

(一)摘要

中風為全球主要的致死與致殘因素之一，其發生率、併發症及相關死亡率均呈現上升趨勢。眾多中風後遺症中，偏癱最為常見，患者通常表現出單側肢體無力或感覺障礙，進而顯著影響其運動與感覺功能，亦對患者及照護者的生活品質造成重大影響。

傳統中風復健主要依賴功能性活動訓練，然而，此類方法在促進整體運動功能恢復方面的成效有限。因此，近年來發展出任務導向復健（Task-Oriented Rehabilitation），其核心理念為透過針對特定部位與功能目標的重複訓練，以提升神經可塑性並促進運動功能恢復。

鏡像治療（Mirror Therapy, MT）已被證實能有效促進上肢神經復健，其機制主要藉由視覺錯覺激發大腦神經可塑性，以改善患側肢體之運動功能。另一方面，虛擬實境（Virtual Reality, VR）技術近年來廣泛應用於復健領域，該技術可將鏡像治療與任務導向復健相結合，構建沉浸式且可控的虛擬環境，以增強患者的參與度並提升復健效果。

此外，目標導向注意力訓練（Goal-Oriented Attention Training）是一種結合認知與運動訓練的方法，其核心概念為在完成特定運動任務的同時，引導患者專注於患側手部之認知訓練，以進一步增強神經可塑性。為了監測患者在訓練過程中的注意力分配與神經活動變化，本研究採用腦電圖（Electroencephalography, EEG）進行即時監測，透過量測大腦皮質電訊號評估患者之運動功能及損傷程度，並作為復健成效之客觀評估指標。

本研究旨在整合鏡像治療、任務導向復健、目標導向注意力訓練與虛擬實境技術，建構一套多元整合之中風復健系統。同時，透過腦電圖訊號分析與傳統 Fugl-Meyer 運動量表（Fugl-Meyer Assessment, FMA）進行療效評估，以探討此復健模式對於運動功能恢復與注意力訓練成效之影響。期望本研究能提供完整且有效之中風復健方案，進一步提升患者之復健效果與生活品質。

(二)研究動機與研究問題

2-1 研究動機

根據 2019 年全球疾病負擔（Global Burden of Disease, GBD）數據統計，中風為全球第二大死因，亦為導致殘疾的第三大主因，且 1990 年至 2019 年間，中風新發病例數增加 70.0%，中風所導致的失能調整生命年（Disability Adjusted Life Years, DALYs）則上升 32.0% [1]，顯示中風具有高發病率、高死亡率與高致殘率的特性，並對全球公共衛生構成重大挑戰。運動功能障礙為中風後最常見的併發症之一，其中單側肢體癱瘓會導致伸手、抓握與操控能力受損，嚴重影響日常生活功能與生活品質 [2]。偏癱的成因主要來自於單側大腦神經細胞受損，導致神經網路失衡，使健側腦區過度活化，而患側腦區則受強烈抑制 [3]，因此，大多數中風復健策略皆致力於促進神經可塑性，以活化尚未受損的神經網路，使其建立新的連結，進而恢復運動功能。近年來已有許多創新動作復健療法，包括侷限誘發療法（Constraint-Induced Therapy, CIT）、雙側上肢治療（Bilateral Arm Training, BAT）、機械療法（Robotic Therapy, RT）、鏡像治療（Mirror Therapy, MT）等療法皆顯示出良好的復健效果，其中鏡像治療已被證實可有效促進中風後的運動功能恢復。

鏡像治療旨在透過視覺錯覺原理來促進受損腦部神經細胞的重新連結和運動功能的恢復。在鏡像治療中，患者被要求將患側手放在鏡箱中，而健側手放在鏡箱外。當健側手進行簡單復健動作時，透過鏡子的反射，患者看到的健側手運動似乎發生在患側手上，這種視覺錯覺被稱做鏡像視覺回饋（Mirror Visual Feedback, MVF）。鏡像視覺回饋激活大腦中的鏡像神經元，這些神經元負責將視覺訊息轉換為運動執行的信號，進而活化運動皮質區，從而實現神經可塑性，進一步促使中風患者的運動能力改善[5]。然而，該治療手法本身容易受外界干擾，若鏡子本身存在瑕疵或不乾淨，將大幅降低鏡像治療的效果。此外，受限於鏡面大小，患者僅能進行小幅

