced by audience noise, award incentive, and task difficulty. Compare to control condition, the results revealed that the performance is the worst in high stress condition ( $F=7.672, p=.001$ ). Also, the averaged HbO of prefrontal cortex ( $F=2.87, p=.047$ ) and relaxation ( $F=3.23, p=.049$ ) in VAS significantly decreased. While somatic anxiety ( $F=8.15, p=.002$ ) in CSAI-2 significantly increased. These results suggest that the decreased hemodynamic response might due to negative emotion. Under the VR manipulation, hemodynamic response in averaged PFC activity were found during the pressure condition. This provides further evidence for the exploration of stress-related neural strategies in the fNIRS field. Nevertheless, the cognitive processes related to changes in attention due to stress still need further clarification.

**Keywords: choking, fNIRS, stress, pressure, PFC activity, golf putting**

# 目 次

謝辭.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii
目 次.....	iv
<b>第壹章 緒論.....</b>	<b>1</b>
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究假設.....	3
第四節 研究重要性.....	4
<b>第貳章 文獻探討.....</b>	<b>5</b>
第一節 壓力對運動表現之影響.....	5
第二節 腦造影與運動表現之關係.....	8
第三節 壓力影響運動表現之機轉.....	14
<b>第參章 研究方法與步驟.....</b>	<b>19</b>
第一節 研究架構.....	19
第二節 研究對象.....	19
第三節 研究工具.....	20
第四節 研究設計與研究流程.....	22

第五節 資料處理與分析 .....	24
<b>第肆章、研究結果.....</b>	<b>26</b>
第一節 操弄檢核 .....	26
第二節 推桿表現 .....	27
第三節 主觀量表 .....	29
第四節 腦血流變化 .....	30
<b>第伍章、討論與建議.....</b>	<b>34</b>
第一節 操弄檢核 .....	34
第二節 運動表現 .....	36
第三節 主觀量表 .....	37
第四節 腦血流變化 .....	38
第五節 研究限制與未來建議 .....	40
第六節 結論 .....	42
<b>參考文獻.....</b>	<b>43</b>

# 第壹章 緒論

本研究旨在透過近紅外光頻譜儀以腦血流變化探討不同壓力對運動表現之影響。本章內容包含：第一節為「研究背景」；第二節為「研究目的」；第三節為「研究假設」；第四節為「研究限制及重要性」。

## 第一節 研究背景

心理壓力一直都是競技運動心理學領域極為關注的議題之一，精準性運動像是高爾夫、射箭、射擊等運動項目，更是容易因心理壓力影響運動表現，以最佳運動表現作為最終目標，許多學者專研於壓力與運動表現的關係，經由研究設計及測量操弄不同壓力因素欲瞭解壓力如何影響運動表現，例如：酬賞制度、錄製影片影響自我評價、對手干擾、環境聲音吵雜、時間倒數的方式使參與者產生壓力，更隨著科技的進步，也透過虛擬實境的方式試圖同時呈現真實比賽的壓力源，像是 Liu 等人（2021）透過 VR 來揣摩射擊比賽情境，或是 Morales Téllez（2021）則是需在分數落後及吵雜比賽環境的情況下，有限時間內完成任務，上述實驗皆呼應 Mesagno 等人（2011）認為根據個人特質採用適合的多個壓力源才能成功引發參與者的焦慮。

壓力引發的影響不僅只有心理層面，也有生理層面，提高當事者覺醒水準，例如較高的肌肉張力（Schleifer et al., 2008）以及較快的呼吸與心跳（Dampney, 2015），能量消耗增加後動作變得較無效率、表現變差（Nibbeling et al., 2011; Pijpers et al., 2006）。同時，當壓力增加時，將活化交感神經系統，也可能造成自律神經系統的變化，壓力下會刺激交感神經的活化、降低與放鬆有關的副交感神經的活化程度，因而釋放腎上腺素，導致心跳加快、血管收縮。運動員在壓力下也比較容易將注意力放在擔心表現或與表現有關的想法上（Oudejans et al., 2011），這種注意力內導會增加高技能表現者動作表現的變異性、多關節自由度的凍結、動作效率的降低等（Gray, 2011）。而壓力不僅僅造成注意力的轉移，也會使運動員產生焦慮，其中又分為身體焦慮以及認知焦慮，Chamberlain

與 Hale (2007) 發現認知焦慮越高，推桿表現越差，與 Hardy 等人 (2004) 的實驗有一致的發現，發現到認知焦慮以及身體焦慮都會造成推桿表現下降，因而造成表現不穩定，由此可知，在競技場域中，壓力的出現不利於表現的生理特徵以及動作的執行，心理方面也產生焦慮的情緒，注意力的轉移，最終損害運動表現。

由上述可知，壓力會造成有限的注意力資源分配轉移，根據兩個與壓力下失常有關的注意力理論，一為自我聚焦模式 (self-focus theory)，此理論主要論述專家若把注意力轉移到外在環境較佳，減少拆解動作執行的步驟較好，根據此概念 Beilock 與 Carr (2001) 提出外顯監控理論 (explicit monitoring theories)，意指原本已經產生自動化的動作因加入過多的自我意識，將破壞原先自動化，因而損害表現；二為分心模式 (distraction theory)，因焦慮造成注意力從原本放在與任務有關的線索上，轉移至與作業無關的分心物上，消耗注意力資源、耗費工作記憶，真正與任務有關的執行所需注意力資源因而不足，最終導致表現下降。根據分心模式，因焦慮造成注意力轉移，前額葉活化是否被視為一種分心，至今研究仍有不一致的發現，Korb (2010) 認為前額葉活化對於動作任務是一種分心物，但 Al-shargie 等人 (2016) 在時間壓力下完成算數任務的研究則發現相反的趨勢，此可能因為作業任務不同，產生不同的見解。

目前仍舊未看見壓力影響心生理的全貌，試圖採用不同的腦造影儀器觀察壓力的生理機轉，腦波儀、近紅外光頻譜儀、功能性核磁造影皆為其中之一，近紅外光頻譜儀 (fNIRS) 具有很好的空間解析度，含氧血紅素指標 (Oxy-Hb) 能幫助我們觀察在壓力下大腦的腦區活化變化，提供不少新的神經認知研究發現。壓力通常伴隨著負面情緒的產生，情緒相關的研究中得知背外側前額葉皮層 (dorsolateral prefrontal cortex; dlPFC) 與調節情緒以及高層次認知功能 (如: 執行能力等) 有關。而在競技領域的研究中，發現隨著壓力的程度增加，不利於思考，平均含氧血紅素 (Oxy-Hb) 下降，前額葉的 Oxy-Hb 上升。Slutter 等人 (2021) 的足球罰球實驗中，模擬製造比賽壓力情境，經由完成三種不同壓力程度觀察 Oxy-Hb 的變化，情境包含有無防守員的直接互動以及環境聲音的

干擾，試圖分散參與者的注意力干擾，研究發現在焦慮時，選手的前額葉腦區右側活化大於左側，呼應前額葉左右不對稱性的概念。

因此，展現近紅外光頻譜儀具有較佳的空間解析度以及可攜帶性之優勢，本研究聚焦在前額葉腦區活化，本研究目的為比較不同壓力下對前額葉腦血流之影響。本研究假設，在高壓情境下，前額葉平均含氧血紅素下降，與任務有關的注意力及放鬆程度減少，動作調整與細節的主動控制意識增加，推桿表現下降。

## 第二節 研究目的

本研究目的即是要比較不同壓力下前額葉腦血流之影響，研究目的說明如下：

- 一、比較不同壓力程度對選手運動表現的影響。
- 二、比較不同壓力程度對主動控制意識的影響。
- 三、比較不同壓力程度對注意力、放鬆程度的影響。
- 四、比較不同壓力程度對前額葉腦血流（含氧血紅素）的影響。

## 第三節 研究假設

本研究假設如下：

假設一：我們預期在運動表現的進球率，控制情境優於低壓情境，且低壓情境優於高壓情境。

假設二：我們預期在主動控制意識，控制情境低於低壓情境，且低壓情境低於高壓情境。

假設三：我們預期在注意力、放鬆程度，控制情境高於低壓情境，且低壓情境高於高壓情境。

假設四：我們預期在前額葉平均含氧血紅素，控制情境高於低壓情境，且低壓情境高於高壓情境。

#### 第四節 研究重要性

過去在競技領域使用近紅外光頻譜儀探討壓力情境的研究較少，目前可能因作業任務的不同，相關的研究發現尚未一致，其中皆為探討專家與生手之間的比較，且各組之間的樣本數較少，多為前導性研究，統計力較為薄弱，目前尚未仔細探究高技能水平者在不同情境下的腦血流變化。本研究使用的紅外光頻譜儀，空間解析度雖不如功能性磁共振造影，然而其優勢為可攜帶性，不需似功能性磁共振造影在狹小空間完成實驗，且腦波儀容易受到動作偽訊影響，近紅外光頻譜儀可配戴儀器執行任務動，具有生態效度。綜上所述，本研究的研究重要性在於探究高技能水平參與者在壓力下影響運動表現的腦區與其背後機轉。



## 第貳章 文獻探討

本章節共分六節：第一節為「壓力對運動表現之影響」；第二節為「腦造影與運動表現之關係」；第三節為「壓力影響運動表現之機轉」；第四節為「文獻總結」。

### 第一節 壓力對運動表現之影響

高爾夫球表現由木桿、鐵桿、開球的揮桿、短桿和推桿等能力組成，在最高層級的職業水準中，大約有 43 % 的擊球桿數來自於推桿 (Pelz, 2000)，雖從技術層面來看，推桿看似是簡單的技巧，但在比賽中為了爭取高額比賽獎金，卻是心理壓力最大、最注重精細細節的環節 (Nicholls, 2007)，影響職業高爾夫協會 (PGA) 巡迴賽收入的最重要的技能 (Alexander & Kern, 2005)，由此可知，推桿能力對於高爾夫選手之表現具有偌大的重要性，而影響推桿表現的心理因素也顯得極為重要。

在競技場上，運動員欲達到最佳表現，技術熟練度、生理狀態及心理狀態三面向缺一不可，高層級的職業運動員多數通常已擁有高水平的技術，也達到了最佳的生理狀態，而穩定的心理狀態將成為重要關鍵。知名高爾夫球手 Jack Nicklaus 曾說過：“高爾夫比賽 80 % 的成績是由心理因素決定的”，而另一位知名網球好手吉米康諾斯 (Jimmy Connors) 認為在高水準的比賽情境中，輸贏的關鍵，心理因素就佔了 95 % (Weinberg, 1988)，尤其是精準性運動，例如射箭、射擊與高爾夫球等，在高水準的比賽中心理因素占了勝負很大的影響因素 (Orlick, 2007; Orlick, 1988)。常見的心理因素為焦慮，而焦慮又分為身體焦慮和認知焦慮，Chamberlain 和 Hale (2007) 招募具有經驗的大學生進行推桿任務，發現認知焦慮與推桿表現呈負相關，與 Hardy 等人 (2004) 研究中觀察到認知與身體焦慮皆會降低推桿表現有一致的認同，而同時更進一步發現到身體焦慮的變異性與高爾夫表現的變異性呈現顯著相關 (Hassmén et al., 2004)，從上述焦慮相關的研究中可知，焦慮此心理因素影響高爾夫推桿表現有高度的關聯。

在競技運動領域中，過去研究對於壓力與運動表現之間的相關議題進行諸多的探討。Baumeister (1984) 描述 (Choking under pressure) 指的是在個人努力追求卓越表現的情況下，出現表現不佳的情況，上述所指的壓力被定義為在特定情況下，使提升表現顯為重要的任何單一或同時多個影響因素皆稱之為壓力，而壓力下失常 (Choking) 意指在有壓力情況下，表現受損或下降 (Baumeister, 1984)。之後 Mesagno 與 Hill 更是將其定義修正成「因為知覺到壓力而提高焦慮，造成原本正常下預期可以達到的表現水準，卻出現一種急性與相當程度的技能執行與表現水準降低的現象。」 (Mesagno & Hill, 2013)

先前的研究發現，壓力經常出現在相對複雜或困難的任務，像是籃球罰球 (Mesagno et al. 2012; Wang et al., 2004)、高爾夫球推桿 (Beilock & Carr, 2001; Masters, 1992)、足球罰球等 (Gerrard, 2007; Jordet et al., 2006)，關鍵時刻壓力下失常，通常伴隨著嚴重的心理、社交、金錢的後果。而壓力不僅使生理上的覺醒水準提升，如肌肉張力較高 (Schleifer et al., 2008; Weinberg, 1978)、呼吸急促、心跳加快 (Dampney, 2015)。然而，壓力除了造成情緒的變化，例如：焦慮、擔心，焦慮被認為會有損動作表現，也可能影響注意力的資源分配 (Eysenck, 1996; Eysenck & Carlv, 1992)。

許多證據皆觀察到因壓力引起的焦慮，造成心理上認知或情緒有所變化，使注意力轉移，表現因而下降 (Behan & Wilson, 2008; Gucciardi et al., 2010; Nieuwenhuys et al., 2008; Pijpers et al., 2006; Vickers & Williams, 2007; Castaneda & Gray, 2007)，也連帶影響到動作技能的執行，高技能者因注意力轉移至內在情緒或想法，動作變異性增加、多關節自由度的凍結，在高爾夫項目中，甚至會因距離的不同，從原先揮桿幅度策略改變至揮桿速度的執行策略 (Gray, 2010)。

Gray (2004) 找來具有技能的棒球選手，相較於基準表現，發現在金錢酬賞及社會壓力的壓力情境下，揮棒過程的不同階段的動作變異性增加，更詳細的說，比較高壓與低壓情境之間，高壓情境下，執行動作時，將構成要素拆解成更多步驟，而此作法會增加動作的變異性。同樣在 Cooke 等人 (2010) 的實驗也有類似的發現，生手高爾夫選手

在高壓情境下，向下推桿時，橫向的加速度增加，此可能導致擊球接觸面的角度變異性隨之增加。另外，Lohse 等人（2010）射飛鏢任務中，並測量肩膀及手肘的關節角度變異性，研究發現若參與者將注意力聚焦在外在環境（如：關注在靶上），關節角度變異性顯著高於將注意力聚焦在動作執行上，且準確率明顯較高，此概念符合 Bernstein（1967）提出專家在高壓情境下，會選擇像生手以凍結關節自由度作為策略，以降低任務的複雜度。壓力也被認為會影響動作的經濟性（movement economy），動作經濟性意指執行同一動作，耗費較少的能量，動作經濟性較好，Coombes 等人（2009）指出，出現焦慮狀態時，肌肉較活躍，產生更多的力量，動作的經濟性也隨之降低。Beilock 與 Gray（2011）的實驗欲了解注意力的轉換如何影響高爾夫推桿策略，透過雙任務（dual-task condition）及聚焦技能（skill-focused condition）兩情境，在壓力下失常時，須完成指定的任務，研究發現專家在聚焦技能情境（skill-focused condition）推桿表現有較差，較低的準確率，換言之，當注意力放在執行技能上時，專家進行不同距離的推桿時，經常切換成生手般的動作控制策略。此與 Wang 等人（2004）籃球罰球專注在執行動作有損表現研究發現一致，也代表當專注在外在環境時，能維持運動表現（Oudejans et al., 2011），綜合上述的實驗可知，隨著注意力轉換、壓力的不同，影響到個人動作控制，而最終反應在運動表現。

### 一、模擬壓力的方式

繼上述後，DeCaro 等人（2011）認為因受到表現結果（如：酬賞或懲罰機制）所產生的壓力，會造成分心（distraction）；而壓力是因表現受到監控所產生時（如：他人在旁觀看或錄影監看），會導致 explicit monitoring。因此過去研究經常透過獎金制度（reward contingency）、自我評價（ego relevance）、模擬競賽（simulated competition）以及錄製影片（videotaping）、時間壓力（Villafaina et al., 2019）等概念製造壓力，Mesagno 與 Mullane-Grant（2010）找來 60 名足球員，透過觀眾及獎金制度以製造壓力。更有趣的是，隨著科技的發展與進步，發展出不同模擬壓力的呈現方式，Morales Téllez（2021）

