

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	130011
參展科別	行為與社會科學
作品名稱	探討實際執行、動作心像、動作觀察與鏡像動作時之腦部活化情形
得獎獎項	一等獎 美國 ISEF 正選代表

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 劉宴齊、蔡任圃

作者姓名 陳沛筠

關鍵詞 腦部活化、動作心像、鏡像動作

作者簡介



大家好，我是北一女中數理資優班的陳沛筠，很幸運能夠有機會進入實驗室進行專題研究。非常感謝教授、老師、家長、學姊以及受試者給予我的各種幫助，讓我能夠完成我的研究。

摘要

本研究以功能性近紅外光頻譜儀，探討雙側主要運動皮質(M1)、前運動皮質(PMC)及聯合動作皮質(SMA)等動作相關腦區，以實際執行(ME)、動作心像(MI)、動作觀察(MO)及鏡像動作(MVF)等模式執行上肢功能性前伸動作(Arm reaching)時，腦部之活化情形。研究結果發現「實際執行」、「動作心像」與「鏡像動作」執行時，動作相關腦區皆顯著活化，包含 M1、SMA 及 PMC。且可觀察到執行「動作心像」、「鏡像動作」時之大腦活化模式與「實際執行」呈現相同趨勢。此結果可應用於臨床復健訓練中，對於上肢偏癱患者(如中風患者)，建議使用「鏡像動作」模式訓練，而對於雙側皆有動作障礙之患者(如頸部脊髓損傷)，可使用「動作心像」作為替代治療。

Abstract

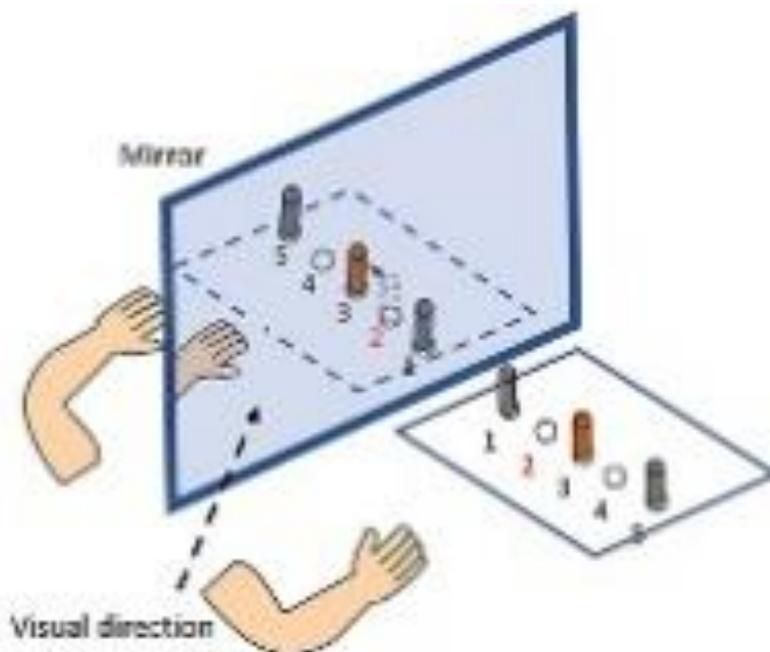
In this study, young participants (n=29) were instructed to perform functional reaching task with their right upper limb in motor execution (ME), motor imagery (MI), motor observation (MO) and mirror visual feedback (MVF). While executing the tasks, brain activation at motor-related area, including primary motor cortex (M1), premotor cortex (PMC), and supplementary motor area (SMA) were monitored by functional near infrared spectroscopy (fNIRS) simultaneously. Results showed that the motor-related area, including M1, SMA, and PMC, are significantly activated while ME, MO, and MVF. Moreover, the brain activation pattern during ME, MI, and MVF are significant similar. Therefore, MVF and MI could be applied as an alternative clinical training strategy for individuals who are with upper limb impairment such as stroke patients. The MVF will be recommended for individuals with unilateral limb hemiplegia to facilitate higher and more areas of brain activation. Furthermore, the MI may be suggested to individuals with bilateral limb impairment who cannot move actively.

壹、前言

根據我國衛生福利部統計，腦中風的終生發生率為六分之一，而其中有將近九成的病患會發生半側偏癱的情形(Hemiparesis)。在臨床上發現，經過復健訓練後，完全恢復上肢功能者僅有 15-20%，而下肢能夠恢復自行行走則約有 80%，由此可見，多數中風患者之上肢恢復情形相較於下肢不甚理想。

近年來，神經復健領域發展出多種治療方式應用在腦中風後族群的復健治療，包含使用不同種動作模式，常使用的治療策略包含「實際執行(Motor execution, ME)」、「動作心像(Motor Imagery, MI)」、「動作觀察(Motor Observation, MO)」及「鏡像動作(Mirror visual feedback, MVF)」。

「實際執行(ME)」指個案透過肢體動作實際完成動作任務，例如伸手拿杯子、手高舉過頭等等。「動作心像(MI)」指個案進行心理排練，在腦中利用想像完成動作，但並無實際的肢體動作(Jeannerod, 1995; Mulder, 2007)。「動作觀察(MO)」則是透過視覺觀察，理解該動作行為(Ceravolo, 2016)。「鏡像動作(MVF)」最初被使用在截肢後幻肢痛的病人身上，對於降低幻肢痛有顯著的成效(Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996)；目前也常被用於中風患者上肢復健訓練上，個案將患肢(affected limb)放於鏡子後，透過鏡子的反射觀察健側肢體的動作，產生反射性幻覺(reflective illusion)(Thieme, 2018)，想像其患肢正在進行相同的動作(圖一)。此四種介入方式，在動作學習(Motor Learning)上皆有不同程度的影響(Jeannerod, 2001)。而「動作心像」、「動作觀察」、「鏡像動作」因能在神經受損後作為不需肌肉動作便可完成的替代治療方式(Eaves, *et al.*, 2016; Mateo, *et al.*, 2015)，因而被廣泛使用於帕金森氏症(Parkinson's Disease)及中風個案等(Cacchio, *et al.*, 2009; Abbruzzese, *et al.*, 2015)。



圖一 鏡像動作示意圖(Bai, *et al.*, 2019)。將鏡子擺於雙手之間，圖為右手執行動作，左手不動，執行者即可從鏡中觀察到類似雙側手皆在動的視覺回饋。

過去研究常使用功能性磁振造影(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)、正子斷層攝影(Positron Emission Tomography, PET) 或腦電圖(Electroencephalography, EEG) 探討執行各種任務時的大腦活化情形。研究結果指出，人類執行「動作心像」及「動作觀察」時的大腦活化情形與「實際執行」時的大腦活化方式相近(Filimon, *et al.*, 2007; Gazzola & Keysers, 2009; Jastorff, *et al.*, 2010; Szameitat, *et al.*, 2007)。然而，上述研究儀器，包含 fMRI、PET、及 EEG 都有其限制，尤其是對於軀體及肢段的穩定性；fMRI 及 PET 必須於設備中呈現躺姿且盡量靜止不動，而 EEG 則是易受到臉部肌電訊號所影響。因此先前之研究僅可探討單一肢段中部分關節的運動，例如手指敲擊(finger tapping)或單一手指彎曲及伸直(flexion and extension)等簡單動作(Sitaram, *et al.*, 2007)，對於執行包含多關節的功能性動作時之腦部活化情形，例如與日常生活最相關的上肢前伸動作(reaching)，目前尚不清楚。

近年來研究者開始使用功能性近紅外光譜技術(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)來探討「動作心像」、「動作觀察」及「實際執行」對於大腦活化的表現，且其技術較不受姿勢限制。學者使用 fNIRS 發現執行手部抓握(Hand grasping)之「動作心像」、「動作觀察」及「實際執行」時，三者大腦活化情形類似，且活化腦區包含主要運動皮質(primary motor cortex, M1)、前運動皮質(premotor cortex, PMC)、運動輔助區(supplementary motor area, SMA)等運動相關區域(An, *et al.*, 2013)。而在行走方面，目前僅有兩篇研究使用 fNIRS 探討「實際執行」及「動作心像」步行時的腦部活化表現。但並未探討執行「動作觀察」時腦部活化的差異(Zhang, *et al.*, 2019)。其中 M1 負責運動執行，運動訊號經由 M1 往下傳遞至軀幹與四肢；SMA 與運動計畫有關，負責產生及整合運動訊息，同時也負責保持軀幹穩定。PMC 則與動作預備及控制有關，並接收來自頂葉皮層的感覺輸入 (Murata, *et al.*, 2015)。

在回顧相關研究後可知執行「動作心像」、「動作觀察」及「實際執行」時的大腦活化方式相近。然而，目前研究多使用非功能性動作的簡單動作做為動作任務，較少探討多關節且較功能性之動作。此外，先前研究也未將執行「鏡像動作」時的腦部活化情形納入討論。因此，本研究將以健康成年人為實驗對象，系統性探討上肢執行功能性前伸動作時，「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」、「鏡像動作」四種模式之間的腦部活化的差異。並且於未來延伸探討下肢執行平地行走任務時，「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」三種模式之間的腦部活化差異。

本研究的研究目的如下：

- 一、探討執行上肢功能性前伸動作時，「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」及「鏡像動作」四種動作模式各自之腦部活化情形。
- 二、比較執行上肢功能性前伸動作時，「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」及「鏡像動作」四種動作模式之間之腦部活化情形。
- 三、探討「動作心像」、「動作觀察」及「鏡像動作」於臨床上肢復健治療之應用。