運動，進而降低了鏡像治療的效益。此外，鏡像視覺回饋（Mirror Visual Feedback, MVF）可顯著增加與注意力分配與認知控制相關的腦區（如背外側前額葉皮質、後扣帶回、S1 和 S2、楔前葉）的神經活動[6]。若利用鏡像視覺回饋透過增強認知滲透至動作控制的優勢，來影響運動神經網絡及能夠增加患者大腦的功能性活化，也就是說讓患者在復健時有意的將注意力放在患側，即可達成目標導向注意力增加大腦功能性活化。

虛擬實境是一個能夠提供多感官刺激的環境，包含觸覺、聽覺、視覺等。目前也已有研究證實多感官刺激對於中風上肢復健有正向的影響[7]。且藉由互動式體驗能夠讓患者對於復健治療產生興趣，提升其參與復健治療的意願[8]。Young-Rim Paik 等學者[9]的研究指出，比起接受了簡易鏡像治療的個案表現，接受了任務導向型鏡像治療的個案表現較好，僅接受簡易鏡像治療的患者無法維持治療療效，但接受任務導向型鏡像治療的患者可持續保持復健的療效。而虛擬實境的介入可使患者覺得更有趣且提高復健意願，消除環境的不確定因素與節省人事成本，同時也可以達到認知和知覺訓練的目的[10]，簡而言之，結合虛擬實境的鏡像治療可以使中風偏癱有更好的復健效果。

此復健系統評估方式除了使用多種中風後評估量表作為中風患者手部功能檢測工具，更利用腦電圖對於受試者進行大腦不同腦區活化的探討。中風後評估量表是臨床上常見用來檢測中風後上肢功能改善的依據。而腦電圖是一種非侵入性腦機介面工具，用於記錄大腦的即時電訊號活動，透過貼在頭皮上的電極，可以更具體地觀察大腦活動的動態變化[9]。

2-2 研究問題

本計畫希望透過**虛擬實境**當作實驗介入的環境，整合**傳統鏡像治療與目標注意力導向以及任務導向的優點**，並改善兩者空間受限以及容易受外界干擾而無法集中附件等缺點，提供新穎且全面的復健方式，並透過多種中風後上肢功能評估量表，分析此系統對於中風患者上肢功能改善的情形，更藉由文獻回顧整理鏡像治療與音樂治療對於腦電圖著重的腦區與波段，利用相關軟體分析，觀察此系統對於特定腦區的影響以及分析兩腦間的活動差異，藉此探討該新型復健系統對於中風偏癱患者上肢復健治療的影響，以及此系統對於特定腦區的激活情況與兩腦間的活化差異。

(三)文獻回顧與探討

3-1 鏡像治療結合目標導向注意力

鏡像治療的核心機制在於透過動作的視覺回饋來促進神經重組。此療法利用鏡像錯覺（mirror illusion）來激發大腦的神經可塑性，進而活化與運動控制相關的腦區，減少同側與對側大腦半球之間的運動皮質活化不平衡，從而促進運動功能的恢復。

2014 年，Frederik J. A. Deconinck, PhD 等學者做了系統性回顧 [6]。結果顯示，鏡像視覺回饋（MVF）對運動網絡具有顯著影響，主要透過增強動作控制中的認知滲透（cognitive penetration）。**MVF 能夠提高與注意力分配及認知控制相關腦區的活動**，包括背外側前額葉皮質（dorsolateral prefrontal cortex）、後扣帶皮質（posterior cingulate cortex）、初級及次級體感覺皮質（S1 和 S2）、楔前葉（precuneus）等。此外，除了上顳回（superior temporal gyrus）與運動前區（premotor cortex）的激活外，目前僅有有限證據支持 MVF 直接促進鏡像神經元系統的活動。研究亦發現 MVF 可增加投射至「未訓練」手/手臂的同側初級運動皮質（M1）的興奮性，並且存在來自對側 M1 至未訓練/受影響手部的同側投射。