的實驗中，運動員使用目前很熱門及新穎的虛擬實境的生理回饋來練習壓力管理，在屏幕上視覺計分板顯示落後分數，並在倒數時間內，聽覺呈現觀眾噓聲以及教練大喊指令模擬比賽當下的壓力情境。Harrison 等人（2021）的虛擬實境實驗，成功使 13 位足球員透過虛擬實境放鬆練習介入來降低認知焦慮和身體焦慮，提升自信心。更進一步說，Mesagno 等人（2011）表示使用獎金制度或影片錄製的單一概念模擬壓力無法成功製造壓力，建議結合多個概念才能足以引發焦慮，然而同時也需注意因獎金與懲罰制度所引發的焦慮反應程度，仍會受到個人特質及當下情境有所改變（Essl & Jaussi, 2017）。

## 第二節 腦造影與運動表現之關係

競技運動認知科學領域（sport cognitive neuroscience）以認知科學為知識基礎，聚焦在大腦神經與心理歷程之間的關聯，主目的是欲了解菁英選手呈現絕佳表現期間，人類大腦的運作機制如何達到最佳的身體潛能。人類神經系統主要分為中樞神經系統以及周圍神經系統，起初探究過程中，發展出許多測量中樞神經系統的測量技術，像是正子輻射斷層掃描（positron emission tomography, PET scan）、腦電波（electroencephalography, EEG）、腦磁波（magnetoencephalography, MEG）、功能性磁共振造影（functional magnetic resonance imaging, fMRI）、功能型近紅外光譜儀（functional/near-infrared spectroscopy, fNIRS）等大量的測量工具隨之出現，透過非侵入式的腦造影技術分析以了解腦功能。

然而各測量儀器有其優、劣勢，腦電波（EEG）提供毫秒的高時間解析度之大腦影像優勢，而功能性磁共振造影（fMRI）、功能型近紅外光譜儀（fNIRS）、正子輻射斷層掃描（PET）則是具有高空間解析度的優點。正子輻射斷層掃描此大腦造影技術具有輻射性，長期下來對於人體產生負面影響，因此日後逐漸被取代。而功能性磁共振造影（fMRI）、功能型近紅外光譜儀（fNIRS）兩者皆是以腦血氧作為觀測指標，功能性磁共振造影以平躺姿勢進入圓柱形儀器之中，藉由 360 度磁共振造影及血液動力學的造影技術測量各腦區的活化程度，空間解析度為所有腦造影儀器之最好，能觀測較深層的腦區，如：杏仁核、

海馬迴等，然因需在儀器之特定範圍內空間完成測量，因此生態效度較低，同時費用較為昂貴，且對動作產生的訊號偽訊較為敏感，此技術有其限制。以血液動力學原理為基礎的功能性近紅外光譜儀是一個功能性光學造影，透過波長為 650-900nm 的近紅外光，至少兩種波長的光線似香蕉形狀的軌道穿透人體的皮膚、顱骨、腦脊液、腦組織 (Yeung & Chan, 2021)，利用 modified Beer-Lambert 公式 (Sassaroli & Fantini, 2004) 將光線衰減量換算成血氧濃度，測量大腦皮層表面的血液動力學變化。當神經元活化時，會出現神經血管耦合 (neurovascular coupling)，代謝需求因而增加，血流增加，此時含氧血紅素濃度 (oxyhemoglobin; HbO) 上升，去氧血紅素濃度 (deoxyhemoglobin; HbR) 下降，優勢在於輕巧、方便攜帶，不受限於某特定空間進行測量，且無侵入性 (Strangman et al., 2002)，較能容忍動作產生的偽訊。功能性磁振造影 (fMRI)、功能性近紅外光譜儀 (fNIRS) 不僅在醫學領域中已有大量的相關研究，也廣泛被使用於心生理學領域的研究，下述將以常見的功能性磁振造影 (fMRI) 及功能性近紅外光譜儀 (fNIRS) 以及腦電波 (EEG) 說明腦造影與運動表現之關係。

### 一、各腦造影下專家與生手之差異

過去研究談及到專家與生手的差異時，經常以神經效率假說 (neural efficiency hypothesis) 作為支持，此假說認為相較於生手，專家出現較佳的神經效率，意指同進行一動作時，專家能使用較少的大腦神經活化 (亦即較低的神經資源)，完成動作的任務 (Fink & Neubauer, 2009)，欲瞭解兩者之間的不同，許多認知神經科學的學者透過不同的神經腦造影工具探究專家與生手之大腦特徵差異。

功能性磁振造影 (fMRI) 即是常見測量工具之一，Milton 等人 (2007) 探討專家高爾夫選手與生手在推桿擊球前試揮時，大腦動作計畫 (motor planning) 歷程的腦區活化，研究發現專家主要活化區域位於頂葉腦區 (superior parietal lobule)、背外側額葉皮質 (dorsolateral prefrontal cortex，簡稱 dlPFC) 和枕葉區 (occipital area)，相反在生手的後扣帶回 (posterior cingulate)、杏仁核-前腦複合體 (amygdala-forebrain complex) 和基

底核 (basal ganglia) 產生活化，這樣的結果說明專家能結合視覺資訊與動作指令，專注在動作計畫上，而生手傾向於情緒或是與任務無關的影響因素下進行動作計畫，此也與再投資假說的核心概念相互呼應。相似的研究發現也出現在另一個研究，Kim 等人(2008) 找來 8 位世界級射箭選手以及 8 位生手，探究兩者之間賽前例行性動作的神經網絡之差異，fMRI 資料發現雙方在瞄準期間，射箭選手的枕葉回 (occipital gyrus) 和顳葉回 (temporal gyrus) 有所活化，生手則是主要活化區域為前額葉。由此可知，投入大量練習的專家比起生手，更能排除與任務無關的訊息，產生較有效率的神經網絡，生手則是容易活化與情緒有關的腦區。同樣的在 Gaser 和 Schlaug (2003) 這篇職業音樂家與業餘音樂家之間發現在動作、聽覺、視覺空間相關的腦區灰質量有明顯的不同，造成差異的原因也來自於長期密集的訓練。更進一步說，比較非音樂家、業餘音樂家與職業音樂家三者與工作記憶、注意力處理有關的額頂葉腦區網絡之間差異，大腦活化呈現階梯形的結果，業餘音樂家介於其餘兩組之間，與職業音樂家稍有重疊 (Oechslin et al. 2013)。而在 fNIRS 方面，Hannah 等人 (2022) 針對不同技能水平的外科手術執行者做系統性回顧，發現到經驗豐富的外科醫師在執行精細動作任務以及下決策時，皆顯示前額葉活化較低，而動作皮質區則活化較多。

學者使用其他不同儀器也有相似的發現，在腦電波 (EEG) 方面，發現相較於生手，專家出現較佳的神經效率，意指同進行一動作時，專家能用較少的大腦神經活化，完成動作的任務。專家與生手的 alpha 頻率有所差異，可能成為預測其最佳運動表現的方式之一 (Yarrow et al., 2009)，Tarabrina (2023) 一篇摔角選手的研究中顯示專家摔角選手在左半腦之 alpha 有明顯的活化，有較佳的認知處理與神經資源整合，以及較佳的抑制功能，被認為因長期訓練特定運動專項項目所得來的結果。相似的發現也出現在 Kerick 等人 (2004) 招募了一群海軍軍校的學生，進行了為期超過三個月的空氣手槍射擊訓練，並藉由 EEG alpha-2 (11-13Hz) 波觀察顳葉腦區 (T3、T4) 其大腦皮層動態，alpha-2 是與任務有關的注意力歷程指標，研究發現在按下板機的前後五秒，左顳葉的 T3 位置有顯著的提升，而右顳葉 T4 位置相對活化較少，學者認為隨著練習的增加，動作

更加自動化，減少認知負荷，大腦活化減少。綜觀認知神經科學，生手面對任務時，因語言分析、注意力要求等，增加整體的皮質的活化，同時也增加與感官、動作歷程有關的皮質彼此之間互相連結與溝通相反的，面對已非常熟練的任務，專家經常能在有限的資源進行有效分配並自動化，特別是視覺-空間性的任務需求，減少活化大腦的皮質，降低動作歷程相關的大腦皮質之間的相互連結（Hatfield, 2018）。

## 二、各腦造影下與壓力及情緒相關的研究

過去有許多研究著墨 EEG 在不同頻率段與情緒狀態之間的關聯，發現 alpha 與 beta 頻率段與負向情緒、壓力有關。Marshall 與 Lopez-Duran 指出在壓力下，前額葉的 alpha 頻率段（8-12 Hz）下降（Marshall et al., 2015 ; Lopez-Duran et al., 2012），Choi 等人則發現壓力下，顳葉與 beta 頻率段（12-30 Hz）之間成正相關（Choi et al., 2015）。Deeny 等人（2003）提供 EEG 在壓力下失常一個新的證據，他們認為 T3-Fz 相干性能作為預測壓力下失常的指標之一，左顳葉（T3）與認知有關，而額中葉中線（Fz）則是與動作計畫有關。招募技術較好與較差的兩組射擊選手來探討優異的射擊表現是否與左顳葉（T3）-額中葉中線（Fz）腦區的連結減少有關聯，觀察到經驗較多技術較好的這組選手，在扣動板機前的四秒鐘瞄準期間，左顳葉（T3）與額中葉中線（Fz）區域的 alpha 和 beta 波的相干性較低，上述發現與 Lo 等人（2019）有一致的發現。同是壓力情境相關研究，Lo 等人（2019）找來一群人進行為期三個月的飛鏢任務訓練，確定到一定熟練程度之後，以組內設計的方式完成高壓與低壓的飛鏢投擲任務，任務過程中紀錄參與者出手前的腦波變化，經過分析左、右顳葉區與額中葉區  $\alpha$  相干性，結果發現在出手前一秒，高壓情境的左顳葉區與額中葉區  $\alpha$  相干性高於低壓情境，右顳葉區與額中葉區  $\alpha$  相干性則無差異。基於額中葉  $\alpha$  波反應出動作準備之狀態，較高之左顳葉區與額中葉區  $\alpha$  相干性代表其間溝通程度之增加可能干擾了動作準備而損害表現，可知 T3-Fz  $\alpha$  coherence 的增加與壓力下之飛鏢成績失常有關，邏輯分析與口語活動對動作準備之干擾可能是壓力下失常之機制之一。綜上所述，技能較佳的選手皮質連結較少，尤其在左顳葉與動作

控制腦區，表示在運動過程中，認知及明確意識控制的涉入降低，這也呼應再投資理論之概念。

功能性近紅外光譜儀 (fNIRS) 方面目前已普遍使用在許多靜態壓力任務，尤其觀察大腦前額葉，如：工作記憶有關的任務、叫色測驗、心算、顏色-字義配對等任務(Boecker et al, 2007 ; Vogt. et al., 2013 ; Herrmann. et al., 2005) ，Modi 等人 (2018) 提出出現壓力下失常 (choking) 可能受到前額葉不同反應所調節，過去研究發現可用平均 HbO 來表示不同的心理壓力，當壓力程度的增加，平均 HbO 顯著的下降，除此之外，也發現在壓力情境下，EEG 的 alpha 節律與 fNIRS 的 HbO 呈負相關。像是 Al-Shargie 等人 (2016) 在時間壓力下需解數學算術任務中，根據 Montreal Imaging Stress Task (MIST) 設計三種壓力情境，觀察到前額葉發現壓力增加有所變化，答題正確率與平均 HbO 呈正相關，換言之，在控制情境，HbO 顯著增加，而在高壓情境反而下降，可知隨著壓力的增加，HbO 濃度降低，在 fMRI 研究中也得到相同的結果 (Dedovic et al., 2009 ; Dedovic et al., 2005) 。Tyagi 等人 (2021) 找來 34 位消防員，透過 VR 進行模擬壓力，探討壓力下的腦區變化，除了發現平均前額葉的活化下降 (Arnsten, 2009 ; Saleh et al., 2021) ，在執行動作任務時，前額葉與主要動作皮質區之間的連結有所增強 (Deligianni et al., 2020; Qin et al., 2009) 。在上述段落提及過的一篇外科手術的系統性文獻回顧也有類似的發現，統整過去幾篇文獻探討有限時間內須完成在不容許手術失誤的高壓力情境，資深外科醫師前額葉活化增加，而生手前額葉出現活化降低的情況 (Hannah et al., 2022) ，在其他領域也有相似的發現，生手前額葉活化降低可能受到 HPA 軸的調節所調控，過度的 HPA 活化會降低與任務有關注意力，增加失敗的風險，且受到情緒調節影響 (Arnsten, 2009; Wheelock et al., 2016; Grabell et al., 2019) ，隔年 Modi 更進一步分析，根據表現將參與者分為前 25% 以及後 25% ，發現到穩定的表現與 vIPFC 及 dIPFC 的投入與否有關，在時間壓力下，降低兩腦區的活化能有較佳的表現，然而未進行唾液皮質醇、澱粉酶的量測，無法有效說明壓力下失常與 HPA 軸的直接關係 (Hannah et al., 2022) 。

在情緒相關的 fNIRS 研究中，背外側前額葉皮層 (dorsolateral prefrontal cortex; dlPFC) 與情緒特徵有密切的相關 (Zhang et al., 2022)，以前很少有研究涉及 dlPFC，但 dlPFC 在調節情緒和認知功能方面有著關鍵作用，而 Liu 等人 (2014) 發現焦慮的嚴重程度與右側外側前額葉皮層 (right lateral prefrontal cortex) 的 Oxy-Hb 活化有關。過去學者在臨床上透過觀察焦慮症及憂鬱症患者的腦部變化，Noda 等人 (2012) 發現右側 dlPFC 的 NIRS 信號變化與憂鬱症的嚴重程度呈負相關，憂鬱的嚴重程度與左右外側前額葉皮層 (left and right lateral prefrontal cortex) 和內側背側前額葉 (medial dorsal prefrontal cortex) 的 Oxy-Hb 活化有關。Ganella 等人 (2018) 在需要情緒調節的任務中，焦慮症患者的腹外側前額葉皮層 (ventrolateral prefrontal cortex, vlPFC) 和 dlPFC 活化不足，焦慮的嚴重程度與前額葉皮層的 oxy-Hb 活化呈負相關，以上皆可發現 dlPFC 中的 Oxy-Hb 活化可以反映臨床上焦慮和憂鬱症狀的嚴重程度。然而，目前相關研究中，研究發現仍不一致，Marumo 等人 (2009) 發現 Oxy-Hb 變化與情緒相關任務中狀態-特質焦慮量表 (STAI) 的焦慮評分之間沒有相關性。dlPFC 除了與情緒有關，過去研究也發現，當存在壓力時，將抑制與工作記憶有關的 dlPFC 活化 (Mehta, 2016; Qin et al., 2009; Shortz et al., 2015)，這樣的現象原因可能是交感神經的活化增加、副交感神經減少活化，Qin 等人 (2009) 根據執行控制網絡 (Executive Control Network, ECN) 的概念，在應對壓力情境時，認知功能會下降，接收及處理與任務無關訊息的認知歷程，此時若欲達到好的表現，dlPFC 與次要動作皮質區需產生功能性的連結，以使大腦適應及維持適當的認知行為功能 (Kohn et al., 2017)。

綜上述所說，雖與動作技能相關的腦區活化普遍已有初步一致的認同與發現，學者更想探討的最終目的，仍是如何讓運動員在各情境皆可發揮至最佳狀態、達到最佳表現，在競爭性壓力下，每人會隨著過去經驗以及個人特質，對於壓力的反應有所不同，連帶影響動作執行以及策略，因此壓力下大腦變化是各學者極為關切的議題。

在競技領域且使用 fNIRS 探討壓力議題的研究仍屬少數，以 Slutter 等人 (2021) 此篇目前最為完整，將 10 位甲級大學足球選手及 12 位生手分為兩組，以足球射門作為任務要求，並藉由足球員的前額葉腦區的含氧血紅素 (HbO) 變化，觀察足球員在壓力下的腦區變化，分別有無受到防守員干擾及獎金酬賞設計製造三種不同壓力情境，低壓情境為無防守員干擾進行，中壓情境則是有防守員，但不允許守門員分散踢球者的注意力，兩人沒有互動，單看踢球者如何在有守門員狀態自己抗衡，高壓情境而是有守門員，且防守員可一直分散踢球者注意力，這期間進行注意力干擾，例如：一直叫踢球者名字、故意拖時間、大聲說出預測踢球者的球路等，其主要目的在將注意力分散至別處。實驗結果發現整體的平均含氧血紅素上升，在焦慮狀態，選手的左右前額葉有明顯的差異，右側的前額葉活化比左側來得多，與過去發現一致 (Hatfield & Kerick, 2007; Silveira et al., 2019)，推測這可能與壓力下失常 (choking) 有關。