貳、研究方法或過程

一、實驗裝置器材

本研究使用 fNIRS (NIRSport2, NIRx Medical Technologies LLC, Glen Head, NY, USA) 量測腦部活化情形。fNIRS 為一非侵入性的量測技術，利用近紅外光(波長 760 和 850nm)測量含氧血紅素(HbO)與缺氧血紅素(HbR)的變化。裝置包含光源(light source)和偵測器(light detector);由光源發出近紅外光並由偵測器接收，形成通道(channel);如將 source 與 detector 的距離固定於約 3 公分，則探測深度可達約為 2-3 公分，此通道(channel)即可探測大腦皮層深度(圖二)。由於含氧血紅素 (oxygenated hemoglobin, HbO) 及以及去氧血紅素 (deoxygenated hemoglobin, HbR) 對於近紅外光的吸收率不同，故可藉由近紅外光的光譜吸收變化，計算血液中的含氧量改變，推算出腦部的活化情形。

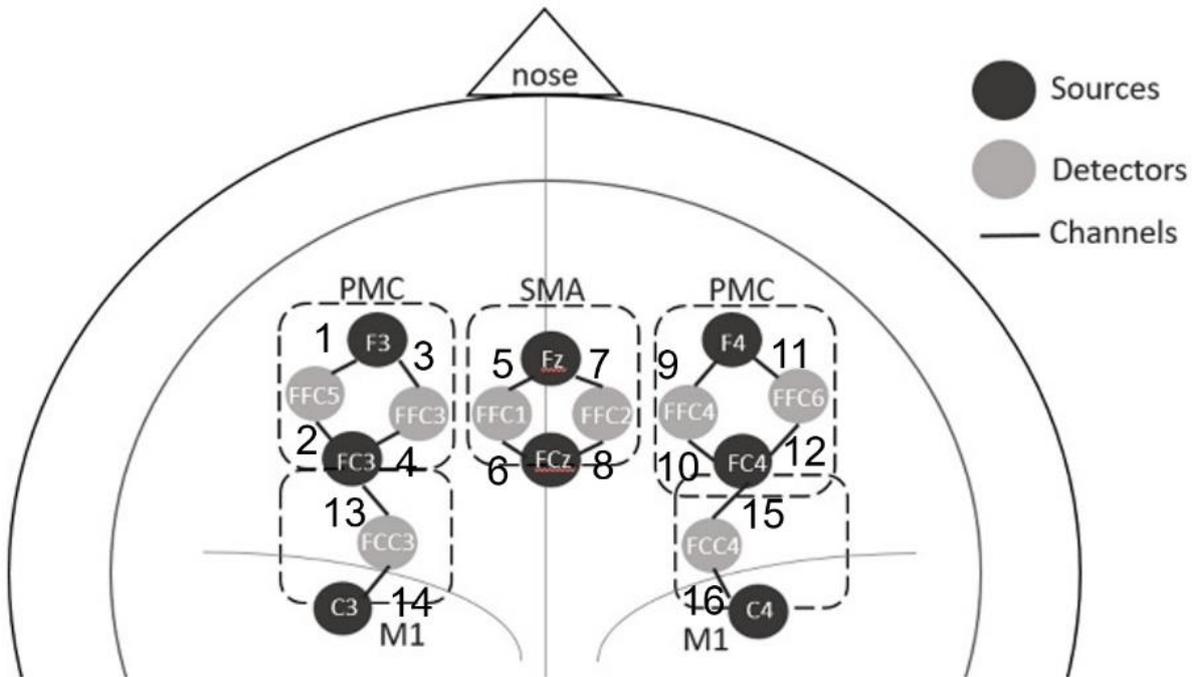
本研究使用之 NIRSport2 系統包含 8 個 source 和 8 個 detector (圖三)，並根據國際 10-5 系統(International 10-5 system)(de Klerk, *et al.*, 2015)擺放(圖四及圖五)，用裝有彈簧的蓋子將探頭固定於帽套上(圖六)，目標區域包含雙側主 M1、PMC、及 SMA。實驗時，受試者將會帶上帽套，並以後揹帶揹著 fNIRS 主機(約 350 公克)完成實驗(圖七)。



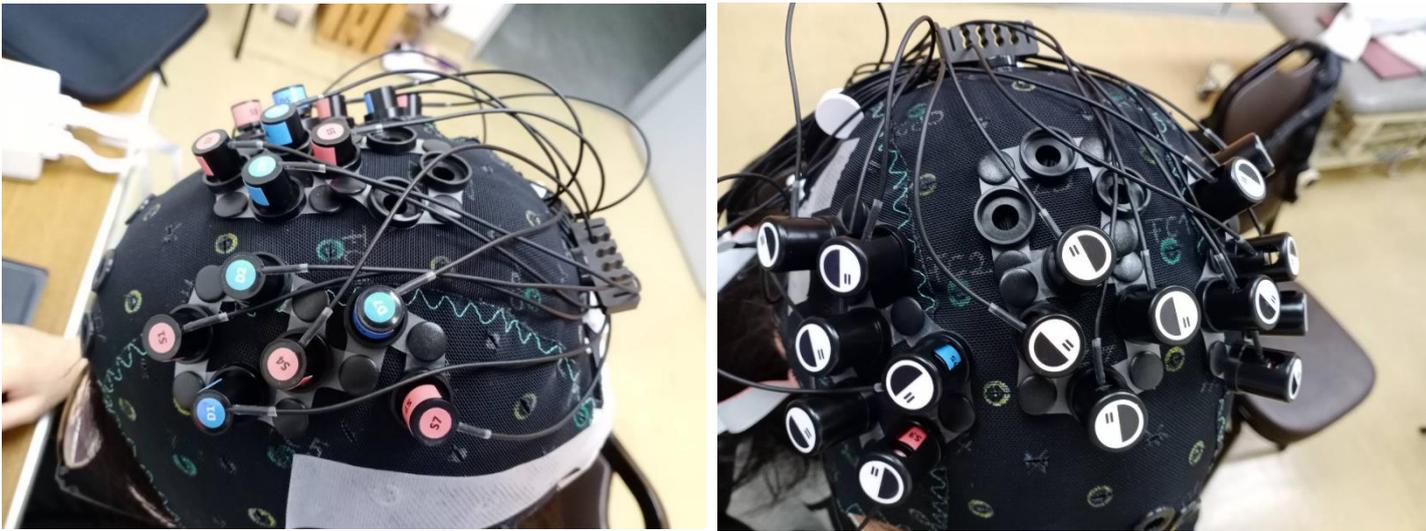
圖二 光源(source)發出近紅外光，偵測器(detector)接收光源發出之光子，形成圖中黃色部分的通道(channel)，可監測 channel 相對應區域大腦皮質之活化情形。(圖自 NIRX 官網)。



圖三 NIRSport2 之 Sources(紅)與 Detectors(藍)探頭配件。



圖四 fNIRS source(淺色)與 detector (深色)擺放位置。共 8 個 source 與 8 個 detector 形成 16 個 channel(黑色實線)，偵測腦區包含雙側 PMC、SMA、M1。



圖五 探頭實際擺放及固定情形。左：未加固定蓋；右：加固定蓋。



圖六 固定探頭之上蓋內含彈簧(左)、帽套(右)。



圖七 fNIRS 主機置於背帶中。

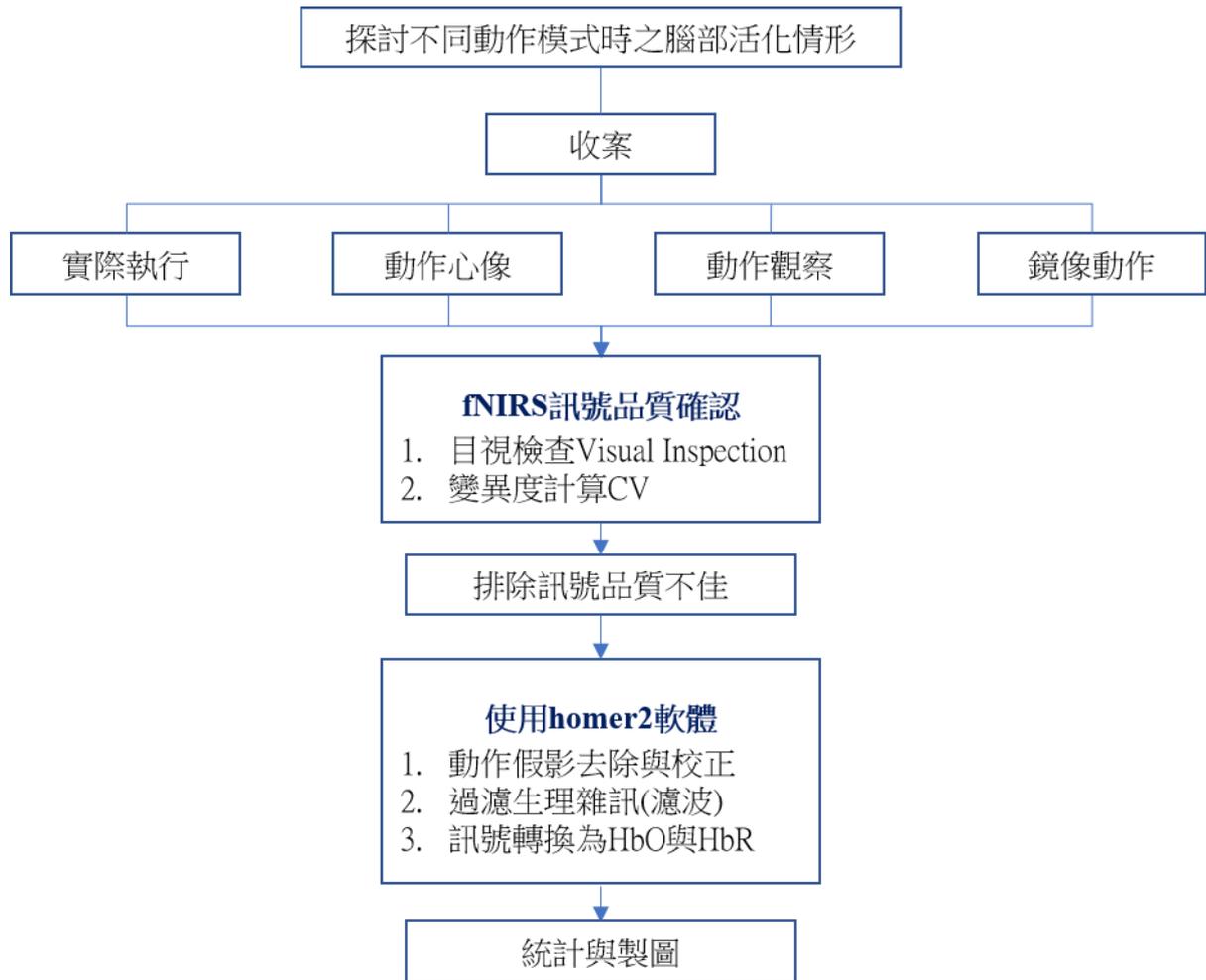
二、實驗對象

本研究預計收取 45 位健康年輕人，收案條件為：

- (一) 年齡介於 20-30 歲之間。
- (二) 慣用手為右手。
- (三) 沒有任何神經性、心肺、肌肉的異常疾病會影響實驗結果。
- (四) 可獨立行走 10 公尺。
- (五) 簡短智力測驗(Mini-Mental State Examination, MMSE)分數大於 24。(附錄一)