2024 年，等學者評估鏡像療法（MT）、認知治療運動（CTE）結合任務導向訓練對急性中風患者患肢的功能、敏感性、範圍和疼痛的有效性[12]。招募了 120 名急性中風患者樣本，符合特定的納入和排除標準。他們被隨機分為三組：一個僅接受任務導向訓練（TOT）的對照組和兩組接受 MT 或 CTE 的組別，兩人皆結合 TOT。使用 Fugl-Meyer 上肢評估（FMA-UE）量表評估受影響上肢的整體功能，結果顯示對照組與兩個實驗組在所有變數的差

異分數均有顯著或非常顯著的差異。MT 透過雙側運動與視覺回饋，提高注意力與大腦活化，促進神經可塑性；CTE 強調認知與動作整合，有助於運動學習與精確動作控制，也就是仰賴患者在操作時投入專注以及注意力，以強化復健效果。

由此可知，鏡像治療結合目標導向注意力（如 CTE）能夠透過**神經可塑性、認知控制與視覺回饋**三大機制增強運動功能恢復。這種方法不僅改善中風患者的動作控制與學習能力，也能透過目標導向注意力的強化，促進大腦運動皮質與認知區域的協同運作，使運動康復效果更為顯著。

3-2 虛擬實境結合鏡像治療/目標導向注意力

目前已有許多研究整合虛擬實境（Virtual Reality, VR）與傳統治療，以提升中風患者的運動功能並達到正向的復健效果，特別是在虛擬實境結合鏡像治療（Mirror Therapy, MT）或目標導向注意力（Goal-directed attention）方面的應用。

2021 年，Che-Wei Lin 等學者提出虛擬實境鏡像治療系統（VR Mirror Therapy, VRMT），並對其在中風患者上肢復健中的效應進行評估[13]。該研究招募 30 位年輕健康受試者與 18 位輕度至重度偏癱的中風患者，並將其隨機分配至傳統鏡像治療組與 VRMT 組，分別接受傳統鏡像治療與虛擬實境鏡像治療，然後透過 PHUA（精確捏握能力測試）與傅格－梅爾評估量表（Fugl-Meyer Assessment, FMA）進行療效評估。在 PHUA 測試中，相較於傳統鏡像治療組，VRMT 組的年輕健康受試者在精確捏握能力方面有顯著提升；而在 FMA 測試中，相較於傳統鏡像治療的中風患者，VRMT 組的中風患者在上肢運動功能方面亦顯示出顯著的改善。此研究結果表明，**VRMT 系統能有效促進手部感覺運動表現，並對中風患者的運動功能恢復具有潛在的正面影響**，進一步支持虛擬實境技術在神經復健領域的應用價值。

2018 年，Bor-Shing Lin 等學者開發了一個結合動作追蹤裝置（MTD）、腦機介面（BCI）注意力監測腦電圖（EEG）裝置以及虛擬實境（VR）互動遊戲的中風後上肢復健系統[14]。該研究招募 15 位年齡在 30 至 70 歲之間的中風患者，處於第三至第五期 Brunnstrom 階段，且能夠部分活動前臂和手腕，將他們隨機分配到兩個實驗組（B 和 C）之一以及大小相等（N = 5）的對照組（A），B 組患者使用 MTD 玩 VR 遊戲，而 C 組患者同時使用 MTD 和 EEG 設備玩 VR 遊戲。所有患者都執行傳統前臂復健計畫中的對角線運動（內外）、旋前和旋後運動。結果顯示，使用 MTD 與 EEG 注意力回饋的組別（C 組）在 VR 遊戲表現、注意力水準及運動功能改善之間具有顯著相關性，且其運動功能提升幅度高於其他組別。因此，該系統可能有助於提升患者的注意力並促進上肢運動功能恢復，具有中風復健干預工具的潛力。