與 fNIRS 相似的 fMRI，Davis IV 等人 (2008) 關注在運動員面對失敗產生的負面情緒，請 13 位菁英游泳國家隊選手觀看兩部因比賽重大失誤威脅到職涯的失敗影片，並在 20 分鐘認知介入重新建構對事件的情緒反應後，前後測觀察右前動作皮質、左感覺動作皮質、腹側前額葉皮質、右背內側前額葉皮質和右背外側前額葉皮質腦區的 BOLD 訊號，研究發現相較於認知介入前，認知介入後觀看失敗影片時，參與者的腹側前額葉皮質、右背內側前額葉皮質和右背外側前額葉皮質的血氧水平較高，但中性影片與失敗影片的血氧水平則無明顯差異。

### 第三節 壓力影響運動表現之機轉

談到壓力，心理負荷 (Mental workload) 經常一同被討論，心理負荷意指完成某項特定任務中心理投入與認知資源的使用程度，換言之，任務的結果表現會受到執行任務的資源而影響 (Alsuraykh et al., 2019)，此處所述的資源包含記憶力、注意力、認知能力等，這些資源在執行任務時逐漸被消耗殆盡，當環境需求與個人能力之間無法達到平

衡時產生壓力 (stress)，進而產生情緒性經驗以及生理、心理壓力反應。研究學者經常透過主觀評價 (如：自陳量表)、生理測量 (如：心率)、結果表現 (如：反應時間或正確率) 來觀察，過去也發現壓力顯著增加心理負荷，導致有限資源無法適當分配至主要任務，造成執行主要任務時，錯誤率增加，效率、決策判斷的能力、動機下降，此概念與注意力有關的模式不謀而合，接下來說明壓力下失常與注意力有關的相關機轉。

提及壓力下失常與注意力有關的機轉，經常以自我聚焦模式 (self-focus theory) 以及分心模式 (distraction theory) 來解釋，過去已經發現適當的分配有限的注意力資源，與促進學習與結果表現有關 (Beilock et al., 2002; Gray, 2004; Jackson et al., 2006; Masters, 1992; Wulf, 2007)。更具體來說，根據 Baumeister (1984) 所提出的自我聚焦模式 (self-focus theory) 認為當新手聚焦在內部動作執行時，表現較佳，專家專注在動作對於外部環境時，表現較好，換句話說，若專家將注意力放在動作執行的步驟拆解上，對於動作結果產生負面的影響，隨之 Beilock 與 Carr (2001) 依據此模式概念，提出外顯監控理論 (explicit monitoring theories)，指出壓力使人焦慮且增加自我意識 (self-consciousness)，使原本已非常熟悉且自動化的動作受到破壞，因而造成表現下降 (Baumeister, 1984; Beilock & Carr, 2001)，因此，因注意力加註在一個已純熟的技能上，過度的監控可能是造成壓力下失常的其中原因之一。Lewis 與 Linder (1997) 利用次要任務的實驗設計引導選手把注意力從專注在執行任務上轉移開至不相干的任務上 (例如：請選手倒著順序背誦數字)，研究發現到在壓力下推桿表現顯著進步，同樣在 Balk 等人 (2013) 的研究中也有相似的發現，高爾夫選手專注在一首喜歡的歌曲，相較於控制組推桿的準確性較好 (Balk et al., 2013)。

而分心模式 (distraction theory) 則是因焦慮提升導致注意力從與作業有關的線索，轉換至與作業無關的線索，此作業無關的線索又分為內在分心物 (如：擔心目前分數落後) 以及外在分心物 (如：場下觀眾的噓聲)，而此無關的線索會消耗注意力資源，將所剩的注意力資源來處理作業的執行，最終表現因而受損。賽前例行程序 (pre-performance

routine; PPR) 經常是學者以分心模式為根據所採用的一種介入方式，在比賽之前根據個人化，進行一套固定身體動作或心理策略的程序，如：放鬆訓練、意象訓練、提示詞的策略，以幫助運動員維持與任務有關的注意力並降低焦慮 (Cotterill, 2010)。過去發現，學者會採用 PPR 作為介入，來觀察壓力下運動員的運動表現，Lautenbach 等人發現網球選手起初在高壓情境下無使用 PPR 策略時，發球準確性低，然使用 PPR 策略後表現並無繼續惡化 (Lautenbach et al., 2015)，然而也有不一致的發現，Hazell 等人找來足球員在罰球射門前，透過 PPR 來觀察壓力下表現，介入組與控制組的射門準確性並無顯著差異 (Hazell et al., 2014)。

兩模式最大的差別在於工作記憶的涉入，分心模式認為因為內、外在分心物的出現，使過度耗費工作記憶的容量，所剩的工作記憶容量不足以處理與任務相關的線索，而出現表現失常，導致壓力下失常，相反地，自我聚焦模式則認為已熟練的技能不需要工作記憶的干涉，意識的監控或控制動作的執行使原先自動化新增了工作記憶的加入，反而損害表現。

壓力的展現不僅反映在心理，同時也會產生生理反應，如同心理負荷架構所提出，選手主觀評估自身面對競賽壓力的因應能力會影響是否產生負面情緒，而負面情緒(如：焦慮)會觸發下丘腦-垂體-腎上腺皮質軸 (HPA 軸) 和交感神經系統 (SNS) 的活化，但這兩種路徑分別由不同的心理因素觸發 (Eysenck et al., 2007; Boyce & Ellis, 2005)，活化下丘腦-垂體-腎上腺皮質軸 (HPA 軸) 與不可預測的、缺少控制的結果有關；挑戰與努力與交感神經系統 (SNS) 活化有關 (Henry, 1992; Dickerson & Kemeny, 2004; Hellhammer et al., 2009)。

壓力會活化下丘腦-垂體-腎上腺皮質軸 (HPA 軸) 和交感神經系統 (SNS)，當壓力增加時，下視丘會釋放促腎上腺皮質激素釋放因子 (corticotropin-releasing factor, CRF)，這會引起垂體分泌腎上腺皮質激素釋放激素 (adrenocorticotrophic hormone, ACTH) (Dedovic et al., 2009)，以致腎上腺皮質中誘發及分泌皮質醇，皮質醇屬一種葡萄糖皮

質激素 (Al-Shargie et al., 2016) , 因此皮質醇普遍被認為是偵測壓力的生理指標之一。此外, 含有許多葡萄糖皮質激素受體的腦部結構形成了一個調節網絡, 像是海馬迴、杏仁核、前額葉皮質, 過去發現海馬迴及前扣帶皮質扮演了抑制 HPA 軸的角色, 而杏仁核會增強 HPA 軸, 因此海馬迴、杏仁核、前額葉被視為能偵測壓力的腦區 (Dedovic et al., 2009) 。在 van Paridon 等人 (2017) 的這篇統合分析中, 納入不同技能水準、不同運動項目等的 25 篇研究, 在比賽前幾十分鐘採樣選手的唾液皮質醇以觀察其預期壓力反應, 發現到越接近比賽開始時, 預期皮質醇的反應越顯著, 觀察到皮質醇明顯增加, 尤其男性有明顯皮質醇反應, 而在此篇統合分析中發現比賽層級、採樣的時間、個人團體項目等調節變項並無顯著差異。然而也有學者提出在競賽時, 選手經常同時面臨情緒壓力以及身體負荷, 目前仍無法完全釐清與分辨皮質醇反應來自於心理因素或是生理需求, 難以單純測量出由心理因素造成的皮質醇反應, 故需生理與心理的測量來綜合觀察影響因素 (van Paridon et al., 2017) 。

然而除了皮質醇以外目前研究也使用許多其他生理指標來觀察壓力程度, 例如心跳變異率 (Heart Rate Variability, HRV) 、血壓、膚電, 這些與交感神經系統有關。當壓力增加時, 將活化交感神經系統, 因而釋放腎上腺素, 導致心跳加快、血管收縮, 呈現「戰鬥或逃跑」的反應 (Ulrich-Lai & Herman, 2009) , 更是較難以適應及調節環境或認知上帶來的挑戰與壓力 (Shaffer et al., 2014) , 心跳變異率減少, 心跳變異率的 HF (high frequency components ) 下降、LF (low frequency components) 上升, 也能藉由皮膚電導反應接受器 galvanic skin response (GSR) sensor 感測皮膚上電導率。這與 Ayuso-Moreno, 等人 (2020) 的發現是一致的, 在女性足球員上發現在高挑戰的比賽 HRV 顯著下降, 同樣在 Fuentes-García 等人 (2022) 研究青少年網球選手賽前焦慮確實造成 HRV 下降, 支持了壓力與焦慮明顯影響運動員的 HRV (Villafaina et al., 2019 ; Schmitt et al., 2015) 。

從上述可發現, 不管注意力的心理反應或是生理反應, 負面情緒被視作是一種引發壓力反應的刺激源, 因此談到壓力免不了探究情緒的產生以及情緒的調節機制。根據情

緒調節機轉-認知控制情緒模型 (Model of cognitive control of emotion, MCCE) , 將認知控制歷程分成四階段: 一、環境選擇: 趨向產生正向情緒或避開產生負面情緒的刺激源; 二、注意力分配: 在特定情境或任務調配有限的注意力資源, 常見的使用策略為選擇性注意力分配及分心; 三、認知改變: 賦予刺激新的意義與評價; 四、調整反應: 對某些刺激或情境有不同的反應方式, 如改變行為、情緒反應。其中第三階段認知改變, 經常使用的策略為重新評價 (reappraisal) , 此為複雜的認知過程, 三種神經系統與重新評價的產生與應用有關的腦區如下: 一、背外側額葉皮質與後額葉皮質: 與選擇性注意力以及工作記憶有關, 將注意力轉移到重新評價的事物上, 並記住重新評價後的內容; 二、背側前扣帶迴皮質: 監控重新評價後行為表現改變情緒反應的程度; 三、腹側前額葉皮質: 選擇合適目標的反應 (Ochsner et al., 2012)

壓力除了活化交感神經系統以外, 也會損害前額葉皮質的功能, 而前額葉能調節神經肌肉的表現, 依據動作任務所需決定招募多少動作單位 (motor units) (Liu et al., 2003; Muthalib et al., 2013; Rhee & Mehta, 2018; Robertson & Marino, 2016) , 欲想了解前額葉如何在壓力下在動作表現進行調節, 經常觀察前額葉與其他腦區之間的功能性連結, 以知道腦區之間如何有效溝通與合作。最常觀測的是前額葉分別與主要動作皮質區 (primary motor cortex, M1) 以及次要動作皮質區 (premotor cortex, PM) 兩腦區之間的交互作用。

在 EEG 方面, 已有許多研究顯示左右前額葉 alpha 出現不對稱性時, 容易產生壓力下失常, 根據動機模型 (motivational models) 提出, 其認為右側前額葉與動機退縮、焦慮、悲傷的負面情緒有關, 左側前額葉與積極動機、興奮的正向情緒有關 (Davidson, 2004; Harmon-Jones & van Honk, 2012; Kawashima et al., 2016) , 當右側前額葉活化比左側多時, 容易出現表現失常。然而 fNIRS 未必能看見如 EEG 一樣的結果, 目前大腦血液動力學對於前額葉側化的機制影響尚不清楚 (Molina-Rodríguez, et al., 2022) , 有學者推測 fNIRS 的 HbO 對於積極-退縮動機不如 EEG 一樣敏感。 (Doi et al., 2013) 。

## 第參章 研究方法與步驟

本章節共分六節：第一節為「研究架構」；第二節為「研究對象」；第三節為「研究工具」；第四節為「研究設計與研究流程」；第五節為「資料處理與分析」。

### 第一節 研究架構

本研究自變項為本研究設計之不同壓力（觀眾干擾、任務困難度、獎金酬賞），依變項為行為（推桿進球率）以及含氧血紅素（HbO）。為驗證本研究的實驗設計與假設，經過統整本研究架構如下圖：



圖 3-1-1 研究架構圖

### 第二節 研究對象

本研究根據過去相關單次性研究之效果量  $\eta^2 = 0.41$ ，計算了效應大小  $d = (2 \times \sqrt{((0.41)^2 \div (1 - ((0.41)^2)))} \approx 0.899$ ，設  $\alpha = .05$  及統計考驗力  $= .80$ ，本研究需要 12 位參與者。本研究最終招募 27 名業餘、職業高爾夫選手，招募必要條件如下：一、排除近期內

服用過任何會影響神經系統之藥物或患有精神相關疾病的實驗參與者。二、研究者詳細告知實驗流程與注意事項後，所有參與者皆為自願參加並簽屬知情同意書，如參與者未滿法定年齡 20 歲皆經法定代理人同意後始參與本研究。三、男女業餘、職業高爾夫球手（選手平均差點 +20 以內）且球齡 5 年以上。四、所有參與者皆為右手慣用。本研究通過國立臺灣師範大學研究倫理審查委員會（Ethics Review Committees）審查及核准。

### 第三節 研究工具

#### 一、眩暈問卷

虛擬情境眩暈問卷（Virtual Reality Sickness Questionnaire, VRSQ）由 Kim 等人提出，由 Kennedy 等人（1993）提出的模擬器眩暈量表（simulator sickness questionnaire, SSQ）核心概念延伸而成，特定針對虛擬實境情境而制定的問卷，問卷共五題，包含疲勞、頭痛、視線無法聚焦、噁心、眩暈五項目，分數為 1（無不適）到 4（極度不適）。每三回合後進行本問卷的填答，主要目的是了解參與者使用 VR 虛擬實境下有無造成不適。

#### 二、競賽狀態焦慮量表

競賽狀態焦慮量表由許至豪（1998）提出，其量表以 Martens 等人（1990）編制的競賽狀態性焦慮量表第二版（Competitive State Anxiety Inventory, CSAI-2）修訂而成。該測量為一種個別自陳報告量表，主要目的為評估參與者在各情境當下的焦慮狀態，涵蓋身體焦慮、認知焦慮、自信心三大向度，問卷總共有十七題，分數為 1（一點也不）、2（有點同意）、3（同意）、4（非常同意），每一回合不同情境結束後使用 Google 表單的形式進行填答。

#### 三、推桿作業

本研究推桿作業在虛擬實境中進行，距離分別 3.08 公尺處，有一直徑 108 mm 的球洞，球桿上加裝虛擬實境的手把，並戴上虛擬實境眼罩進行推桿動作，眼罩呈現虛擬的草皮果嶺、球洞以及球桿，根據不同情境設定不同的推桿距離，以最終球停下來與洞

口的距離作為絕對誤差的測量，絕對誤差為每次試作後計算與洞口的距離先加總再平均，並加上絕對值代表偏誤的量及方向。

#### 四、視覺類比量表

視覺類比量表（Visual Analogue Scale, VAS）（Petrur et al., 2005）旨在透過視覺類比量表評估參與者主觀的注意力、控制感、放鬆程度，在每十五顆球推桿結束後，詢問參與者注意力、控制意識、放鬆程度，注意力為參與者在剛剛十五顆球的推桿過程中，在上桿前專注在自身調整與細節上的多寡程度，控制意識為參與者在剛剛十五顆球的推桿過程中，在上桿前實際投入自身動作調整與細節上的控制程度，放鬆程度則是自陳表述放鬆的程度。各向度皆為 0（完全不）到 10（最多）進行評分。每一回合後，實驗者口頭詢問參與者當下主觀的注意力、控制程度、放鬆程度，並由實驗者紀錄下視覺類比量表相對應分數的結果。

#### 五、近紅外光頻譜儀

本研究使用 Artinis Medical Systems Brite 近紅外光頻譜儀（functional/lear-infrared spectroscopy, fNIRS），透過 10 個發射器以及 8 個接收器組成，總共 54 頻道以紀錄腦血流的訊號，波長 760-850 nm，取樣頻率為 50Hz。頭皮電極位置採用國際 10-20 系統，探頭之間間距為 30 mm，帽上的數字標示大腦半球，左側為奇數，右側為偶數，鼻尖向後至頸椎所經過之位置則以 Z 表示；然字母則標示不同的大腦區域，分別為：O（occipital）代表枕葉區域；P（parietal）代表頂葉區域；T（temporal）代表顳葉區域；C（central）代表中央區域；F（frontal）則代表額葉區域，本研究主要紀錄位置為 F3、F4。