納入本研究之受試者，皆於實驗開始前簽屬經國立臺灣大學附設醫院之人體試驗暨研究倫理委員會(The Institutional Review Board / Ethics Committee, IRB)審核之受試者同意書，以確保受試者權益，見附錄(二)。

三、研究流程圖(圖八)



圖八 研究流程圖

四、實驗流程

(一) 上肢功能性前伸動作

實驗包含四項動作模式，每項動作模式將分別執行三次，每次一分鐘。其執行順序由電腦亂數選出，不事先告訴受試者，避免預期心理干擾。每項任務進行間有 40 秒休息時間，總實驗長度約為 21 分鐘。執行時同時使用 fNIRS 紀錄腦部活化情形。

1. 實際執行(ME)

受試者聽到提示音時，使用慣用手(右手)執行功能性前伸動作(由起始點伸手抓握放置於前方的水瓶後放開並將手臂伸回起始點)，目標物位置計算方式=受試者臂長*80%(圖九)。提示音響起頻率為 0.5Hz。



圖九 「實際執行(ME)」示意圖。

2. 動作心像(MI)

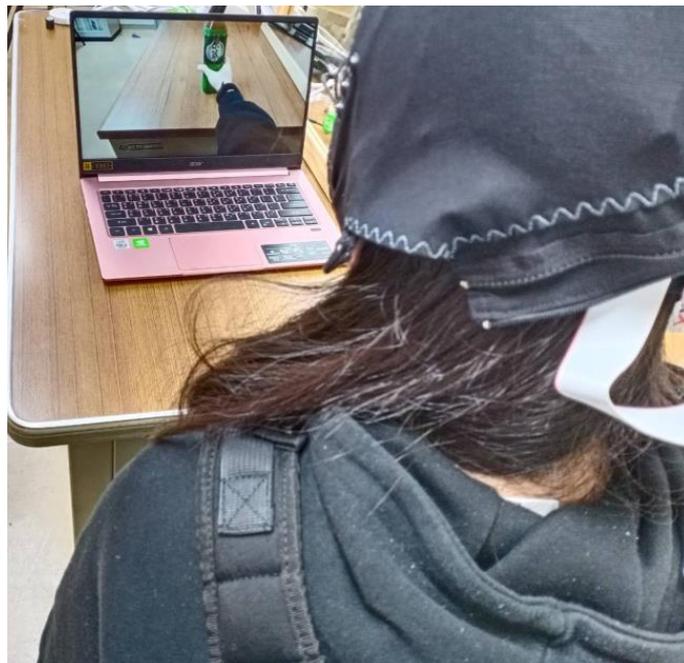
受試者直視放置在前方的水瓶，放置位置計算方式=受試者臂長*80%，聽到提示音時，受試者想像正在使用慣用手(右手)執行功能性前伸動作，伸手抓握放置於前方的水瓶，任務期間保持身體靜止(圖十)。提示音響起頻率為 0.5Hz。



圖十 「動作心像(MI)」示意圖。

3. 動作觀察(MO)

受試者觀看正在使用慣用手(右手)執行功能性前伸動作之影，影片中以 0.5Hz 之頻率實際執行功能性前伸動作，以第一視角拍攝，觀察任務期間保持身體靜止，如圖十一所示。



圖十一 「動作觀察(MO)」示意圖。

4. 鏡像動作(MVF)

於受試者兩手之間擺放鏡子，鏡面朝非慣用手(左手)並確認受試者可看到鏡面影像。受試者之慣用手(右手)置於鏡後不動作且放鬆。聽到提示聲時，受試者使用非慣用手(左手)執行功能性前伸動作，伸手抓握放置於前方的水瓶，目標物放置位置為受試者臂長*80%，任務期間全程觀察鏡中動作(圖十一)。提示聲頻率 0.5Hz，持續進行 1 分鐘，記錄腦部活化情形。



圖十一 「鏡像動作(MVF)」示意圖及俯視圖。

五、訊號處理與統計分析

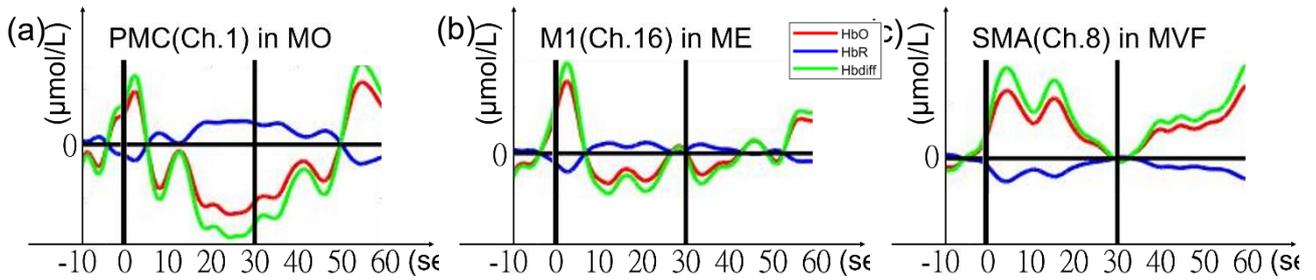
(一) 訊號處理

為避免實驗中操作所產生之誤差以及受試者個人因素影響實驗結果，數據須通過目視檢查(Visual Inspection)以及變異度 CV(Coefficient of Variation, $CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$) 確認。其中 CVchan 計算範圍為每個 channel 之整段實驗(約 21 分鐘)，CVtrial 範圍為每個 channel 之每項任務時間(1 分鐘)，CVchan>15%或 CVtrial>10%之數據將被排除。通過目視檢查確認數據無遺漏，且 CV 值在正常範圍內的數據檔案將利用 Homer2 軟體進行後續處理。

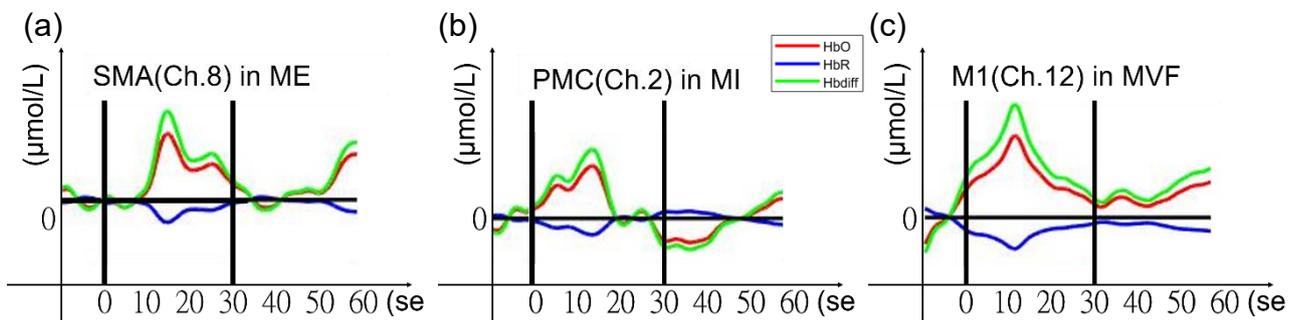
使用 Homer2 軟體進行確認任務記號(marker)數量及時間後，將原始資料(raw data)轉換為光子衰減量(optical density)；為避免呼吸、心跳等生理因素影響，將訊號執行濾波，僅留下 0.01Hz-0.2Hz 頻段的資料。此外，使用軟體內 hmrMotionCorrectCbsi 功能，去除動作雜訊並校正訊號。最後，依據 modified Beer-Lambert law 再將光子衰減量轉換為血氧濃度，包含 HbO 與 HbR 濃度。

本研究使用 hemoglobin differential(Hbdiff)量化腦部活化情形，根據神經血管腦耦合(neurovascular coupling)理論，腦部活化包含局部之 HbO 上升與 HbR 下降(圖十二)。Hbdiff 計算方式為 $Hbdiff = HbO - HbR$ 。Hbdiff 計算完成後，使用自寫的 matlab 程式計算訊號於任務區段(trial)的平均值及圖案繪製與統計分析。

經過訊號確認，發現大部分受試者之腦部活化皆呈現提早活化，可能與本實驗給予之口令有關，受試者於事件開始約前 10 秒接收到任務指示，腦部即開始活化，為較真實呈現腦部活化狀態，因此本實驗將開始時間往前移動 10 秒鐘(圖十二)。此外，訊號也顯示大部分通道(channel)之活化皆於任務前半段(30 秒)較為明顯(圖十三)，為呈現真實因訊號引起之腦部活動，本實驗將腦部活化區段分為前 30 秒(early phase)及 30 秒後(late phase)兩區段。



圖十二 腦部活化情形(以Ch.1、Ch.16、Ch.8為例)。橫軸為時間，0秒為實際任務開始，Hbdiff(綠線)代表腦部活化。可觀察到事件開始前10秒即有活化趨勢。(a)「動作觀察(MO)」時，左側PMC的活化情形；(b)「實際執行(ME)」時，右側M1的活化情形；(c)「鏡像動作(MVF)」時，右側SMA的活化情形。



圖十三 腦部活化情形(以Ch.8、Ch.2、Ch.12為例)。橫軸為時間，0秒為任務開始，Hbdiff(綠線)代表腦部活化。可觀察到事件開始後皆會有明顯活化，且活化於30秒後則不明顯。(a)「實際執行(ME)」時，右側SMA的活化情形；(b)「動作心像(MI)」時，左側PMC的活化情形；(c)「鏡像動作(MVF)」時，右側M1的活化情形。

(二) 統計分析

本研究使用 One-sided t test 與 false discovery rate correction (FDR, $q=0.05$) 檢驗每項任務期間各個 channel 大腦活化之顯著性 ($p < 0.023$)。並使用單因子變異數分析與重複量數 (one-way ANOVA with repeated measure) 搭配 Bonferroni 法校正，檢定腦部活化於四個動作模式之相互比較。

參、研究結果與討論

一、受試者資料

本研究目前共收取合乎收案條件之 41 位受試者，經過訊號品質確認後，共 29 位受試者 (13 男 16 女) 之上肢資料接受分析與結果呈現。29 位受試者之平均年齡為 25.4 歲 (介於 20~28 歲)，其他基本資料列於表一中。

表一 受試者基本資料。

基本資料 (n=29)	
年齡(歲)	25.4±3.0
性別(男/女)	13/16
MMSE	29.1±1.4
慣用手(右/左)	29/0

二、腦部活化結果

(一) 「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」及「鏡像動作」之各自腦部活化情形

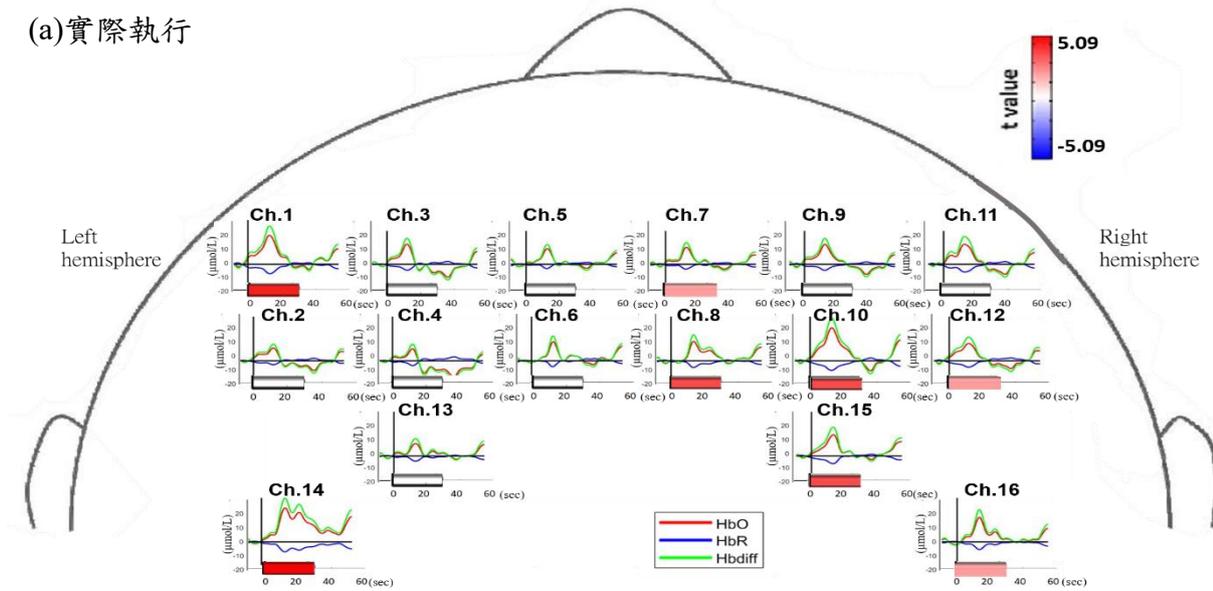
fNIRS 資料分析結果顯示，受試者實際執行動作(ME)時，可觀察到幾乎所有 channel 於事件開始後皆有相對顯著活化的現象；經統計計算後，於右側 SMA(Ch.7&Ch.8)、雙側 PMC(Ch.1&Ch.10&Ch.12)與雙側 M1(Ch.14&Ch.16)皆有顯著活化。尤其是左側的 M1 的活化最大，顯著最為明顯(t 值最高)(圖十四 a)。

受試者執行「動作心像」(MI)時，雖可於圖十四 b 觀察到所有 channel 於事件開始後 Hbdiff 皆有上升的現象。經統計計算後，於雙側 SMA (Ch.5&Ch.7)、雙側 PMC (Ch.1&Ch.9&Ch.10&Ch.11&Ch.12)與雙側 M1 (Ch.14&Ch.15)皆有顯著活化。

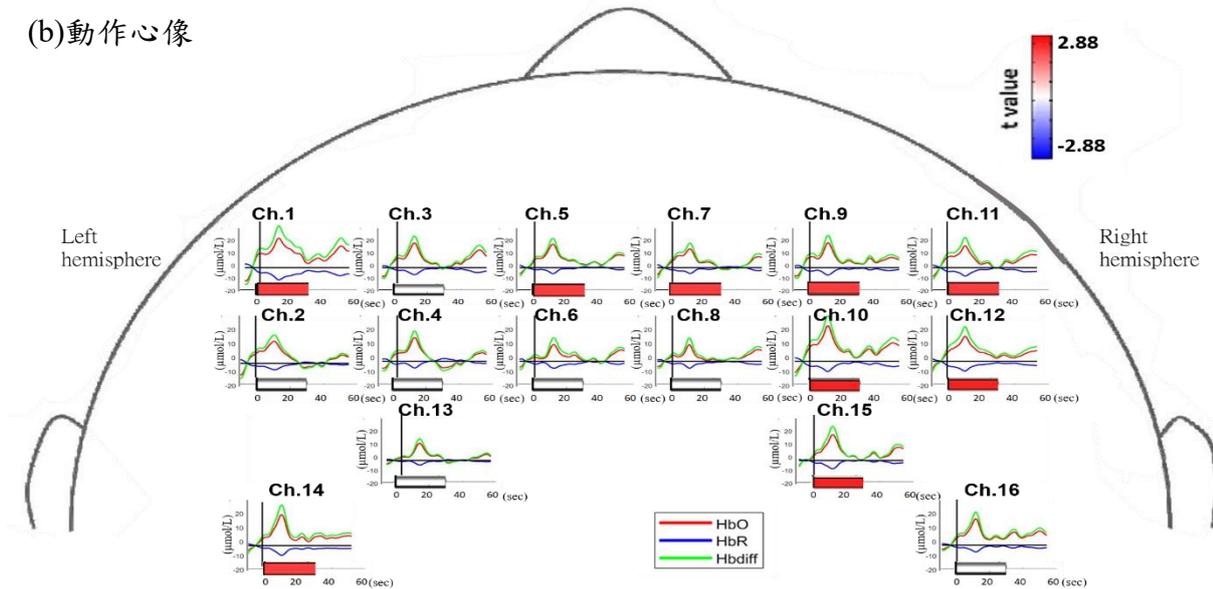
受試者執行「動作觀察」(MO)時，雖可於圖十四 c 看出所有 channel 於任務開始後，其 Hbdiff 呈現短暫的上升趨勢，經統計分析後，所有 channel 皆未達到顯著活化。

受試者執行「鏡像動作」(MVF)時，可觀察到幾乎所有 channel 於事件開始後皆有相對顯著活化的現象；經統計計算後，於雙側 SMA (Ch.5&Ch.6&Ch.7& Ch.8)、雙側 PMC (Ch.1&Ch.2&Ch.3&Ch.12)與雙側 M1 (Ch.13&Ch.14&Ch.15&Ch.16)呈現顯著活化。特別是在左側 SMA (Ch.6)活化最大，顯著最為明顯(t 值最高) (圖十四 d)。