本研究使用 fNIRS 近紅外光譜儀，探頭與頭部保持垂直與否會影響到探頭與頭皮的接觸，可能產生運動偽影或基準線的位移，竟而影響到訊號的品質。探頭的實際位置受到參與者頭形以及頭的尺寸大小影響，未避免產生誤差，依參與者的頭尺寸大小量套並選擇適合的帽子大小，依據參與者的雙耳一條線以及鼻尖向後至頸椎作一條線，兩條線

之交會點作為 Cz 中心點，確認探頭正確位置，配戴上帽子。再輸入參與者的年齡，換算參與者的顱骨厚度 (Scholkmann & Wolf, 2013)，根據每人的顱骨厚度差異，具有不同光的路徑長度因子數值 (differential pathlength factor, DPF)，主要用於校正近紅外光線真實的路徑長度，以換算正確的腦血氧濃度變化 (Strangman et al., 2003)。接著，排除訊號干擾源 (如：頭髮)，訊號值呈現非紅字，將腦血氧訊號傳輸至電腦後，透過 Oxysoft 3.3.30 記錄軟體進行觀測、紀錄，資料蒐集後輸入至 Homer 3 進行資料分析，資料分析將在本章第五小節詳細說明。

## 六、虛擬實境

本研究使用的是 Oculus Quest 2 虛擬實境 (Virtual Reality) 眼罩及左、右手把，由 Meta Oculus 公司製造，1832 x 1920 畫素高解析度顯示屏幕，含有寬、中等、近三種眼距。情境模擬包含控制情境、低壓情境、高壓情境，呈現虛擬觀眾製造環境噪音 (如：鼓掌、噓聲、數位相機快門聲)，同時制定獎金酬賞制度，以及不同的推桿距離製造任務困難度的變化，並在擊球當下，虛擬實境手把產生震動，以給予選手推桿之物理回饋。根據 Oculus 系統，完成六回合情境之推桿，本研究採用 Nuemann 與 Thomas (2008) 的測量建議，電腦系統計算出每一試驗的球距、距離誤差以及角度誤差等行為表現精細數據，以利後續資料分析。預期透過虛擬實境模擬高爾夫選手在壓力下，觀察選手在推桿過程心理歷程以及與壓力有關的生理指標。

## 第四節 研究設計與研究流程

### 一、研究設計

本研究設計招募 27 位業餘以上的高爾夫選手，接著藉由虛擬實境進行三種不同壓力量度的推桿。根據拉丁方格設計 (Latin square design)，每位參與者的壓力情境順序不同，所有參與者皆需完成三個不同壓力情境之推桿作業。

### 二、研究流程

參與者受邀至國立臺灣師範大學體育館實驗室參與本研究，需至實驗室 1 次。當參與者抵達實驗室時，首先向參與者說明本研究目的、流程以及參與研究的益處，讓參與者瞭解實驗流程及其權益，並取得同意後會請參與者以及法定代理人（未滿 20 歲的參與者）簽署知情同意書，爾後確認實驗前 24 小時無攝取咖啡因、酒精等刺激性飲料，並包含充足睡眠等實驗前事項。接續，配戴實驗儀器後，確認 fNIRS 頻道的擺放位置，調整訊號品質，參與者首先分別以站姿推桿準備動作（不揮桿）進行睜眼與閉眼各一分鐘，作為參與者個別化基準線。隨後，讓參與者熟悉虛擬實境的操作，先進行推桿 15 顆球熱身後，確保此 15 顆球進球率達 40% 後，才會進入正式實驗。正式實驗開始時，參與者根據不同的情境順序，皆需進行控制情境、低壓情境、高壓情境三種情境，每一情境進行兩回合，總共六回合，每回合 15 顆球，每一試驗之間間隔 15 秒，確保含氧血紅素恢復至平穩狀態，再進行下一試驗。參與者進行三種情境各一回合後，填答眩暈量表，確定參與者無不適後，再進行三種情境的第二回合，隨後填答第二次的眩暈量表，且每回合完成後，填寫競賽狀態焦慮量表。

### 三、實驗流程圖

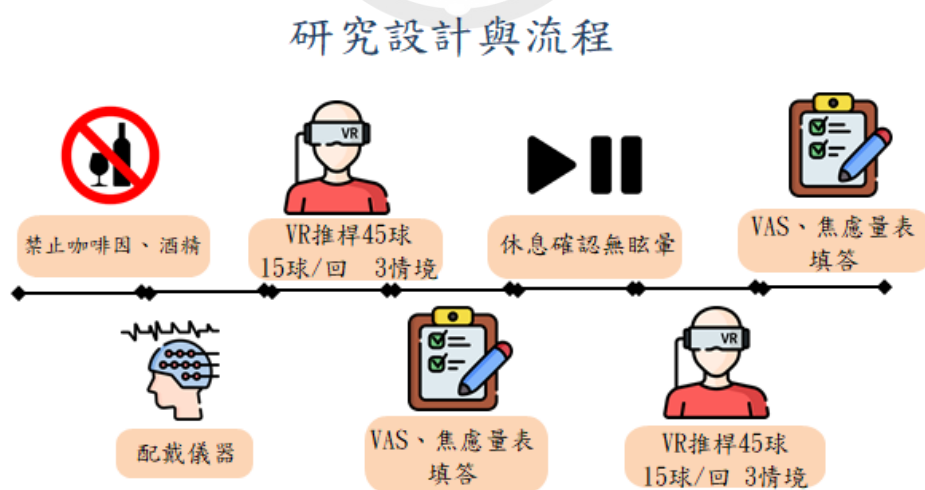


圖 3-4-1 實驗流程圖

## 第五節 資料處理與分析

本研究使用 SPSS for Windows 23.0 (statistical package for the social sciences for Windows) 統計分析軟體，依據研究目的針對各項數據進行資料分析。本研究所有統計顯著水準皆訂為  $\alpha=.05$ ，若交互作用達統計顯著，進行單純主要效果；主要效果達統計顯著，則進行事後比較 (Post-hoc) 檢定。

### 一、實驗參與者背景資料分析

參與者的性別、年齡、球齡、以及差點(handicap) 以描述性統計(descriptive statistic) 方式進行分析。

### 二、量表分析資料

競賽狀態焦慮量表、視覺類比量表以重複量數變異數分析 (Repeated-measures ANOVA) 將三情境進行分析，模擬眩暈量表則是以相依樣本 t 檢定 (one sample t-test) 進行分析。若主要效果達統計顯著，則進行事後比較檢定。

### 三、推桿表現

根據 Neumann & Thomas (2008) 的測量建議，以精準測量推桿準確性，在行為表現上，分為進球與不進球，其中不進球，包含球距、距離誤差、角度誤差。(一) 進球數：分為控制情境、低壓情境、高壓情境之進球數；(二) 球距：最終位置與球洞之直線距離；(三) 距離誤差：起始位置至球洞與起始位置至最終位置之絕對值；(四) 角度誤差：目標角度與最終位置角度之差的絕對值，其中目標角度為球洞至起始位置之直線角度，最終位置角度為最終位置至起始位置之角度。上述依變項皆以重複量數變異數分析 (Holbert et al., 1990) 檢驗 3 個情境 (控制情境、低壓情境、高壓情境) 是否有所差異，若交互作用達顯著，進行單純主要效果；主要效果達統計顯著，則進行事後比較檢定。

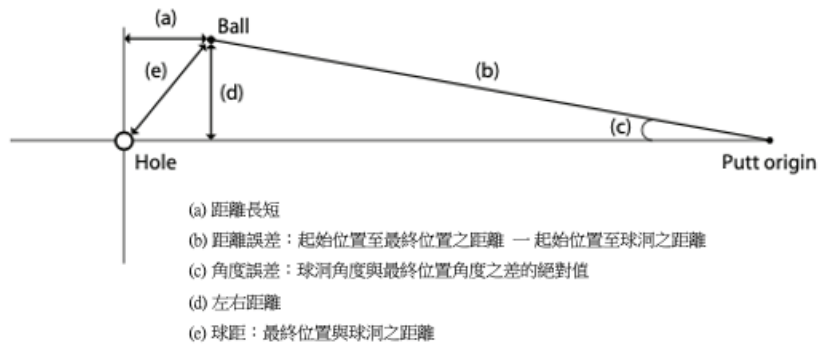


圖 3-5-1 推桿表現測量示意圖

#### 四、fNIRS 之含氧血紅素分析

fNIRS 訊號處理流程如下：

- (一) 視覺檢查並人工方式排除明顯壞原始訊號：排除方波、鋸齒波等明顯的訊號
- (二) 光密度轉換至血氧濃度：根據修訂版比爾朗伯定律，將衰減量的光轉換成電訊號
- (三) 偵測動作偽訊 (motion artifact)：設定瞬間之動作訊號振幅高於 0.05 被視為動作偽訊
- (四) 進行動作偽訊的校正 (motion correction)
- (五) 濾波 (bandpass filter)：數值設定 0.1~0.01，排除心跳、呼吸、血壓等生理訊號產生的雜訊 (Tong & Frederick, 2010)
- (六) 區間平均 (block average)：以啟動推桿前兩秒作為基準線，計算啟動推桿動作後 0 至第 10 秒之平均含氧血紅素。

在三情境之前額葉平均含氧血紅素變項上，以重複量數變異數分析 (Repeated-measures ANOVA) 分析針對 3 個情境 (控制情境、低壓情境、高壓情境) 進行分析。若交互作用達顯著，進行單純主要效果；主要效果達統計顯著，則進行事後比較檢定。

## 第肆章、研究結果

### 第一節 操弄檢核

本研究最終招募 27 位專家高爾夫選手，男性 15 位、女性 12 位，平均年齡為 23.33 ± 5.82 歲，平均球齡 10.21 ± 5.28 年，平均差點為 7.58 ± 6.35。

#### 一、心跳變異率

為確保研究上的結果確實受到實驗壓力，本研究以心跳變異率當作壓力之操弄檢核，將三情境參與者之心跳變異率進行重複量數變異數分析。結果如下，分析結果發現控制情境 (3.13 ± 2.1 赫茲)、低壓情境 (4.81 ± 3.85 赫茲) 以及高壓情境 (4.88 ± 3.32 赫茲) 在心跳變異率 LF/HF 比值上顯著差異 ( $F = 5.49, p = 0.009 < .05$ )，經事後比較 (LSD post hoc) 主要發現在控制情境與高壓情境、低壓情境與高壓情境之間。

#### 二、模擬眩暈量表

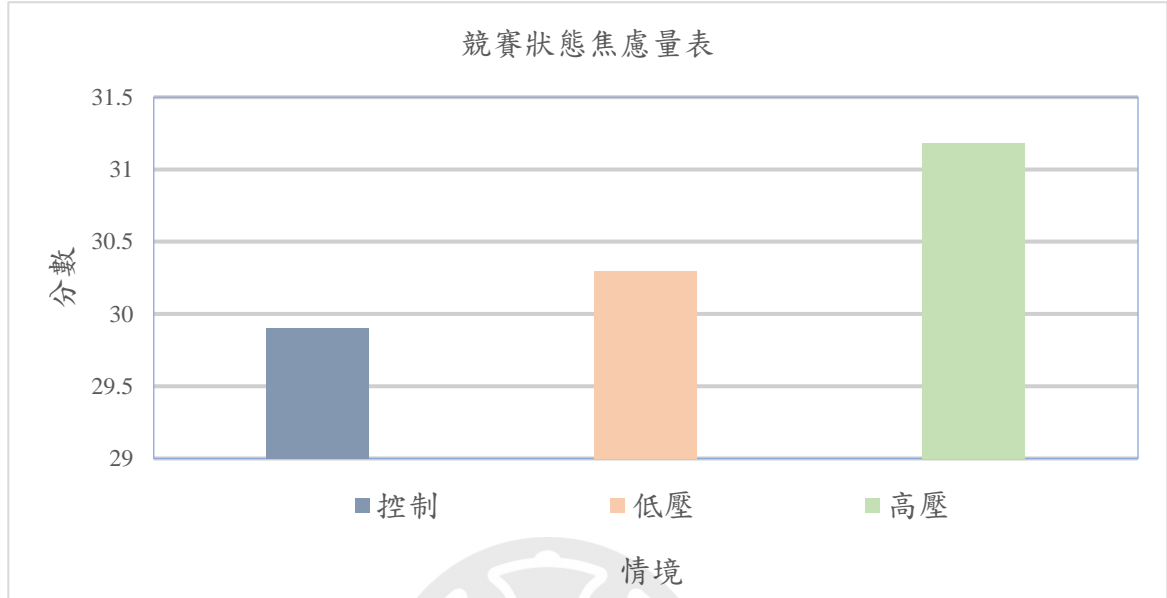
另一檢核為模擬眩暈量表，作為排除儀器影響參與者行為表現與個人狀態的指標，將透過相依樣本 T 檢定分析，研究結果發現使用虛擬實境後並無顯著差異 ( $t = 1.17, p = .25 > .05$ )，故表示虛擬實境無造成參與者不適。

#### 三、競賽狀態焦慮量表

本研究採用競賽狀態焦慮量表 (許至豪, 1998) 由認知焦慮、身體焦慮、自信心三向度合成，參與者主觀填答競賽狀態焦慮量表後，將各題目分數進行合計算出總分，將三情境之競賽狀態焦慮量表總分進行重複量數變異數分析，分析結果顯示控制情境 (29.9 ± 3.37 分)、低壓情境 (30.3 ± 4.02 分) 及高壓情境 (31.18 ± 4.52 分) 之間量表總分無顯著差異 ( $F = 1.73, p = .19 > .05$ )，然而單看身體焦慮向度 ( $F = 8.15, p = .002 < .05$ ) 有顯著差異，經過事後比較發現高壓情境 (9.66 ± 2.34 分) 之身體焦慮高於控制情境 (8.38 ± 1.59 分)；自信心 ( $F = 2.09, p = .135 > .05$ ) 以及認知焦慮 ( $F = 2.56, p = .09 > .05$ ) 雖在統計上無達到顯著差異，然自信心有下降的趨勢。

圖 4-1-1 競賽狀態焦慮量表分數差異

控制情境、低壓情境、高壓情境競賽狀態焦慮量表總分差異

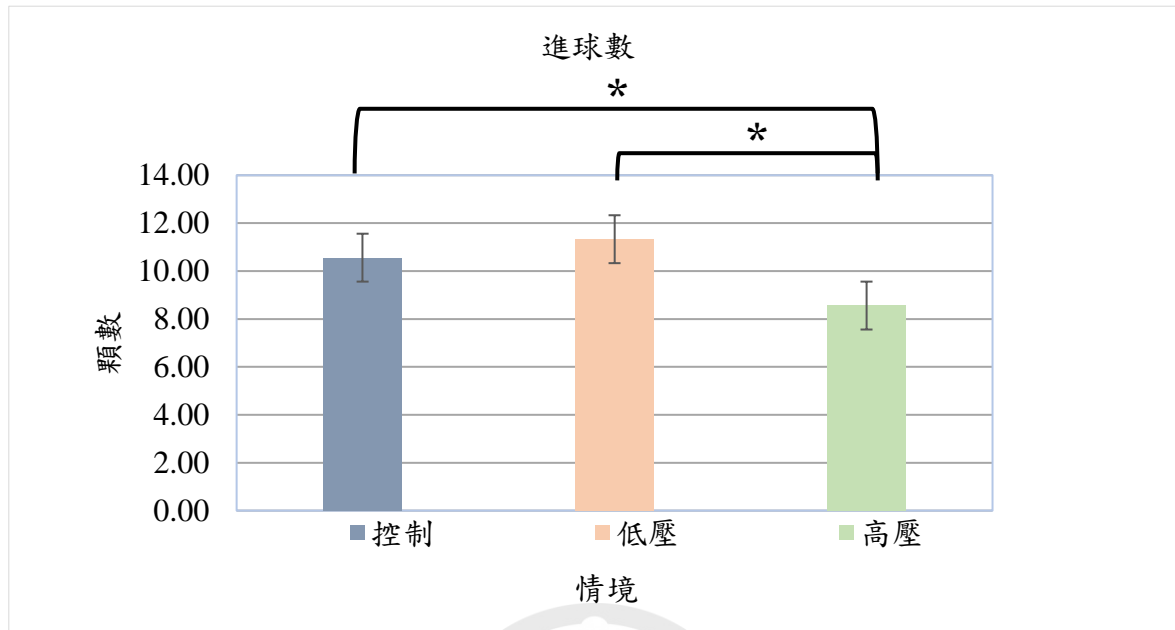


## 第二節 推桿表現

在推桿表現中本研究透過三情境參與者的進球顆數進行重複量數變異數分析，發現控制情境（ $10.57 \pm 4.45$  顆）及低壓情境（ $11.33 \pm 5.53$  顆）顯著高於高壓情境（ $8.56 \pm 4.38$  顆）（ $F=7.672$ ， $p=.001$ ），經事後比較（LSD post hoc）主要發現在控制情境與高壓情境、低壓情境與高壓情境之間。另外，計算三情境未進球之角度誤差向度，發現控制情境（ $2.01 \pm 2.61$  度）、低壓情境（ $1.57 \pm 1.68$  度）及高壓情境（ $2.45 \pm 2.31$  度）（ $F=4.39$ ， $p=.023$ ）有顯著差異，經事後比較（LSD post hoc）主要發現在控制情境與高壓情境之間，換言之，同是未進球之試驗（trial），相較於控制情境，高壓情境下未進球偏離洞口的角度誤差較大。