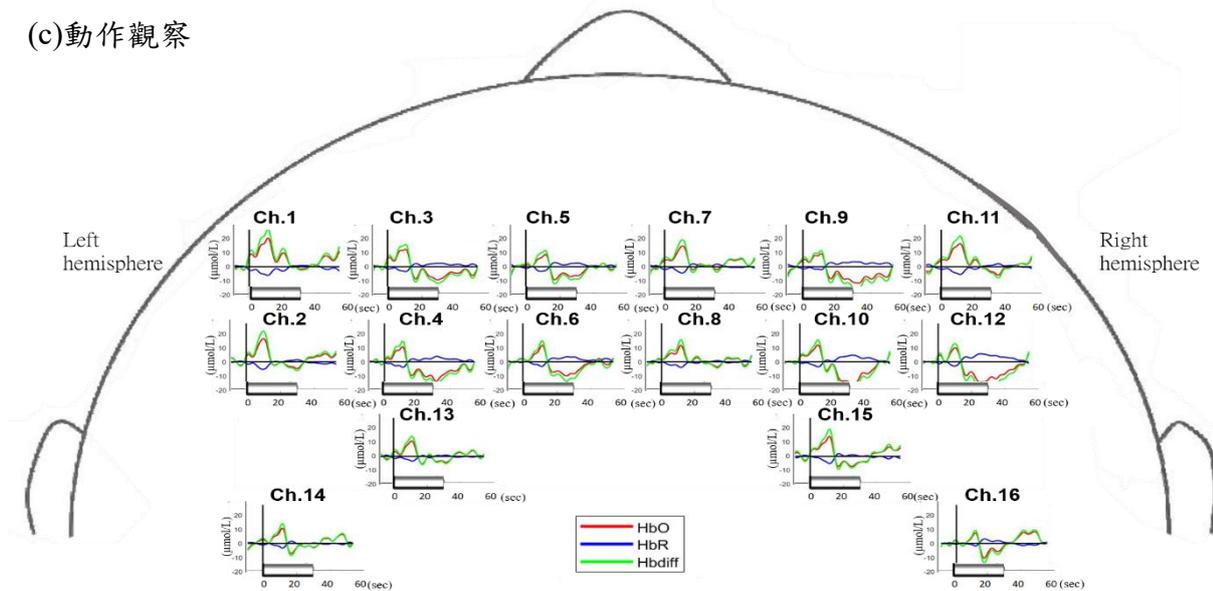
(a) 實際執行



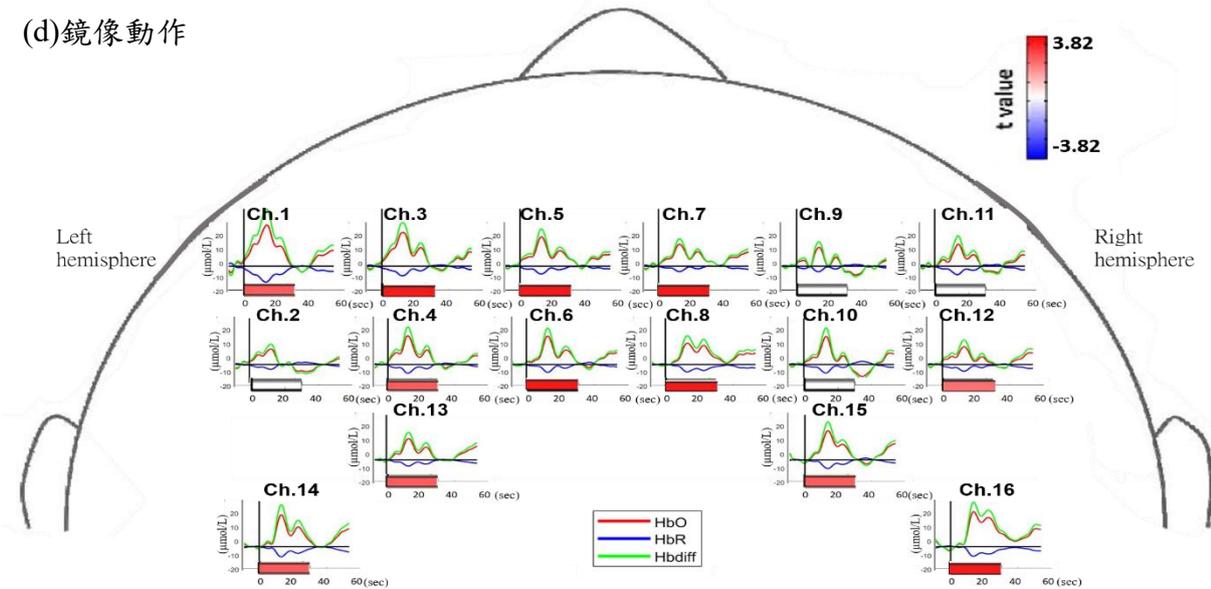
(b) 動作心像



(c) 動作觀察



(d)鏡像動作



圖十四 (a)實際執行(b)動作心像(c)動作觀察(d)鏡像動作中，各 channel 之活化情形。共有 16 個 channel，channel 下方條帶代表其在任務開始後 30 秒後的活化是否達到統計顯著。紅線-HbO、藍線-HbR、綠線-Hbdiff。(x 軸：時間(秒)；y 軸：濃度變化(μmol/L))

(二) 「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」及「鏡像動作」之各自腦部活化情形

本研究將四個動作模式相互比較，統計結果發現，「動作心像」及「鏡像動作」(圖十五 a&c)之活化模式皆與「實際執行」之活化模式相似，並無顯著差異。此外，比較「動作觀察」與「實際執行」之腦部活化模式可看出，在大多數channel之活化皆是「實際執行」較「動作觀察」高，且在M1(Ch.13&Ch.14&Ch.15&Ch.16)及右側PMC(Ch.9&Ch.10&Ch.11&Ch.12)之channel「實際執行」的活化持續時間較「動作觀察」久；經過統計分析後，確認執行「實際執行」時，右側M1(Ch.14)相較於「動作觀察」時顯著活化(圖十五b)。

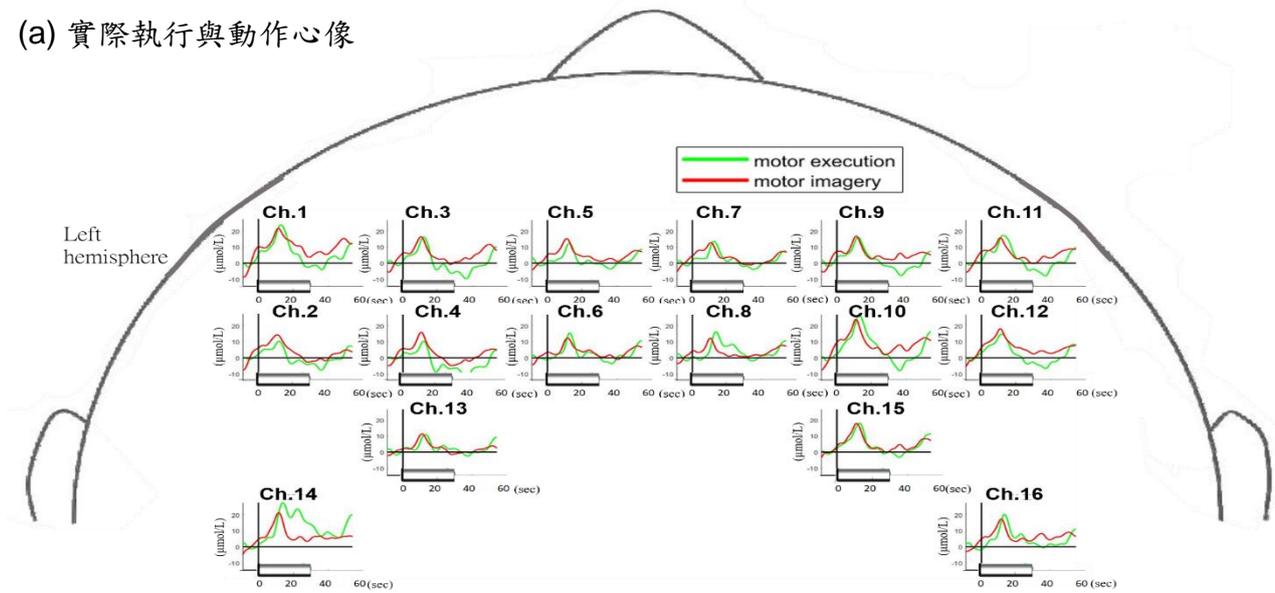
將「動作心像」與「鏡像動作」相互比較發現(圖十五e)，大多數channels之活化顯示「鏡像動作」持續活化時間較「動作心像」長；但經過統計分析後，確認執行「動作心像」與「鏡像動作」時活化模式相近，並無顯著差異。

將「動作觀察」與「鏡像動作」相互比較發現(圖十五f)，大部分channels之活化顯示「鏡像動作」較「動作觀察」之活化大；經過統計分析後，確認執行「鏡像動作」時，右側M1(Ch.16)相較於「動作觀察」時顯著活化。

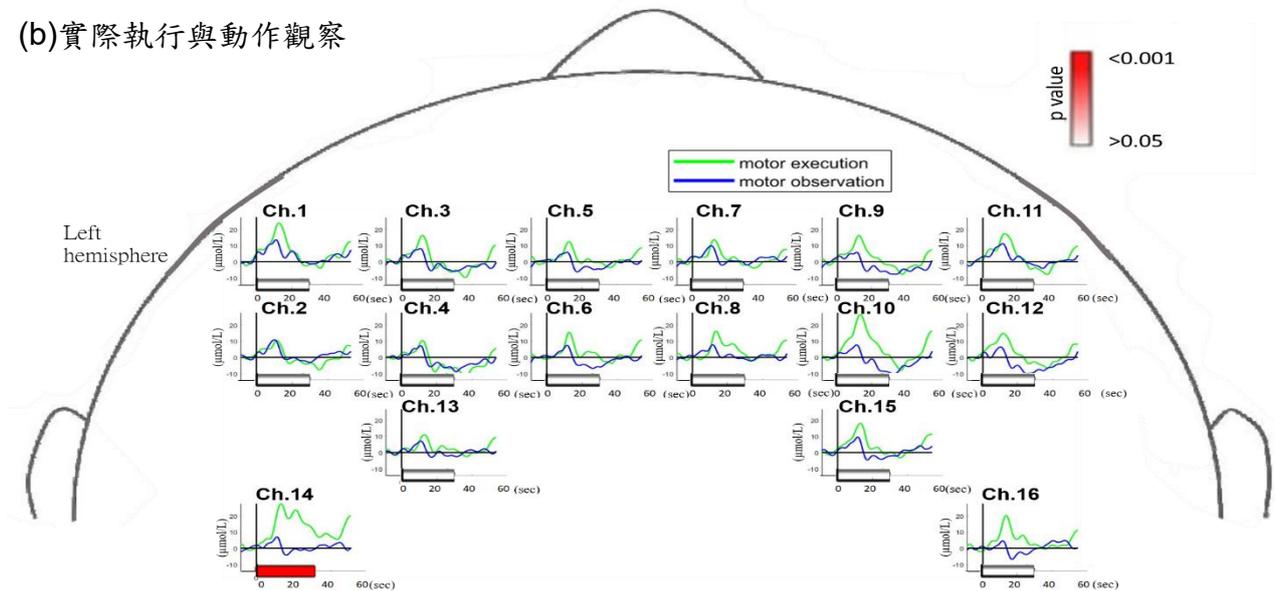
此外，比較「動作觀察」與「動作心像」之結果(圖十五d)，雖然大部分channels之活化顯示「動作心像」較「動作觀察」之活化大；但經過統計分析後，皆無達到統計顯著差異。