圖 4-2-1 情境之推桿表現進球數差異

控制情境、低壓情境、高壓情境推桿表現進球數差異



表一 三情境之推桿表現球距、距離誤差與角度誤差摘要表

		平均值	標準差	F 值	p 值
球距 (公分)	控制情境	55.44	44.16	.361	.7
	低壓情境	49.63	30.95		
	高壓情境	53.44	32.54		
距離誤差 (公分)	控制情境	52.29	41.68	.723	.49
	低壓情境	47.47	29.38		
	高壓情境	49.84	30.88		
角度誤差 (度)	控制情境	2.01	2.61	4.39	.023*
	低壓情境	1.57	1.68		
	高壓情境	2.45	2.31		

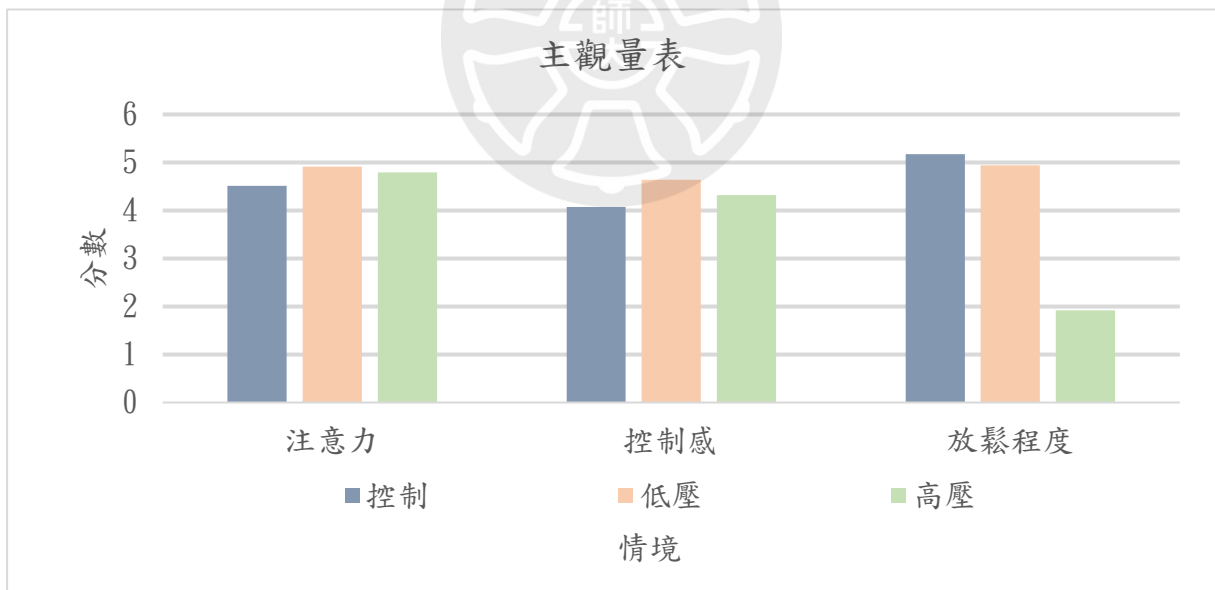
### 第三節 主觀量表

#### 一、視覺類比量表

本研究採用視覺類比量表（VAS）來觀測參與者三情境之主觀狀態，分為注意力、控制意識、放鬆程度三個向度，參與者依據個人各向度之感受程度所填答的主觀分數，作為參與者對於壓力下個人感受指標，將參與者主觀分數進行重複量數變異數分析，發現控制情境（ $4.51 \pm 2.49$  分）、低壓情境（ $4.91 \pm 2.41$  分）以及高壓情境（ $4.79 \pm 2.48$  分）之間的注意力（ $F = 1.25, p = .29 > .05$ ）、控制意識（ $F = 1.59, p = .22 > .05$ ）無顯著差異；而放鬆程度（ $F = 3.23, p = .049$ ）則有顯著差異，經過事後比較發現高壓情境（ $3.96 \pm 1.91$  分）之放鬆程度低於控制情境（ $5.17 \pm 2.59$  分）。

圖 4-3-1 視覺類比量表差異

視覺類比量表注意力、控制意識、放鬆程度三向度差異



## 第四節 腦血流變化

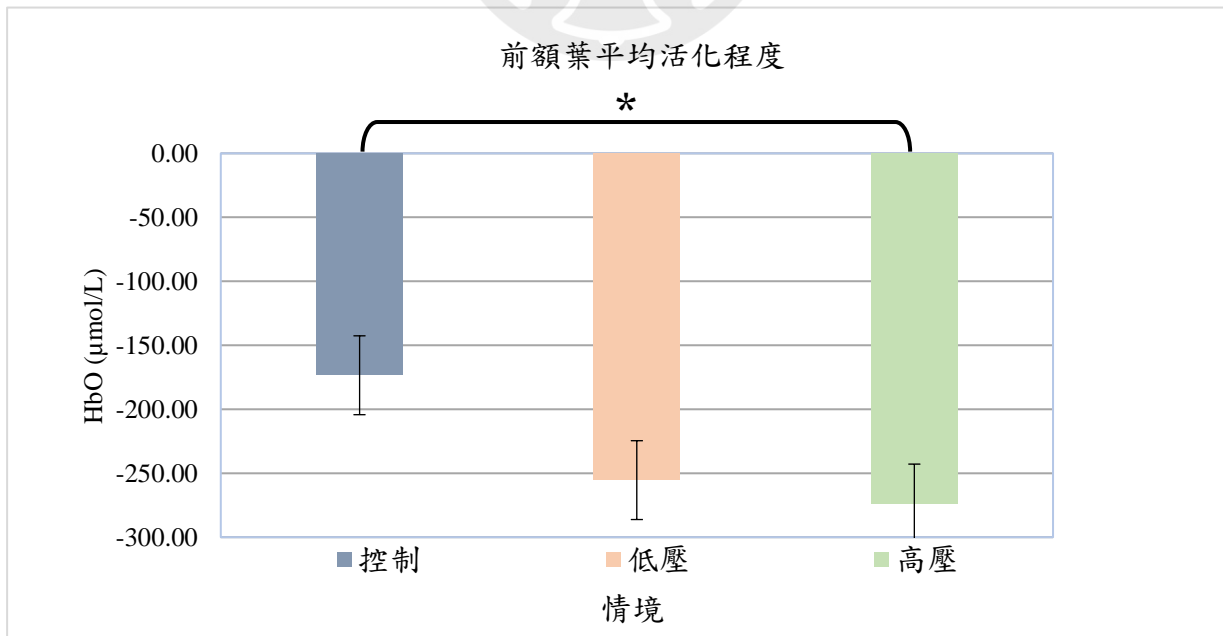
本研究聚焦於壓力情境下大腦血氧變化，其關注的指標為含氧血紅素（HbO），較高的 HbO 代表著運用某區域之腦神經資源，意指某腦區的功能產生活化，本研究特定感興趣的腦區（ROI）為前額葉，並將前額葉再分為右前額葉與左前額葉，分別呈現各腦區結果如下。

### 一、前額葉

重複量數變異數分析結果發現控制情境（ $-173.44 \pm 291.41$  微莫耳）、低壓情境（ $-255.39 \pm 377.79$  微莫耳）與高壓情境（ $-273.65 \pm 375.29$  微莫耳）在推桿過程中顯著差異的下降（ $F = 2.87, p = .047 < .05$ ），經事後比較（LSD post-hoc）主要發現在控制情境與高壓情境之間，故可知高壓情境比控制情境平均含氧血紅素下降幅度多。

圖 4-4-1 情境之前額葉含氧血紅素差異

控制情境、低壓情境與高壓情境前額葉 HbO 差異

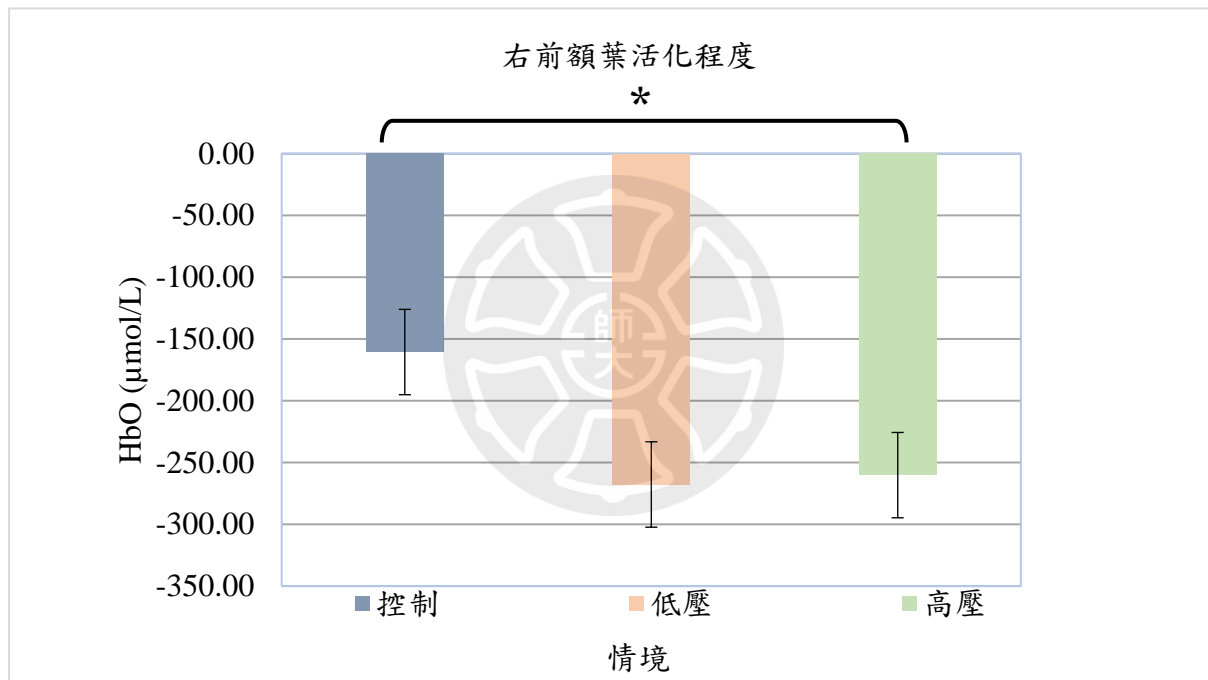


## 二、右前額葉

重複量數變異數分析結果發現控制情境 ( $-160.55 \pm 321.6$  微莫耳)、低壓情境 ( $-267.75 \pm 413.49$  微莫耳) 與高壓情境 ( $-260.18 \pm 398.66$  微莫耳) 在推桿過程中顯著差異的下降 ( $F = 2.39$ ,  $p = .036 < .05$ )，經事後比較主要發現在控制情境與高壓情境之間，故從上述得知高壓情境比控制情境含氧血紅素下降幅度多。

圖 4-4-2 情境之右前額葉含氧血紅素差異

控制情境、低壓情境與高壓情境右前額葉 HbO 差異

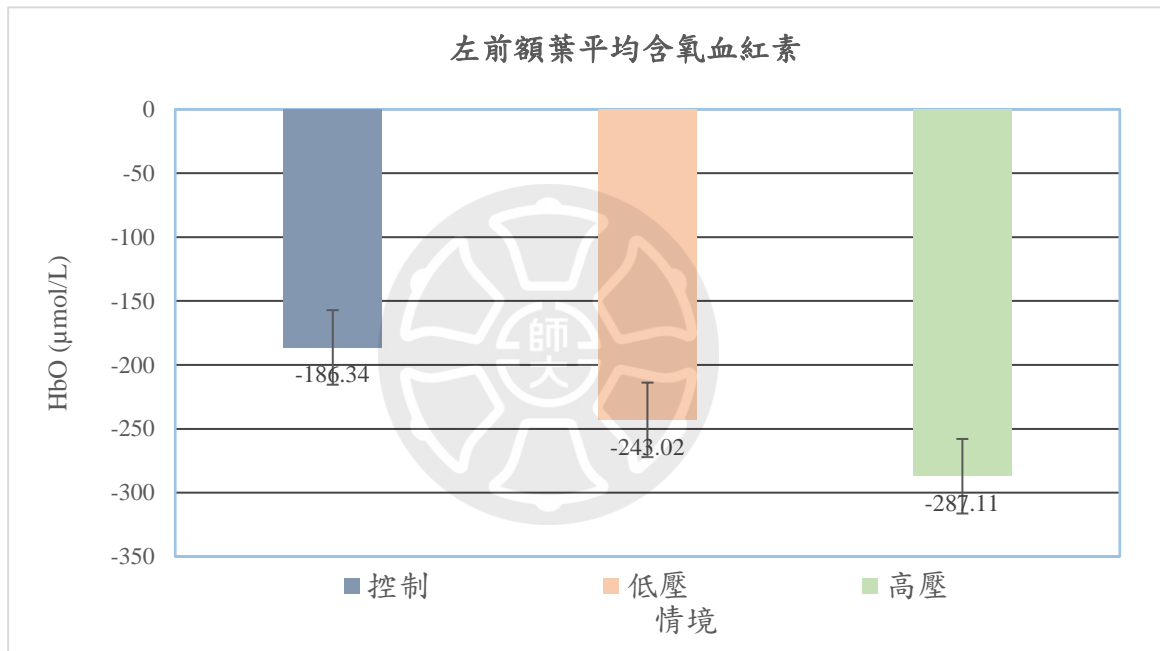


### 三、左前額葉

經過重複量數變異數分析結果發現左前額葉平均含氧血紅素之控制情境 ( $-186.34 \pm 319.07$  微莫耳)、低壓情境 ( $-243.02 \pm 390.71$  微莫耳) 與高壓情境 ( $-287.12 \pm 434.91$  微莫耳) 在推桿過程中無達到統計上顯著差異 ( $F = 2.50, p = .094 > .05$ )，但相較於控制情境，高壓情境含氧血紅素有下降幅度較多的趨勢。

圖 4-4-3 情境之左前額葉含氧血紅素差異

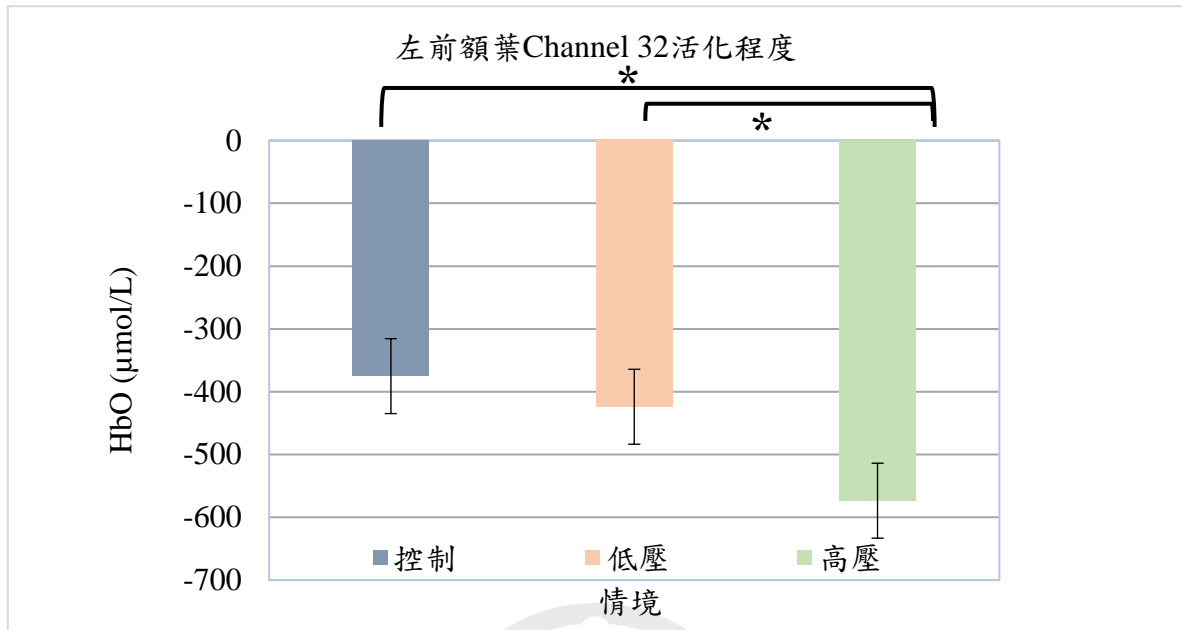
控制情境、低壓情境與高壓情境左前額葉 HbO 差異



然而有趣的是，更仔細看左前額葉的各頻道，特定於頻道 32 之含氧血紅素在三情境之間有顯著性的差異 ( $F = 6.56, p = .003 < .05$ )，經事後比較發現到控制情境 ( $-375.15 \pm 395.04$  微莫耳) 與高壓情境、低壓情境 ( $-423.95 \pm 482.51$  微莫耳) 與高壓情境之間 ( $-573.55 \pm 454.48$  微莫耳) 分別有差異，高壓情境最低、低壓次之。

圖 4-4-4 情境之左前額葉 channel 32 含氧血紅素差異

控制情境、低壓情境與高壓情境左前額葉 channel 32 HbO 差異



#### 四、前額葉不對稱性

參考 Borrell (2023) 此篇研究針對不對稱性的公式  $LI = (HbOL - HbOR) / (HbOL + HbOR)$  所計算出數值，透過重複量數變異數分析進行統計分析，結果發現控制情境 ( $-0.83 \pm 3.28$  微莫耳)、低壓情境 ( $-0.13 \pm 0.66$  微莫耳) 與高壓情境 ( $-0.20 \pm 4.78$  微莫耳) 在推桿過程中無統計上顯著差異 ( $F = .244, p = .78 > .05$ )。

## 第五章、討論與建議

本研究主要四個研究假設，分別為：一、高爾夫選手在高壓情境比起低壓情境、控制情境會有較差的推桿表現。二、高爾夫選手在高壓情境比起低壓情境、控制情境會有較高的主動控制意識。三、高爾夫選手在高壓情境比起低壓情境、控制情境會有較低的注意力及放鬆程度。四、高爾夫選手在高壓情境比起低壓情境、控制情境前額葉平均含氧血紅素下降。以下將針對以上四個研究假設的結果進行討論，並提出對研究限制與未來研究建議。

### 第一節 操弄檢核

在討論上述研究假設之前，我們需先確定本研究的壓力操弄是成功的。本研究以心跳變異率與主觀的競賽狀態焦慮量表來衡量壓力操弄是否成功。

#### 一、心跳變異率

過去許多研究已說明心跳變異率 LF/HF 比值是一項反應壓力的生理指標 (Task Force, 1996)，LF 反應交感神經的活化程度，HF 反應副交感神經活化程度，當 LF/HF 比值反應交感與副交感神經兩者平衡的程度，比值較高表示較焦慮、緊張或感到壓力 (Fuentes-García et al., 2022)。根據本研究心跳變異率結果來看，經事後比較顯示高壓情境與控制情境之間有顯著差異，高壓情境下心跳變異率 LF/HF 比值有所上升，呼應 Thayer 等人 (2012) 以及 Mather 與 Thayer (2018) 的觀點，認為 HF-HRV 能視作情緒調節的生理指標，同時與 VAS 量表中高壓情境放鬆程度較低有一致的發現，故表示本研究實驗模擬的高壓情境成功製造出差異。但是本研究的低壓情境與控制情境間的 LF/HF 比值並無顯著差異，代表低壓的壓力水準並沒有顯著高於控制情境。

#### 二、模擬實境眩暈

根據相依樣本 T 檢定得出的分析結果，在使用虛擬實境儀器後分數上兩者並無差

異，從以上結果能說明參與者並無因使用虛擬實境，造成參與者噁心、疲勞、頭痛、視線無法聚焦以及眩暈等身體不適的狀況而影響運動表現及腦血流變化，故能排除虛擬實境造成依變項（推桿表現、含氧血紅素）的研究結果。

### 三、競賽狀態焦慮量表

本篇研究使用的競賽狀態焦慮量表依據 CSAI-2 為模板再進行些微修改而制定，在三情境之間雖然競賽狀態焦慮量表總分及認知焦慮向度並無統計上的顯著差異，然而其中身體焦慮向度則有顯著差異，高壓力情境的身體焦慮分數顯著高於其他二個情境，這個發現也呼應前面 HRV 的結果。而自信心雖未達統計上的顯著，卻有下降的趨勢。Kim 等人（2008）招募專家組與生手組各 8 位的韓國青少年網球協會（KJGA）高爾夫選手，在某場正式比賽的前、中、後以及休息狀態四個時間點，採取唾液皮質醇樣本並記錄 CSAI-2 量表，專家組在身體焦慮此向度上，比賽前與比賽後、比賽中與比賽後兩兩時間點皆明顯增加，與本研究發現一致且自信心向度比賽開始後逐漸下降。推測本篇研究結果不一致的原因是個人經驗多寡會影響自信心（Bandura, 1977），過往經驗較多會增加參與者的自信心，尤其本研究透過虛擬實境進行實驗，參與者根據過往接觸虛擬實境的經驗將影響虛擬實境的掌握度，竟而影響參與者對於壓力情境的適應速度，最終影響本研究自信心向度的量表分數。

Tyagi 等人（2013）招募 40 位消防員分為兩組，須在虛擬實境中模擬在有火、爆炸、煙霧瀰漫的狀態下完成水管疏通的任務，發現到壓力組與控制組之間的 STAI 焦慮量表分數並無顯著差異，造成無差異的可能原因是進行試作（trial）過程中，實驗模擬的壓力屬持續性且一致性的出現，本篇研究結果推測參與者會隨著試作完成愈多，對於壓力的感受愈無感，因此未來建議壓力的呈現以隨機或短暫性的方式出現，使參與者隨時處在壓力與焦慮的狀態。

根據上述各壓力之操弄檢核結果可知，低壓情境壓力操弄程度不夠，因此本研究主要聚焦控制情境及高壓情境之間的比較，換言之，接下來的章節主聚焦於壓力的有無造

成運動表現的影響，無法比較壓力高低程度之間的差異對於運動表現的影響。

## 第二節 運動表現

本研究結果支持第一個假設高爾夫選手在高壓情境比起控制情境與低壓情境有較差的推桿表現。在高爾夫推桿表現上，研究結果表示高壓情境與控制情境、高壓情境與低壓情境之間達顯著差異，高壓情境進球數分別比控制情境及低壓情境少，而控制情境與低壓情境之間無差異。除了紀錄進球數以外，許多學者也會計算每一試作的平均距離誤差（mean radial error）即球與球洞之間的距離，本研究也有紀錄此部分，經統計分析結果後，發現平均距離誤差在不同壓力下無差異，換言之，壓力並不影響平均距離誤差的結果，此結果與 Wilson 等人（2007）以及 Cooke 等人（2010）研究發現一致，然而仍與部分研究不一致，可能原因是其中部分研究選擇縮小球洞的半徑，以增加推桿失敗率（未進洞），試圖製造參與者壓力，故基於球洞半徑不同，成功進球率以及困難度也有所不同，難以將兩研究進行比較。

然而若以進球數視作行為結果來看，本研究運動表現與過去多數研究一致，像是 Weinberg 與 Genuchi（1980）招募 30 位大學高爾夫選手，參與為期三天的實際某一場高爾夫正式比賽中，選取前兩天成績與選手競賽狀態焦慮量表（SCAT）分數之間進行統計分析，發現當選手感到焦慮與壓力時，參與者的桿數增加，表現有所受損。長期關注於探討壓力與運動表現議題的 Cooke 等學者（2010）針對 58 位高爾夫生手也有類似的發現，低壓情境比中壓情境、高壓情境的進球數多，不僅如此，根據調節變項分析結果發現，努力、肌肉活化程度部分調節運動表現，其發現自陳報告焦慮分數、投入努力以及肌肉的活化也隨壓力而增加。Weinberg 和 Hunt（1976）透過擲網球至特定目標的壓力任務觀測焦慮程度與肌電，發現到在高壓情境下，低焦慮者的投擲準確率較高，高焦慮者比低焦慮者更常收縮作用肌及拮抗肌，認為壓力降低神經肌肉效率，無法有效協調神經系統與肌肉系統的合作，增加能量的消耗。結合本研究發現在高壓情境，競賽狀態

焦慮量表中次向度之身體焦慮較高，以及未進球之角度誤差較大，推測隨著壓力增加，身體焦慮導致肌肉緊繃，神經肌肉效率差，導致動作的精確性與流暢性下降，最終導致表現下降，綜上述可得知，壓力透過心理與生理多種路徑影響運動表現。而本研究控制情境與低壓情境之間的進球數無顯著差異的結果，可能原因是低壓情境之環境造成吵雜聲並未成功在實驗中造成參與者壓力，此部分會在後續第五節研究限制與未來建議進行說明。

### 第三節 主觀量表

本研究第二個假設在主動控制意識的向度為控制情境低於低壓情境，且低壓情境低於高壓情境。本研究結果主動控制意識向度並無統計上的顯著差異，因此並不支持本研究第二個假設。過去理論不管是 Baumeister (1984) 所提出的自我聚焦模式 (self-focus theory)，或是 Beilock 與 Carr (2001) 依據此模式延伸提出的外顯監控理論 (explicit monitoring theories)，皆指出壓力造成焦慮且增加自我意識 (self-consciousness)，此部分與視覺類比量表中動作調整與細節的主動控制意識心理構念相符。Gucciardi and Dimmock (2008) 招募差點 0-12 高爾夫選手進行三種不同意識投入的情境，一為將推桿技術拆解成多個技術組合，並作為提示字，並在推桿時聚焦在此提示字，二為專注在與推桿無關的提示字 (如：綠色、紅色)，三為將推桿技術合而為一，聚焦於整體推桿擺動，其發現當高壓情境下，焦慮增加，分解推桿步驟，推桿表現較差，聚焦於整體推桿擺動，動用的認知資源較少的情況下，推桿表現較佳，可知動作的拆解與意識的投入會導致表現下降，然而本研究在控制意識並無顯著差異，此部分與本研究發現不一致。

本研究第三個假設預期在注意力及放鬆程度，控制情境高於低壓情境，且低壓情境高於高壓情境。分心理論 (distraction theory) 認為將注意力聚焦於與作業無關的內外分心物上會消耗掉部分注意力資源，因此當真正執行運動任務時所需的注意力資源時，反而投入不夠，此構念與本研究的注意力向度相關。Mesagno 與其團隊 (2008) 以單一對象實驗設計 (single-case design) 招募三位競技運動員作為參與者進行研究，透過賽前

例行性程序 (pre-performance routine) 的介入 (如：認知與行為上的準備、深呼吸或者關鍵字的提醒)，並且後續進行追蹤，發現賽前例行性程序能將注意力維持在與任務有關的線索上，執行任務前維持在最佳狀態，得以維持或促進運動表現。相似的發現也在 Lautenbach 等人 (2015) 針對網球選手發球的研究中出現，在高壓情境下無使用 PPR 策略時，發球準確性低。本研究結果是發現在放鬆程度向度上發現高壓情境顯著高於控制情境，而注意力向度則無達顯著差異，此部分支持第三個研究假設。與競賽狀態焦慮量表概念相似，本研究顯示參與者在高壓情境下，主觀感受在推桿過程中身體較為緊繃，放鬆程度較低，如競賽狀態焦慮量表中身體焦慮向度之研究結果。

綜上所述，本研究發現部分不支持第二與第三個假設的可能原因是本研究注意力、控制意識的主觀問題詢問之時間點為每十五顆球推桿後，參與者填答時容易受到當下推桿結果好壞與否所影響主觀感受，因此研究流程設計上，建議在每回合十五顆球推桿前後皆需各詢問一次，根據推桿後測減去前測之分數差異以推測注意力與控制意識投入程度變化。另外，本研究視覺類比量表中的注意力向度詢問為投入動作細節上的整體注意力的程度，並未仔細區分參與者注意力聚焦之處為何，難以根據分心理論 (Distraction Theory) 得知參與者是否因壓力造成注意力資源的無效分配造成運動表現下降，因此未來建議採用 Tanaka 與 Sekiya (2010) 的注意力聚焦問卷來檢測內外在注意力的分配，詳細探討注意力聚焦於作業任務有關或無關事物的轉換，能了解因壓力影響注意力轉換如何有益於或有損於運動表現。

#### 第四節 腦血流變化

本研究的第四個假設為當高爾夫選手在高壓情境比起低壓情境、控制情境前額葉平均含氧血紅素下降。研究結果發現高壓情境與控制情境相比，在前額葉平均含氧血紅素出現顯著下降，因此部分支持本研究第四個假設。此與過去多數進行壓力下完成指定任務的研究發現一致，像是 Al-Shargie 等學者 (2017) 的研究，在指定的時間內依序完成

不同困難度的算數任務，在時間壓力下，不僅答題正確率下降，前額葉平均含氧血紅素下降，前額葉活化減少，又或者 Modi 等人 (2018) 的外科醫師手術壓力，也呈現前額葉含氧血紅素的降低，亦推估參與者受到壓力時，前額葉的功能有所受損，然而此結果與 Slutter (2021) 針對 10 位專家足球運動員與 12 位生手兩者之間進行踢罰球的任務發現不一致，觀察到跟任務有關的腦區像是動作皮質區，在非焦慮時較活化，其認為前額葉為任務無關的腦區，當感到焦慮時或是未進球時，前額葉活化增加，且額葉側化的情形也有所增加，Slutter 認為過度的前額葉活化算是一種分心，導致壓力下失常，此結果不一致可能原因是 Slutter 此篇為前導性研究，兩組間樣本數較少，研究結果證據力較弱。將本研究前額葉腦區實驗結果細分成左、右前額葉腦區，右前額葉含氧血紅素顯著下降，相反的左側前額葉並無觀察到相同的情形。根據本研究結果在左、右前額葉透過側化指標 (Laterality Index) 數值呈現，數值介於-1~1 之間，負數代表該任務主要由右側腦區活化，相反的，正數代表該任務主要由左側腦區活化，介於 +0.2~-0.2 代表雙側主導，研究結果為三者情境上無顯著差異，與過去研究部分發現一致，皆並未引起與任務相關的左右腦區不對稱性，部分發現不一致 (Herrmann et al., 2003; Kobayashi et al., 2007; Yang et al., 2007; Hoshi et al., 2011)，上述提及的 Al-Shargie 等學者 (2017) 的研究，雖與本研究共同發現前額葉含氧血紅素下降，但在右前額葉反映出壓力反應，與本研究不一致，可能造成的原因是 HbO 相較於 EEG 腦波 alpha 頻率對於積極-退縮模型較不敏感 (Doi et al., 2013)，又可能是因為壓力通常會使人產生負面的情緒，此與右前額葉腦區相關，相較之下，與正向情緒的左前額葉腦區較無關聯，故左前額葉含氧血紅素的變化不多，並無有統計上的顯著。

據我們所知，前額葉是調節認知、情緒、行為重要的腦區，尤其前額葉其中一腦區-背外側前額葉，過去在臨床研究上已說明其與情緒非常相關 (Zhang, 2022)，情緒調節以及牽涉到高級認知的相關研究說明背外側前額葉扮演重要的角色，雖然情緒調節與壓力應對兩者有些許不同，然兩者共享許多相同的神經網絡 (Britton et al., 2019)，根據