另外，雖然「動作觀察」與其他三種動作模式相比，在大多數channels 的活化程度較低(圖十五b、d、f)，但可以發現「動作觀察」與其他三種動作模式於左側PMC(Ch.2)的活化程度相當；且經過統計分析後，在雙側M1及雙側PMC皆未達到統計顯著差異。

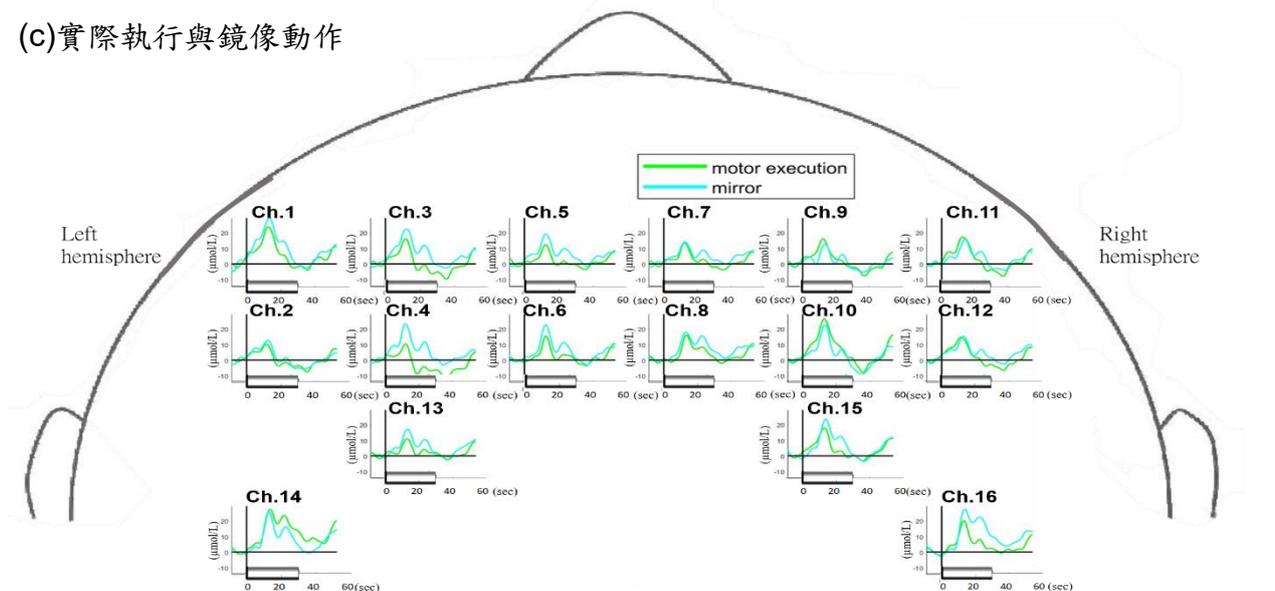
(a) 實際執行與動作心像



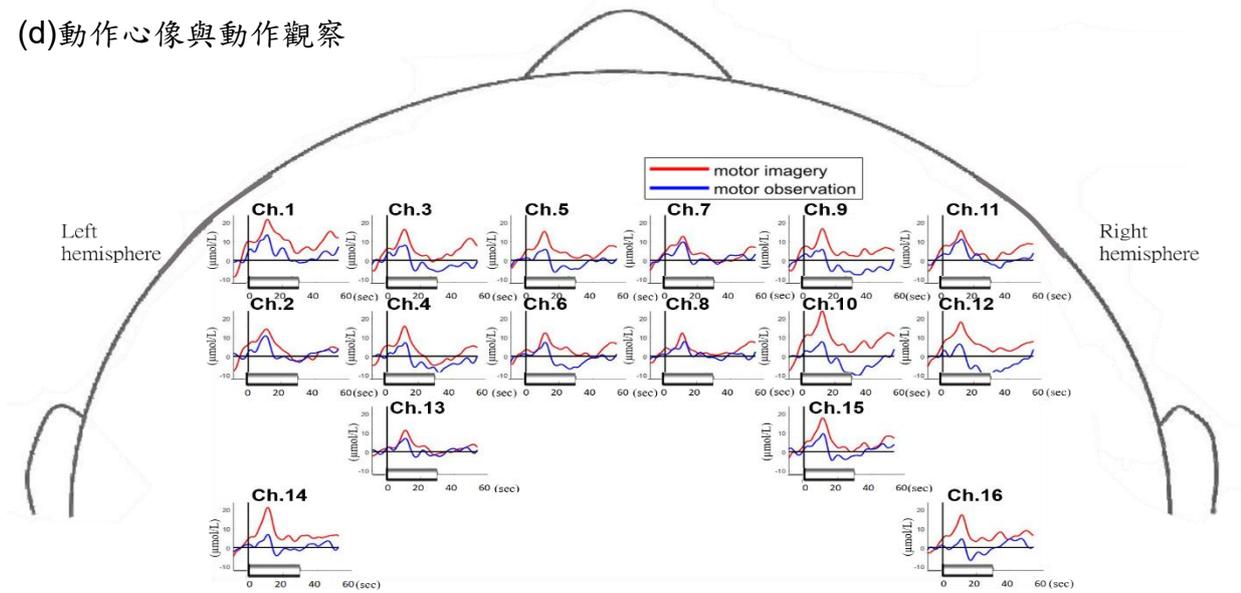
(b) 實際執行與動作觀察



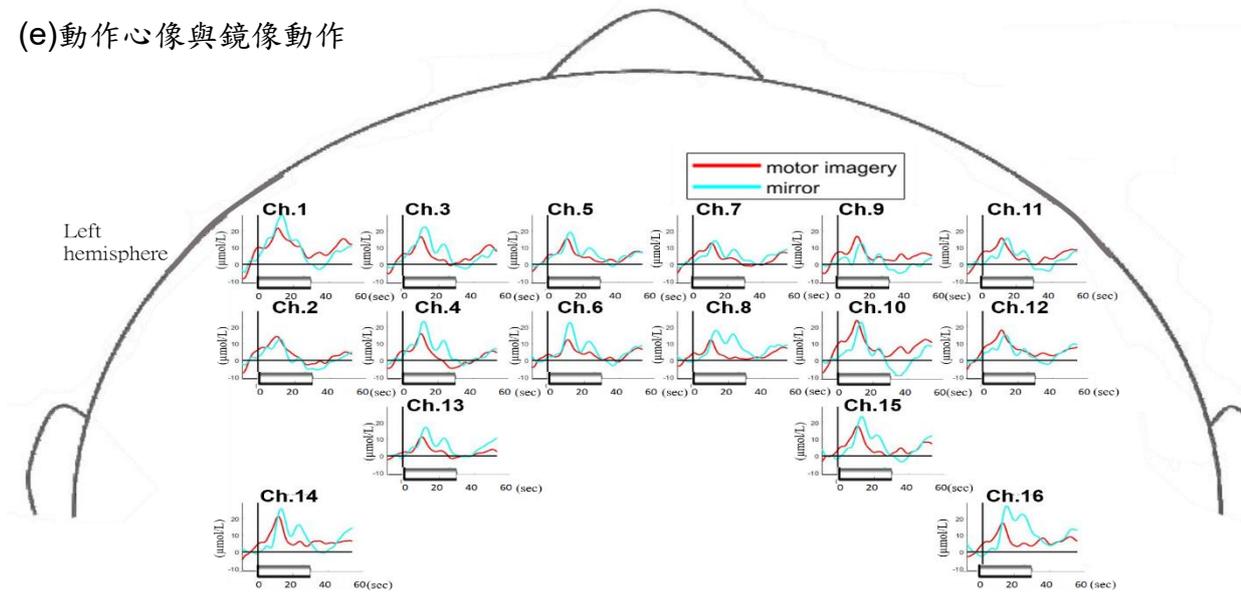
(c) 實際執行與鏡像動作



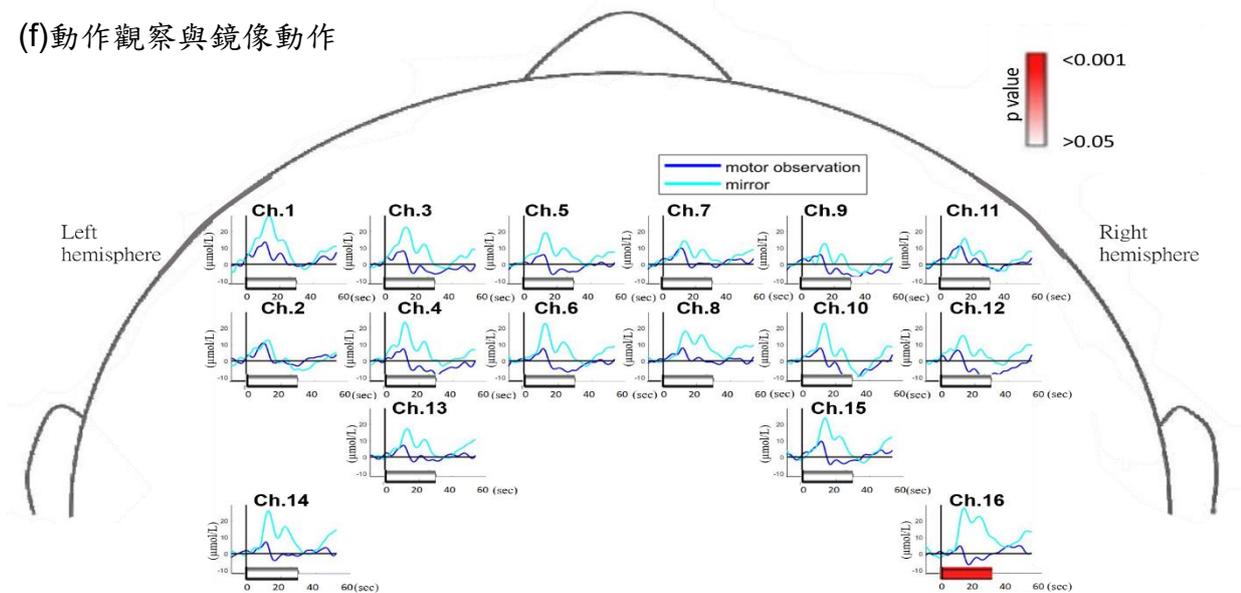
(d)動作心像與動作觀察



(e)動作心像與鏡像動作



(f)動作觀察與鏡像動作



圖十五、不同動作模式間之相互比較。(a)比較實際執行(ME)與動作心像(MI)；(b)比較實際執行(ME)和動作觀察(MO)；(c)比較實際執行(ME)和鏡像動作(MVF)；(d)比較動作心