前額葉的功能來看，壓力可能損害工作記憶以及情緒調節的功能發揮，可推測當情緒調節不佳時，前額葉腦區活化減少，容易造成壓力下失常。

## 第五節 研究限制與未來建議

### 一、研究限制

#### (一) 虛擬實境

本研究採用虛擬實境模擬壓力情境，雖能不受空間以及時間的限制進行練習，且能實際執行推桿的完整動作，但仍無法完全擬真如實際比賽環境，虛擬實境仍與真實環境有些許的落差，如：果嶺的坡度、風向的干擾、草紋的不同等環境因素，減少能操弄的因素。尤其低壓情境製造的環境吵雜聲，根據參與者的回饋，從儀器發出的聲音仍無法模擬出真實環境觀眾的狀態，此也是本篇研究低壓情境結果不如預期，未符合研究假設的原因之一。

#### (二) 近紅外光頻譜儀

本研究使用 fNIRS 近紅外光譜儀，雖具有高空間解析度，但從刺激出現至皮質血流動力學的峰值大約 6 秒的延遲時間 (Aslin et al., 2015 ; Pinti et al., 2018 ; Gratton et al., 2017)，以秒為單位的時間解析度較差，針對刺激出現後的腦血流變化之時間段分辨較差，無法似 EEG 具有毫秒級的時間解析度，fNIRS 時間解析度的限制可能導致刺激後有些含氧血紅素未被偵測到，因而影響研究的結果。

上述所提到 fNIRS 雖比起 EEG 具有高空間解析度，然而其主要偵測到大腦皮層表層之血流，一般只能測量成人的頭皮下至多 15 mm 的皮質深度，位於較深層的大腦區域活動變化 (如：海馬迴) 較難偵測到，仍不敵 fMRI 能偵測更深層與情緒相關的腦區，無法探究情緒產生、調節等心理歷程始末。

### 二、未來研究建議

#### (一) 虛擬實境

雖目前與虛擬實境相關的研究篇幅不少，然比較虛擬實境與真實環境兩者的相關大腦活動研究不多，故未來仍須投入更多的研究，以確認真實環境與虛擬實境兩者在壓力下大腦活動狀態是否不同，故未來建議以虛擬實境、混合、真實環境三種方式完成相同的任務，比較之間的腦區活化狀態，提升虛擬實境相關研究的生態效度。

## （二）腦造影測量工具

目前近紅外光頻譜儀最新的硬體版本，保留原先光源發射器與接受器之間距離 30mm 形成的頻道，除此之外，新增加約 0.5-1.5mm 短距離的頻道 (Brigadoi & Cooper, 2015; Haeussinger et al., 2014)，主要目的在於校正訊號，因長距離頻道被認為資料搜集的訊號包含兩種來源 (Scholkmann et al., 2014)，一為任務造成的大腦皮質活化訊號，二為大腦以外區域的腦組織所造成的訊號，如：頭皮等；短距離被認為只偵測到大腦以外的腦組織訊號，也就是上述所說的第二種來源，透過短距離頻道所提供的訊號作為依據進行校正，蒐集到較為準確的資料。在 Molina-Rodríguez 等人 (2023) 的研究發現在有壓力情境右前額葉呈現明顯側化的情形，但透過 fNIRS 短距離的頻道 (channel) 作為校正訊號的依據時，發現到同一筆資料經過校正後，出現截然不同的研究結果，故其學者提出使用 fNIRS 尤其進行情緒相關的任務時，建議未來研究進行資料處理增加校正步驟，使用短距離的頻道訊號進行校正，以減少實驗誤差，由於本研究受限於儀器的新舊版本，故為本研究的限制之一，也提供未來建議。

EEG 腦波頻率被認為能直接反應腦區活動的一種指標，擁有毫秒的時間解析度優勢，而 fNIRS 有較佳的空間解析度，其指標含氧血紅素被認為能間接反應腦區活化的程度，未來建議搭配 EEG 和 fNIRS 兩腦造影儀器同步搜集資料，填補兩生理指標是否具有相關性的研究缺口。

## （三）參與者特質

Essl 和 Jaussi (2017) 提到焦慮反應的程度會受到個人的特質以及當下環境有所不同，或是航空交通任務 (Air Traffic Control, ATC) 研究測量心理負荷 (mental workload) 發現到參與者因個人特質不同對同一任務有不同的反應，有些備受壓力，然有些享受破

解任務之樂趣，故建議未來研究應在量表中加測動機此向度，確認參與者對於任務採取正向或負向態度。

## 第六節 結論

根據本研究的結果發現，相較控制情境，在高壓情境下，心跳變異率上升，且前額葉含氧血紅素下降，前額葉活化較少，推測是由於前額葉無法有效發揮負面情緒調節之功能，無法有效排解壓力，在負面情緒、認知與行為三者之間相互影響下，導致身體焦慮較高，較無法放鬆，動作的變異性增加，最終影響推桿表現，成功進球數減少，推桿未進球時的角度誤差變大，由上述研究發現與過去研究多數相符，再次說明壓力與前額葉腦區息息相關，影響著生理、心理層面許多面向。



## 參考文獻

- Alexander, D. L., & Kern, W. (2005). Drive for show and putt for dough? An analysis of the earnings of PGA Tour golfers. *Journal of sports Economics*, 6(1), 46-60.
- Al-Shargie, F., Tang, T. B., & Kiguchi, M. (2017). Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: an fNIRS-EEG study. *Biomedical optics express*, 8(5), 2583-2598.
- Alsurraykh, N. H., Wilson, M. L., Tennent, P., & Sharples, S. (2019, May). How stress and mental workload are connected. In *Proceedings of the 13th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 371-376).
- Alsurraykh, N. H., Wilson, M. L., Tennent, P., & Sharples, S. (2019, May). How stress and mental workload are connected. In *Proceedings of the 13th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 371-376).
- Arnsten, A. F. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature reviews neuroscience*, 10(6), 410-422.
- Aslin, R.N.; Shukla, M.; Emberson, L.L. Hemodynamic correlates of cognition in human infants. *Annu. Rev. Psychol.* 2015, 66, 349–379.
- Ayuso-Moreno, R., Fuentes-García, J. P., Collado-Mateo, D., & Villafaina, S. (2020). Heart rate variability and pre-competitive anxiety according to the demanding level of the match in female soccer athletes. *Physiology & behavior*, 222, 112926.
- Balk, Y. A., Adriaanse, M. A., De Ridder, D. T., & Evers, C. (2013). Coping under pressure: Employing emotion regulation strategies to enhance performance under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 35, 408–418.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2), 191.
- Baumeister, R. F. (1984). Choking under pressure: self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance. *Journal of personality and social psychology*, 46(3),

- Behan, M., & Wilson, M. R. (2008). State anxiety and visual attention: The role of the quiet eye period in aiming to a far target. *Journal of Sport Sciences*, 26, 207–215.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 701–725.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2004). From novice to expert performance: Attention, memory, and the control of complex sensorimotor skills. In A. M. Williams, N. J. Hodges, M. A. Scott, & M. L. J. Court (Eds.), *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice* (pp. 309–328). London: Routledge.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: Impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8, 6–16.
- Bernstein, N. (1967). The coordination and regulation of movements. (*No Title*).
- Boecker, M., Buecheler, M. M., Schroeter, M. L., & Gauggel, S. (2007). Prefrontal brain activation during stop-signal response inhibition: an event-related functional near-infrared spectroscopy study. *Behavioural brain research*, 176(2), 259-266.
- Borrell, J. A., Fraser, K., Manattu, A. K., & Zuniga, J. M. (2023). Laterality Index Calculations in a Control Study of Functional Near Infrared Spectroscopy. *Brain Topography*, 36(2), 210-222.
- Boyce, W. T., & Ellis, B. J. (2005). Biological sensitivity to context: I. An evolutionary–developmental theory of the origins and functions of stress reactivity. *Development and psychopathology*, 17(2), 271-301.
- Brigadoi, S., & Cooper, R. J. (2015). How short is short? Optimum source–detector distance for short-separation channels in functional near-infrared spectroscopy. *Neurophotonics*, 2(2), 025005-025005.

- Britton, D. M., Kavanagh, E. J., & Polman, R. C. (2019). Validating a self-report measure of student athletes' perceived stress reactivity: Associations with heart-rate variability and stress appraisals. *Frontiers in Psychology, 10*, 1083.
- Castaneda, B., & Gray, R. (2007). Effects of focus of attention on baseball batting performance in players of differing skill levels. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 29*(1), 60-77.
- Chamberlain, S. T., & Hale, B. D. (2007). Competitive state anxiety and self-confidence: Intensity and direction as relative predictors of performance on a golf putting task. *Anxiety, stress, and coping, 20*(2), 197-207.
- Choi, Y., Kim, M., & Chun, C. (2015). Measurement of occupants' stress based on electroencephalograms (EEG) in twelve combined environments. *Building and Environment, 88*, 65-72.
- Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., & Ring, C. (2010). Psychological, muscular and kinematic factors mediate performance under pressure. *Psychophysiology, 47*(6), 1109-1118.
- Coombes, S. A., Higgins, T., Gamble, K. M., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2009). Attentional control theory: Anxiety, emotion, and motor planning. *Journal of anxiety disorders, 23*(8), 1072-1079.
- Cotterill, S. (2010). Pre-performance routines in sport: Current understanding and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 3*, 132–153.
- Dampney, R. A. L. (2015). Central mechanisms regulating coordinated cardiovascular and respiratory function during stress and arousal. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 309*, R429–R443.
- Davidson, R. J. (2004). What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological psychology, 67*(1-2), 219-234.
- Davis IV, H., Liotti, M., Ngan, E. T., Woodward, T. S., Van Snellenberg, J. X., van Anders, S. M., ... & Mayberg, H. S. (2008). fMRI BOLD signal changes in elite swimmers while viewing videos of personal failure. *Brain Imaging and Behavior, 2*, 84-93.

- DeCaro, M. S., Thomas, R. D., Albert, N. B., & Beilock, S. L. (2011). Choking under pressure: Multiple routes to skill failure. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(3), 390–406.
- Dedovic, K., D'Aguiar, C., & Pruessner, J. C. (2009). What stress does to your brain: a review of neuroimaging studies. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 54(1), 6-15.
- Dedovic, K., Renwick, R., Mahani, N. K., Engert, V., Lupien, S. J., & Pruessner, J. C. (2005). The Montreal Imaging Stress Task: using functional imaging to investigate the effects of perceiving and processing psychosocial stress in the human brain. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 30(5), 319-325.
- Deeny, S. P., Hillman, C. H., Janelle, C. M., & Hatfield, B. D. (2003). Cortico-cortical communication and superior performance in skilled marksmen: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 25(2), 188-204.
- Dickerson, S. S., & Kemeny, M. E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological bulletin*, 130(3), 355.
- Doi, H., Nishitani, S., & Shinohara, K. (2013). NIRS as a tool for assaying emotional function in the prefrontal cortex. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 770.
- Electrophysiology, T. F. O. T. E. S. O. C. T. N. A. S. O. P. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Essl, A., & Jaussi, S. (2017). Choking under time pressure: The influence of deadline-dependent bonus and malus incentive schemes on performance. *Journal of economic behavior & organization*, 133, 127-137.
- Eysenck, M. (2014). *Anxiety and cognition: A unified theory*. Psychology Press.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6, 409–434.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336.

- Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *NeuroImage*, *46*(3), 854-862.
- Fuentes-García, J. P., Crespo, M., Martínez-Gallego, R., & Villafaina, S. (2022). Impact of match-induced pressure on HRV of junior tennis players. *Physiology & Behavior*, *252*, 113836.
- Fuentes-García, J. P., Pereira, T., Castro, M. A., Santos, A. C., & Villafaina, S. (2019). Psychophysiological stress response of adolescent chess players during problem-solving tasks. *Physiology & behavior*, *209*, 112609.
- Fuentes-García, J. P., Villafaina, S., Collado-Mateo, D., De la Vega, R., Olivares, P. R., & Clemente-Suárez, V. J. (2019). Differences between high vs. low performance chess players in heart rate variability during chess problems. *Frontiers in psychology*, *10*, 409.
- Ganella, D. E., Drummond, K. D., Ganella, E. P., Whittle, S., & Kim, J. H. (2018). Extinction of conditioned fear in adolescents and adults: a human fMRI study. *Frontiers in human neuroscience*, *647*.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of neuroscience*, *23*(27), 9240-9245.
- Gerrard, S. (2007). *Gerrard: My autobiography*. London: Bantam Books.
- Grabell, A. S., Huppert, T. J., Fishburn, F. A., Li, Y., Hlutkowsky, C. O., Jones, H. M., ... & Perlman, S. B. (2019). Neural correlates of early deliberate emotion regulation: young children's responses to interpersonal scaffolding. *Developmental cognitive neuroscience*, *40*, 100708.
- Gratton, G., Chiarelli, A. M., & Fabiani, M. (2017). From brain to blood vessels and back: a noninvasive optical imaging approach. *Neurophotonics*, *4*(3), 031208-031208.
- Gray, R. (2004). Attending to the execution of a complex sensorimotor skill: Expertise differences, choking and slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *10*, 42–54.
- Gray, R. (2011). Links between attention, performance pressure, and movement in skilled motor action. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(5), 301-306.

- Gucciardi, D. F., & Dimmock, J. A. (2008). Choking under pressure in sensorimotor skills: Conscious processing or depleted attentional resources?. *Psychology of Sport and Exercise*, 9(1), 45-59.
- Gucciardi, D. F., Longbottom, J., Jackson, B., & Dimmock, J. A. (2010). Experienced golfers perspectives on choking under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 32, 61–83.
- Haeussinger, F. B., Dresler, T., Heinzl, S., Schecklmann, M., Fallgatter, A. J., & Ehlis, A. C. (2014). Reconstructing functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) signals impaired by extra-cranial confounds: an easy-to-use filter method. *NeuroImage*, 95, 69-79.
- Hannah, T. C., Turner, D., Kellner, R., Bederson, J., Putrino, D., & Kellner, C. P. (2022). Neuromonitoring correlates of expertise level in surgical performers: a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 705238.
- Hardy, L., Woodman, T., & Carrington, S. (2004). Is self-confidence a bias factor in higher-order catastrophe models? An exploratory analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 26(3), 359-368.
- Harmon-Jones, E., & van Honk, J. (2012). Introduction to a special issue on the neuroscience of motivation and emotion. *Motivation and Emotion*, 36, 1-3.
- Harrison, K., Potts, E., King, A. C., & Braun-Trocchio, R. (2021). The effectiveness of virtual reality on anxiety and performance in female Soccer players. *Sports*, 9(12), 167.
- Hassmén, P., Raglin, J. S., & Lundqvist, C. (2004). Intra-Individual Variability in State Anxiety and Self-Confidence in Elite Golfers. *Journal of Sport Behavior*, 27(3).
- Hatfield, B. D. (2018). Brain dynamics and motor behavior: A case for efficiency and refinement for superior performance. *Kinesiology Review*, 7(1), 42-50.
- Hatfield, B. D., & Kerick, S. E. (2007). The psychology of superior sport performance: A cognitive and affective neuroscience perspective. *Handbook of sport psychology*, 84-109.
- Hazell, J., Cotterill, S. T., & Hill, D. M. (2014). An exploration of pre-performance routines, self-efficacy, anxiety and performance in semi-professional soccer. *European journal of sport science*, 14(6), 603-610.