像(MI)和動作觀察(MO)；(e)比較動作心像(MI)和鏡像動作(MVF)；(f)比較動作觀察(MO)和鏡像動作(MVF)。將執行不同動作模式時的 Hbdiff 計算，channel 下方條帶代表其在任務開始後 30 秒後的活化是否達到統計顯著。(x 軸：時間(秒)；y 軸：濃度變化($\mu\text{mol/L}$))

三、討論

本研究為目前第一篇同時探討上肢多關節功能性動作「實際執行」、「動作心像」、「動作觀察」、及「鏡像動作」執行當下之腦部活化情形。

本研究結果發現，實際執行時，其雙側(尤其是動作對側)之 M1 有顯著活化情形，此現象為神經動作控制中之側化現象(Lateralization)，意即單側動作執行有主要由對側大腦控制，少部分由動作同側大腦控制(Tortora & Derrickson, 2014)。主要動作皮質區 M1 負責傳輸動作指令，將訊號經由脊髓下傳至周邊肢體執行。本研究執行「實際執行」時，受試者的右側肩膀、手臂、手指皆有實際動作，故活化對側(左側)M1。而「鏡像動作」時，受試者實際動作為左側，故活化對側(右側)M1；然而，透過觀察鏡中反射，也能夠活化未動作右手的對側(左側)M1 腦區也成功活化。另外，執行「動作心像」時，受試者未有實際動作，卻也能透過想像右手正在動作而成功活化對側(左側) M1 腦區。

除了對側 M1 活化之外，執行「實際執行」時，右側之 SMA 呈現顯著活化，SMA 主司動作計畫與整合，與動作序列學習有關，為大腦皮質中重要的聯合區域(association area)(Shima & Tanji, 1998; Matsuzaka, et al., 1992)。本研究發現執行「動作心像」、「鏡像動作」時，右側上肢並無實際執行動作，但其雙側 SMA 皆呈現顯著活化。而「鏡像動作」時，左側 SMA 活化較其他腦區顯著(t 值較高)，意即視覺鏡像回饋確實可引發非動作側之腦區活化。

除此之外，執行「實際執行」時，雙側之 PMC 有顯著活化情形，前運動皮質 PMC 與動作預備及控制有關，並接收來自頂葉皮質區(posterior parietal cortex)的感覺輸入(Yun Kwan Kim, et al., 2018)。除此之外，PMC 也是鏡像神經元系統的一員(Rizzolatti and Craighero, 2004)。本研究執行「動作心像」時，雙側 PMC 皆呈現顯著活化，且右側 PMC 活化達到顯著的腦區較左側多，意即透過想像可讓想像動作側之腦區模擬及產生預備動作之效果。另外，執行「鏡像動作」時，雙側 PMC 皆呈現顯著活化，意即這種需要結合肢體動作與視覺感官的動作模式可能會讓此腦區接收來自其他腦區的資訊。

本研究另外探討執行四種動作模式時之腦部活化並兩兩相比較，結果發現，執行「動作心像」及「鏡像動作」時，整體活化情形以及模式與「實際執行」相近，皆未達到顯著差異；意即不需要實際執行動作，也可透過「動作心像」及「鏡像動作」的方式達到與「實際執行」相近的腦部活化狀態。

而「動作心像」與「鏡像動作」的腦部活化模式雖皆與「實際執行」相近，且經統計分析可發現兩者並未達到顯著差異。但觀察圖形後可發現，執行「鏡像動作」之雙側 M1 活化之持續時間較「動作心像」長，與「實際執行」時的模式更為接近。而這項差異應為執行「鏡像動作」時，受試者有實際動作，因此在負責動作執行 M1 的腦區活化程度與同樣有實際動作之「實際執行」相近，較無實際動作之「動作心像」高。

此外，相較於「實際執行」、「動作心像」與「鏡像動作」，「動作觀察」被發現相對於其他動作模式之腦部活化較小，顯示此種動作模式較不利於誘發腦部活化。

本研究資料發現，執行所有任務時，任務時間長達 60 秒，但大部分 channel 之活化皆於

任務開始後前 30 秒內較為明顯，超過任務開始後 30 秒，腦部活化皆趨向回到基準值。此現象可能與動作任務難易度有關。對於本研究收取之年輕族群受試者(20-30 歲)，重複性單手前伸動作難度不高，重複幾次後即不須注意力控制，且轉向偏自動化的動作。因此於本實驗結果發現僅於實驗初期有顯著活化。

本研究結果可應用於臨床上肢動作復健治療中。本研究結果發現「鏡像動作」、「動作心像」皆可誘發出與「實際執行」相近之腦部活化模式。然而，「鏡像動作」的顯著活化程度大於「動作心像」(「鏡像動作」t 值為 3.82 大於「動作心像」之 t 值 2.88)。故在臨床治療中，若患者尚有一側可動肢體，推薦使用「鏡像動作」作為治療；若患者雙側上肢皆難以動作，建議使用「動作心像」作為替代之動作模式。

肆、結論與應用

- 一、執行多關節上肢功能性前伸動作時，執行實際執行可活化雙側 M1、雙側 PMC 以及右側 SMA。
- 二、執行多關節上肢功能性動作時，實際執行、動作心像、鏡像動作三者活化趨勢相似，其中實際執行、鏡像動作及動作心像之活化程度皆大於動作觀察。
- 三、執行多關節上肢功能性動作時，鏡像動作能比動作心像誘發出之活化程度較大，可應用在臨床上肢復健治療。

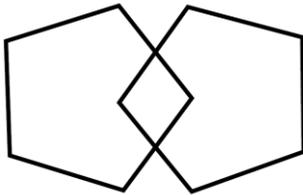
伍、參考資料(文獻)及其他

- Abbruzzese, G., Avanzino, L., Marchese, R., & Pelosin, E. (2015). Action Observation and Motor Imagery: Innovative Cognitive Tools in the Rehabilitation of Parkinson's Disease. *Parkinsons Dis.* 2015, 124214. <https://doi.org/10.1155/2015/124214>
- An, J., Jin, S. H., Lee, S. H., Jang, G., Abibullaev, B., Lee, H., & Moon, J. I. (2013). Cortical activation pattern for grasping during observation, imagery, execution, FES, and observation-FES integrated BCI: an fNIRS pilot study. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2013, 6345-6348. doi:10.1109/EMBC.2013.6611005
- Bai, Z., Zhang, J., Zhang, Z., Shu, T., & Niu, W. 2019. Comparison Between Movement-Based and Task-Based Mirror Therapies on Improving Upper Limb Functions in Patients With Stroke: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Front. Neurol.* 10, 288. doi:10.3389/fneur.2019.00288
- Cacchio, A., De Blasis, E., De Blasis, V., Santilli, V., & Spacca, G. (2009). Mirror therapy in complex regional pain syndrome type 1 of the upper limb in stroke patients. *Neurorehabil. Neural. Repair.* 23(8), 792-799. <https://doi.org/10.1177/1545968309335977>
- Ceravolo, M.G. (2016). Action Observation as a Tool for Upper Limb Recovery. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*, 28(1-2), 144-150. doi:<https://hrcak.srce.hr/file/240947>
- de Klerk, C. C., Johnson, M. H., & Southgate, V. (2015). An EEG study on the somatotopic organisation of sensorimotor cortex activation during action execution and observation in infancy. *Dev. Cogn. Neurosci.* 15, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.08.004>
- Eaves, D. L., Riach, M., Holmes, P. S., & Wright, D. J. (2016). Motor Imagery during Action Observation: A Brief Review of Evidence, Theory and Future Research Opportunities. *Front. Neurosci.* 10: 514. doi:10.3389/fnins.2016.00514
- Filimon, F., Nelson, J. D., Hagler, D. J., & Sereno, M. I. (2007). Human cortical representations for reaching: mirror neurons for execution, observation, and imagery. *Neuroimage.* 37(4), 1315-1328. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.06.008
- Gazzola, V., & Keysers, C. (2009). The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cereb. Cortex.* 19(6), 1239-1255. doi:10.1093/cercor/bhn181
- Jastorff, J., Begliomini, C., Fabbri-Destro, M., Rizzolatti, G., & Orban, G. A. (2010). Coding observed motor acts: different organizational principles in the parietal and premotor cortex of humans. *J Neurophysiol.* 104(1), 128-140. doi:10.1152/jn.00254.2010
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia.* 33(11), 1419-1432. doi:[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00073-c](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00073-c)
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage.* 14(1 Pt 2), S103-S109. doi: 10.1006/nimg.2001.0832
- Mateo, S., Di Rienzo, F., Bergeron, V., Guillot, A., Collet, C., & Rode, G. (2015). Motor imagery reinforces brain compensation of reach-to-grasp movement after cervical