- Hellhammer, D. H., Wüst, S., & Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*, *34*(2), 163-171.
- Henry, J. P. (1992). Biological basis of the stress response: Address upon accepting the Hans Selye Award from the American institute of stress in Montreux, Switzerland, February 1991. *Integrative physiological and behavioral science*, *27*(1), 66-83.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2003). Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with NIRS. *Biological psychology*, *64*(3), 255-263.
- Herrmann, M. J., Plichta, M. M., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2005). Optical topography during a Go–NoGo task assessed with multi-channel near-infrared spectroscopy. *Behavioural brain research*, *160*(1), 135-140.
- Holbert, D. O. N. A. L. D., Chenier, T. C., & O'Brien, K. F. (1990). Trend analysis for repeated measures designs. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *22*(6), 871-878.
- Hoshi, Y., Huang, J., Kohri, S., Iguchi, Y., Naya, M., Okamoto, T., & Ono, S. (2011). Recognition of human emotions from cerebral blood flow changes in the frontal region: a study with event-related near-infrared spectroscopy. *Journal of Neuroimaging*, *21*(2), e94-e101.
- Jackson, R. C., Ashford, K. J., & Norsworthy, G. (2006). Attentional focus, dispositional reinvestment, and skilled motor performance under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *28*, 49–68.
- Jordet, G., Elfering-Gemser, M.T., Lemmink, K.A.P.M., & Visser, C. (2006). The ‘‘Russian roulette’’ of soccer? Perceived control and anxiety in a major tournament penalty shootout. *International Journal of Sports Psychology*, *37*, 281-298.
- Kawashima, C., Tanaka, Y., Inoue, A., Nakanishi, M., Okamoto, K., Maruyama, Y., ... & Akiyoshi, J. (2016). Hyperfunction of left lateral prefrontal cortex and automatic thoughts in social anxiety disorder: a near-infrared spectroscopy study. *Journal of Affective Disorders*, *206*, 256-260.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international*

*journal of aviation psychology*, 3(3), 203-220.

- Kerick, S. E., Douglass, L. W., & Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(1), 118-129.
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied ergonomics*, 69, 66-73.
- Kim, K. J., Chung, J. W., Park, S., & Shin, J. T. (2009). Psychophysiological stress response during competition between elite and non-elite Korean junior golfers. *International Journal of Sports Medicine*, 503-508.
- Kim, W., Chang, Y., Kim, J., Seo, J., Ryu, K., Lee, E., ... Janelle, C. M. (2014). An fMRI study of differences in brain activity among elite, expert, and novice archers at the moment of optimal aiming. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 27, 173-182.
- Kobayashi, E., Kusaka, T., Karaki, M., Kobayashi, R., Itoh, S., & Mori, N. (2007). Functional optical hemodynamic imaging of the olfactory cortex. *The Laryngoscope*, 117(3), 541-546.
- Korb, A. (2010). *Penalty Kicks and the Prefrontal Cortex*. Available online at: <https://www.psychologytoday.com/intl/blog/prefrontal-nudity/201007/penalty-kicks-and-the-prefrontal-cortex?amp>
- Lautenbach, F., Laborde, S., Mesagno, C., Lobinger, B. H., Achtzehn, S., & Arimond, F. (2015). Nonautomated pre-performance routine in tennis: An intervention study. *Journal of Applied Sport Psychology*, 27, 123–131.
- Lewis, B., & Linder, D. (1997). Thinking about choking? Attentional processes and paradoxical performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 23, 937–944.
- Liu, J. Z., Shan, Z. Y., Zhang, L. D., Sahgal, V., Brown, R. W., & Yue, G. H. (2003). Human brain activation during sustained and intermittent submaximal fatigue muscle contractions: an FMRI study. *Journal of neurophysiology*, 90(1), 300-312.
- Liu, S., Clements, J. M., Kirsch, E. P., Rao, H. M., Zielinski, D. J., Lu, Y., ... & Appelbaum, L. G. (2021). Psychophysiological Markers of Performance and Learning during Simulated

- Marksmanship in Immersive Virtual Reality. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(7), 1253-1270.
- Liu, X. *Research on the Prefrontal Cortex of Patients with Major Depressive Disorder by Near Infrared Spectroscopy*; Tsinghua University: Beijing, China, 2014.
- Lo, L. C., Hatfield, B. D., Wu, C. T., Chang, C. C., & Hung, T. M. (2019). Elevated state anxiety alters cerebral cortical dynamics and degrades precision cognitive-motor performance. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 8(1), 21.
- Lohse, K. R., Sherwood, D. E., & Healy, A. F. (2010). How changing the focus of attention affects performance, kinematics, and electromyography in dart throwing. *Human Movement Science*, 29, 542–555.
- Lopez-Duran, N. L., Nusslock, R., George, C., & Kovacs, M. (2012). Frontal EEG asymmetry moderates the effects of stressful life events on internalizing symptoms in children at familial risk for depression. *Psychophysiology*, 49(4), 510-521.
- Marshall, A. C., Cooper, N. R., Segrave, R., & Geeraert, N. (2015). The effects of long-term stress exposure on aging cognition: a behavioral and EEG investigation. *Neurobiology of aging*, 36(6), 2136-2144.
- Martens, R., Vealey, R. S., & Burton, D. (1990). Competitive anxiety in sport.
- Marumo, K., Takizawa, R., Kawakubo, Y., Onitsuka, T., & Kasai, K. (2009). Gender difference in right lateral prefrontal hemodynamic response while viewing fearful faces: a multi-channel near-infrared spectroscopy study. *Neuroscience research*, 63(2), 89-94.
- Masters, R. S. (1992). Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83(3), 343–358.
- Mather, M., & Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Current opinion in behavioral sciences*, 19, 98-104.
- Mesagno, C., & Hill, D. M. (2013). Definition of choking in sport: Reconceptualization and debate. *International Journal of Sport Psychology*, 44, 267–277.

- Mesagno, C., Marchant, D., & Morris, T. (2008). A pre-performance routine to alleviate choking in “choking-susceptible” athletes. *The sport psychologist*, 22(4), 439-457.
- Mesagno, C., & Mullane-Grant, T. (2010). A comparison of different pre-performance routines as possible choking interventions. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22, 343–360.
- Mesagno, C., Harvey, J. T., & Janelle, C. M. (2011). Self-Presentation origins of choking: Evidence from separate pressure manipulations. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33, 441–459.
- Mesagno, C., Harvey, J. T., & Janelle, C. M. (2012). Choking under pressure: The role of fear of negative evaluation. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(1), 60–68.
- Milton, J., Solodkin, A., Hluštík, P., & Small, S. L. (2007). The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*, 35, 804-813.
- Molina-Rodríguez, S., Hidalgo-Muñoz, A. R., Ibáñez-Ballesteros, J., & Taberero, C. (2023). Stress estimation by the prefrontal cortex asymmetry: Study on fNIRS signals. *Journal of Affective Disorders*, 325, 151-157.
- Molina-Rodríguez, S., Mirete-Fructuoso, M., Martínez, L. M., & Ibáñez-Ballesteros, J. (2022). Frequency-domain analysis of fNIRS fluctuations induced by rhythmic mental arithmetic. *Psychophysiology*, 59(10), e14063.
- Morales Téllez, A., Tentori, M. E., & Castro, L. A. (2021, December). Stress management training in athletes: Design considerations for vr biofeedback systems. In *Proceedings of the 8th Mexican Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 1-3).
- Muthalib, M., Kan, B., Nosaka, K., & Perrey, S. (2013). Effects of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on prefrontal cortex activation during a neuromuscular fatigue task: an fNIRS study. In *Oxygen Transport to Tissue XXXV* (pp. 73-79). Springer New York.
- Neumann, D. L., & Thomas, P. R. (2008). A camera-based scoring system for evaluating performance accuracy during a golf putting task. *Behavior Research Methods*, 40(3), 892-897.
- Nibbeling, N., Daanen, H. A., Gerritsma, R. M., Hofland, R. M., & Oudejans, R. R. (2012).

- Effects of anxiety on running with and without an aiming task. *Journal of sports sciences*, 30(1), 11-19
- Nicholls, S., & Crompton, J. L. (2007). The impact of a golf course on residential property values. *Journal of Sport Management*, 21(4), 555-570.
- Nieuwenhuys, A., Pijpers, J. R., Oudejans, R. R. D., & Bakker, F. C. (2008). The influence of anxiety on visual attention in climbing. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 30, 171–185.
- Noda, T., Yoshida, S., Matsuda, T., Okamoto, N., Sakamoto, K., Koseki, S., ... & Higuchi, T. (2012). Frontal and right temporal activations correlate negatively with depression severity during verbal fluency task: a multi-channel near-infrared spectroscopy study. *Journal of psychiatric research*, 46(7), 905-912.
- Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: a synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1251(1), E1-E24.
- Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Lazeyras, F., Hauert, C. A., & James, C. E. (2013). Degree of musical expertise modulates higher order brain functioning. *Cerebral Cortex*, 23(9), 2213-2224.
- Orlick, T. (2007). D.; MCNALLY, Jane; O'HARA, Tom. Cooperative games: systematic analysis and cooperative impact. *Essential readings in sport and exercise psychology*. SMITH, DANIEL; BARELI; Michael (Editores). *Human Kinetics*, 126-135.
- Orlick, T., & Partington, J. (1988). Mental links to excellence. *The sport psychologist*, 2(2), 105-130.
- Oudejans, R. R., Kuijpers, W., Kooijman, C. C., & Bakker, F. C. (2011). Thoughts and attention of athletes under pressure: Skill-focus or performance worries? *Anxiety, Stress, and Coping*, 24, 59–73.
- Pelz, D. (2000). *Dave Pelz's putting bible: the complete guide to mastering the green* (Vol. 2). Doubleday Books.
- Petru, R., Wittmann, M., Nowak, D., Birkholz, B., & Angerer, P. (2005). Effects of working

- permanent night shifts and two shifts on cognitive and psychomotor performance. *International archives of occupational and environmental health*, 78, 109-116.
- Pijpers, J. R., Oudejans, R. R., Bakker, F. C., & Beek, P. J. (2006). The role of anxiety in perceiving and realizing affordances. *Ecological psychology*, 18(3), 131-161.
- Pinti, P., Aichelburg, C., Gilbert, S., Hamilton, A., Hirsch, J., Burgess, P., & Tachtsidis, I. (2018). A review on the use of wearable functional near-infrared spectroscopy in naturalistic environments. *Japanese Psychological Research*, 60(4), 347-373.
- Qin, S., Hermans, E. J., Van Marle, H. J., Luo, J., & Fernández, G. (2009). Acute psychological stress reduces working memory-related activity in the dorsolateral prefrontal cortex. *Biological psychiatry*, 66(1), 25-32.
- Rhee, J., & Mehta, R. K. (2018). Functional connectivity during handgrip motor fatigue in older adults is obesity and sex-specific. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 455.
- Robertson, C. V., & Marino, F. E. (2016). A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. *Journal of Applied Physiology*, 120(4), 464-466.
- Sassaroli, A., & Fantini, S. (2004). Comment on the modified Beer–Lambert law for scattering media. *Physics in Medicine & Biology*, 49(14), N255.
- Schleifer, L. M., Spalding, T. W., Kerick, S. E., Cram, J. R., Ley, R., & Hatfield, B. D. (2008). Mental stress and trapezius muscle activation under psychomotor challenge: A focus on EMG gaps during computer work. *Psychophysiology*, 45, 356–365.
- Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond RMSSD?. *Frontiers in physiology*, 6, 343.
- Scholkmann, F., & Wolf, M. (2013). General equation for the differential pathlength factor of the frontal human head depending on wavelength and age. *Journal of biomedical optics*, 18(10), 105004-105004.
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Pavia, J. M., Wolf, U., & Wolf, M. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *Neuroimage*, 85, 6-27.

- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, 5, 1040.
- Shortz, A. E., Pickens, A., Zheng, Q., & Mehta, R. K. (2015). The effect of cognitive fatigue on prefrontal cortex correlates of neuromuscular fatigue in older women. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1), 1-10.
- Silveira, R., Prado, R. C. R., Brietzke, C., Coelho-Júnior, H. J., Santos, T. M., Pires, F. O., & Asano, R. Y. (2019). Prefrontal cortex asymmetry and psychological responses to exercise: a systematic review. *Physiology & behavior*, 208, 112580.
- Slutter, M. W., Thammasan, N., & Poel, M. (2021). Exploring the brain activity related to missing penalty kicks: An fNIRS study. *Frontiers in Computer Science*, 3, 32.
- Strangman, G., Boas, D. A., & Sutton, J. P. (2002). Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. *Biological psychiatry*, 52(7), 679-693.
- Strangman, G., Franceschini, M. A., & Boas, D. A. (2003). Factors affecting the accuracy of near-infrared spectroscopy concentration calculations for focal changes in oxygenation parameters. *Neuroimage*, 18(4), 865-879.
- Tanaka, Y., & Sekiya, H. (2010). The relationships between psychological/physiological changes and behavioral/performance changes of a golf putting task under pressure. *International Journal of Sport and Health Science*, 8, 83-94.
- Tarabrina, N. Y. (2023). Features of the Brain Electrical Activity of Athletes-Fighters in Comparison with Non-athletes.
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756.
- Tong, Y., & Frederick, B. D. (2010). Time lag dependent multimodal processing of concurrent fMRI and near-infrared spectroscopy (NIRS) data suggests a global circulatory origin for low-frequency oscillation signals in human brain. *Neuroimage*, 53(2), 553-564.
- Tyagi, O., & Mehta, R. K. (2022). Mind over body: A neuroergonomic approach to assessing

- motor performance under stress in older adults. *Applied ergonomics*, *101*, 103691.
- Tyagi, O., Hopko, S., Kang, J., Shi, Y., Du, J., & Mehta, R. K. (2023). Modeling brain dynamics during virtual reality-based emergency response learning under stress. *Human factors*, *65*(8), 1804-1820.
- Ulrich-Lai, Y. M., & Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nature reviews neuroscience*, *10*(6), 397-409.
- van Paridon, K. N., Timmis, M. A., Nevison, C. M., & Bristow, M. (2017). The anticipatory stress response to sport competition; a systematic review with meta-analysis of cortisol reactivity. *BMJ Open Sport—Exercise Medicine*, *3*(1).
- Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2007). Performing under pressure: The effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of Motor Behavior*, *39*, 381–394.
- Villafaina, S., Collado-Mateo, D., Cano-Plasencia, R., Gusi, N., & Fuentes, J. P. (2019). Electroencephalographic response of chess players in decision-making processes under time pressure. *Physiology & behavior*, *198*, 140-143.
- Vogt, W. C., Romero, E., LaConte, S. M., & Rylander, C. G. (2013, March). Mechanical indentation improves cerebral blood oxygenation signal quality of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) during breath holding. In *Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue X* (Vol. 8578, pp. 468-474). SPIE.
- Wang, J., Marchant, D., Morris, T., & Gibbs, P. (2004). Self-consciousness and trait anxiety as predictors of choking in sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *7*(2), 174–185.
- Weinberg, R. S. (1978). The effects of success and failure on the patterning of neuromuscular energy. *Journal of Motor Behavior*, *10*, 53–61.
- Weinberg, R. S. (1988). The mental advantage: Developing your psychological skills in tennis. (*No Title*).
- Weinberg, R. S., & Genuchi, M. (1980). Relationship between competitive trait anxiety, state anxiety, and golf performance: A field study. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *2*(2), 148-154.

- Weinberg, R. S., & Hunt, V. V. (1976). The interrelationships between anxiety, motor performance and electromyography. *Journal of Motor behavior*, 8(3), 219-224.
- Wheelock, M. D., Harnett, N. G., Wood, K. H., Orem, T. R., Granger, D. A., Mrug, S., & Knight, D. C. (2016). Prefrontal cortex activity is associated with biobehavioral components of the stress response. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 583.
- Wilson, M., Smith, N. C., & Holmes, P. S. (2007). The role of effort in influencing the effect of anxiety on performance: Testing the conflicting predictions of processing efficiency theory and the conscious processing hypothesis. *British Journal of Psychology*, 98(3), 411-428.
- Wulf, G., & Su, J. (2007). An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts. *Research quarterly for exercise and sport*, 78(4), 384-389.
- Yang, H., Zhou, Z., Liu, Y., Ruan, Z., Gong, H., Luo, Q., & Lu, Z. (2007). Gender difference in hemodynamic responses of prefrontal area to emotional stress by near-infrared spectroscopy. *Behavioural brain research*, 178(1), 172-176.
- Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(8), 585-596.
- Yeung, M. K., & Chan, A. S. (2021). A systematic review of the application of functional near-infrared spectroscopy to the study of cerebral hemodynamics in healthy aging. *Neuropsychology review*, 31, 139-166.
- Zhang, Y., Li, X., Guo, Y., Zhang, Z., Xu, F., Xiang, N., ... & Shi, H. (2022). Dorsolateral Prefrontal Activation in Emotional Autobiographical Task in Depressed and Anxious College Students: An fNIRS Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14335.