- spinal cord injury. *Front. Behav. Neurosci.* 9, 234.
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00234>
- Matsuzaka, Y., Aizawa, H., & Tanji, J. (1992). A motor area rostral to the supplementary motor area (presupplementary motor area) in the monkey: neuronal activity during a learned motor task. *J. Neurophysiol.* 68(3), 653-662.
<https://doi.org/10.1152/jn.1992.68.3.653>
- Mizuguchi, N., & Kanosue, K. (2017). Changes in brain activity during action observation and motor imagery: Their relationship with motor learning. *Prog. Brain Res.* 189–204.
<https://doi:10.1016/bs.pbr.2017.08.008>
- Mulder, T. (2007). Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *J. Neural. Transm.* 114(10), 1265-1278. doi:<https://doi.org/10.1007/s00702-007-0763-z>
- Murata, Y., Higo, N., Hayashi, T., Nishimura, Y., Sugiyama, Y., Oishi, T., Tsukada, H., Isa, T., & Onoe, H. (2015). Temporal plasticity involved in recovery from manual dexterity deficit after motor cortex lesion in macaque monkeys. *J. Neurosci.* 35(1), 84-95.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1737-14.2015>
- Ramachandran, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc. Biol. Sci.* 263(1369), 377-386.
doi:10.1098/rspb.1996.0058
- Shima K., & Tanji, J. (1998). Both supplementary and presupplementary motor areas are crucial for the temporal organization of multiple movements. *J. Neurophysiol.* 80, 3247-3260.
- Sitaram, R., Zhang, H., Guan, C., Thulasidas, M., Hoshi, Y., Ishikawa, A., *et al.* (2007). Temporal classification of multichannel near-infrared spectroscopy signals of motor imagery for developing a brain-computer interface. *Neuroimage.* 34: 1416-1427.
- Szameitat, A. J., Shen, S., & Sterr, A. (2007). Motor imagery of complex everyday movements. An fMRI study. *Neuroimage.* 34(2), 702-713.
doi:10.1016/j.neuroimage.2006.09.033
- Thieme, H., Morkisch, N., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., Borgetto, B., & Dohle, C. (2018). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 7(7), CD008449. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008449.pub3>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2014): Principles of Anatomy and Physiology. 14th ed., John Wiley & Sons, Inc. Chap.12.
- Yun Kwan Kim , Eunhee Park , Ahee Lee , Chang-Hwan Im , Yun-Hee Kim(2018). Changes in network connectivity during motor imagery and execution. *PLoS One.* 3(1), e0190715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190715>
- Zhang, Q., Zhang, P., Song, L., Yang, Y., Yuan, S., Chen, Y., Sun, S., & Bai, X. (2019). Brain Activation of Elite Race Walkers in Action Observation, Motor Imagery, and Motor Execution Tasks: A Pilot Study. *Front Hum Neurosci,* 13, 80.

附錄一

簡短智能測驗(Mini-Mental State Examination; MMSE)

錯	對	NA	
0	1	9	1) 今年是哪一年?
0	1	9	2) 現在是什麼季節?
0	1	9	3) 今天是幾號?
0	1	9	4) 今天是禮拜幾?
0	1	9	5) 現在是那一個月份?
0	1	9	6) 對岸是大陸這裡是哪?
0	1	9	7) 我們現在是在那一個縣、市?
0	1	9	8) 這間大學的名稱?
0	1	9	9) 現在我們是在幾樓?
0	1	9	10) 這裡是什麼學系?
0	1	9	11) 藍色 請重複這三個名稱，按第一次複述結果計分，
0	1	9	鑰匙 最多只能重複練習三次；練習次數_____
0	1	9	火車
0	1	9	12) 請從 100 開始連續減 7，一直減 7 直到我說停為止。(每減對一次得一分)
0	1	9	93_____；86_____；79_____；72_____； 65_____；
0	1	9	13) 藍色 (約五分鐘以後，請說出剛才請你記住的三樣東西，每對一項得分，不論順序)
0	1	9	14) 鑰匙
0	1	9	15) 火車
0	1	9	16) (拿出手錶)這是什麼?
0	1	9	17) (拿出鉛筆)這是什麼?
0	1	9	18) 請跟我念一句話 『白紙真正寫黑字』
0	1	9	19) 請念一遍並做做看 『請閉上眼睛』
0	1	9	20) 請用左/右手(非利手)拿這張紙(三步驟指令，每對一步驟得一分)
0	1	9	把它折對半
0	1	9	然後置於大腿上面
0	1	9	21) 請在紙上寫一句語意完整的句子。(含主詞動詞且語意完整的句子)
0	1	9	22) 這裡有一個圖形，請在旁邊畫出一個相同的圖形。 
總分			

[圈選 9 的部分不予計入，並說明無法施測知原因]；總分:30 分

附錄一
IRB 審核證明

正本

國立臺灣大學醫學院附設醫院 函

機關地址：100225 台北市中山南路7號
聯絡人：林怡君
聯絡電話：(02)2312-3456 分機 66609

受文者：

發文日期：中華民國110年4月1日
發文字號：校附醫倫字第1103701501號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：

主旨：有關台端所主持之「探討實際執行、動作心像、動作觀察與鏡像動作時之腦部活化情形/The Brain Activation during Motor Execution, Motor Imagery, Action Observation, and Mirror Visual Feedback in Healthy Adults」（本院案號：202102037RINA）學術臨床試驗/研究案，符合簡易審查條件及研究倫理規範，通過本院A研究倫理委員會審查，同意核備，並提第142次會議報備追認，請查照。

說明：

- 一、本臨床試驗/研究核准之有效期限自發文日起1年，計畫主持人應於許可到期日前10週至前6週向研究倫理委員會提出持續審查申請，並經審查同意後，方可繼續執行，且於填報持續審查/結案報告前須先至研究倫理委員會PTMS系統登錄第一位個案收案時間。
- 二、本臨床試驗/研究計畫若需變更、暫停執行、中途終止或結束時，主持人應向本會提出審查申請。計畫主持人並須依國內相關法令及本院規定通報嚴重不良反應事件及非預期問題。
- 三、本院研究倫理委員會同意之文件版本日期如下：
 - (一)臨床試驗/研究計畫書：Version 2, 2021/02/22。
 - (二)中文摘要：Version: 1.0, 2021.02.09。

(三)受試者說明及同意書：Version 3, 2021/03/18。

(四)招募文宣：Version: 2.0, 2021/03/15。

(五)問卷：Version 2, 2021.02.22。

四、本院研究倫理委員會的運作符合優良臨床試驗準則及政府相關法律規章。

五、依據赫爾辛基宣言、世界衛生組織及International Committee of Medical Journal Editors(ICMJE)的規定，所有”臨床試驗案”應於公開網站登錄。且ICMJE規定，完成登錄者才能發表研究結果。

(一)計畫主持人請於招募第一位受試者前，登入美國National Institutes of Health網站<https://register.clinicaltrials.gov>，使用本院專用帳號，進行上傳登錄。(登錄步驟指引請見本院醫學研究部臨床試驗計畫案登錄指引網址：<https://www.ntuh.gov.tw/NCTRC/Fpage.action?muid=2935&fid=2761>)

(二)本院已向美國 National Institutes of Health(NIH) ClinicalTrials.gov網站申請本院專用帳號，供本院計畫主持人(PI)登錄所主持之臨床試驗研究計畫，登入網頁之帳號及密碼如下列：

1、Organizatic

2、User Name

3、Password：

六、計畫主持人及研究團隊應遵循之相關研究倫理規範，請參閱研究倫理委員會網頁<https://www.ntuh.gov.tw/RECO>，並遵照執行；臨床試驗/研究執行期間，請確實依據「人體研究法」之相關規定辦理；並請計畫主持人保存所有文件備查。

七、凡執行本院研究倫理委員會(REC)通過之臨床試驗或研究案，請研究人員在邀請可能參加試驗/研究之病友、家屬或民眾時，先分發給予「臺大醫院臨床試驗/研究參與者須

知」單張，並依單張內容詳細說明參加本院之試驗或研究將受到之保護，上述給予單張及知情同意之過程請自行記錄。

八、前述提及之「嚴重不良事件及非預期問題通報須知」、「臨床研究重要訊息通知單」、「台大醫院臨床試驗/研究參與者須知」及「受試者知情同意過程記錄格式」表單請至本院研究倫理委員會網頁下載，並請依計畫需要辦理應辦事宜。

正本：國立臺灣大學醫學院物理治療學系暨研究所劉宴齊助理教授
副本：研究倫理委員會行政中心



院長 吳明賢

【評語】 130011

1. 實驗假說清楚，利用 fNIRS 以科學方式來驗證其假說。
2. 實驗結果具有臨床應用價值。
3. Presentation 時邏輯清楚，表達清晰，能確切的回答評審的相關問題。
4. 建議進一步解釋為何在動作心像時，SMA 的活性表現是在 motor onset 之後才發生。另外在動作觀察時，可以同步紀錄 visual cortex 或是 somatosensory cortex 的相關活性。
5. 統計結果的部分，除了原始波形，建議可以針對測量的結果，依照不同的情境，以表格或 Bar 圖來顯示。
6. 優點：
 - (1) 作者的研究動機很清楚，採用可攜帶式的 fNIRs 為主要研究工具能充分發揮其優點，能讓參與者一邊做動作，一邊紀錄腦區 HbO/HbR 的變化。
 - (2) 本研究的書寫品質相當良好，背景文獻探討脈絡分明，研究動機和工具原理都說明得很清楚；研究方法步驟具體、輔助的示意圖很清楚，參考文獻的引用格式適切。

(3) 本研究結果採用的統計方法適切，資料圖表的設計簡單易懂，整體的數據分析也足以支持結論。

(4) 除了增進基礎知識外，研究成果亦能運用在腦中風患者的臨床神經復健訓練，對於相關領域有貢獻。