綜合上述兩研究可知，**虛擬實境結合鏡像治療或注意力導向相較於傳統治療更能改善中風後感覺運動功能**，因此，選擇虛擬實境作為介入可對中風後運動功能提供正向的效果。

3-3 任務導向訓練對中風復健之影響

任務導向訓練（Task-Oriented Training, TOT）是一種透過功能性任務來訓練患者運動能力的方法，例如日常生活中常見的抓取物品、轉動把手等動作。該訓練模式涉及人體的骨骼肌肉系統、知覺系統、認知及神經系統，強調透過實際功能性動作的練習來促進神經可塑性與運動學習。任務導向訓練的優勢在於能根據患者的運動損傷程度進行個別化的任務難度調整，並透過多樣化的功能性動作訓練，使患者能夠發展出最適合自身的動作模式，進而將這些動作概括至其他類似的日常活動中。與傳統的力量訓練或基於單一動作模式的復健方法相比，任務導向訓練能更有效地提升患者在日常生活中的活動能力，使其更快地恢復自主行動的能力，從而增強生活品質與獨立性。

Young-Rim Paik 等學者[9]的研究對 36 位受試者進行隨機交叉試驗，將其分為簡單動作組與任務導向組，以鏡像治療進行上肢復健。簡單動作組的訓練內容包括前臂旋前旋後、手腕屈伸、手指屈伸、手指數數與對掌等基本動作；而任務導向組則進行更貼近日常生活的功

能性任務，如抓放球、捏鉗子、使用噴霧瓶、揉麵團、捏起硬幣、使用湯勺、提起罐子與用毛巾擦拭等。研究透過三種操作測驗（Box Block Test、Cube Carry Test、Card Turning Test）與 Fugl-Meyer 運動量表進行評估，結果顯示，任務導向組在運動恢復方面的成效顯著優於簡單動作組，且復健效果可維持較長時間。此研究結果支持**任務導向型鏡像治療在促進中風患者上肢功能恢復方面的有效性**，並顯示相較於單純的重複性動作訓練，功能性任務的應用能夠提供更高的動作學習與實際生活應用價值。

3-4 腦電圖評估中風患者運動功能的關聯以及注意力的回饋

腦電訊號可依據頻率分為不同的頻段，其中 Mu 波通常出現在 8 至 13 Hz 的頻率範圍內，主要在運動皮質區域中觀察到。Mu 波在休息狀態下較為明顯，當個體執行、想像或觀察他人進行運動時，Mu 波會被抑制，此現象稱為事件相關去同步化（Event-Related Desynchronization, ERD），此現象被認為與運動準備及運動執行的神經機制相關。而 Beta 波則位於 13 至 30 Hz 的頻率範圍內，在個體處於清醒狀態時最為活躍，特別是在進行認知、注意力集中及運動控制等活動時，Beta 波的強度通常會增加，反映大腦活動的興奮程度。因此，Mu 波與 Beta 波的變化可作為評估個體運動計畫、執行及專注程度的重要指標。

2012 年，Sea Hyun Bae 等學者探討了鏡像治療對腦中風患者上肢功能及腦電圖變化的影響 [15]。本研究共招募 20 名中風發作六個月內的患者，並將其隨機分配至對照組與鏡像治療組，以進行比較。對照組接受常規復健治療，而鏡像治療組則接受標準的鏡像治療方案。實驗介入時間為每次 30 分鐘，每週 5 次，持續 4 週。在治療前後，研究對受試者進行腦電圖（EEG）測量與手部功能測驗（Manual Function Test, MFT）評估。結果顯示，鏡像治療組於 C3、Cz 和 C4 腦區的 mu 波抑制均值分別為 -0.10、-0.11 和 -0.09，相較之下，對照組的相應數值分別為 -0.05、-0.04 和 -0.03。此外，MFT 測試結果顯示，對照組在治療後得分提升 1.10，而鏡像治療組則提升 4.70。上述結果表明，相較於傳統復健治療，鏡像治療能更顯著地激活 C3、Cz 和 C4 腦區，並在促進手部功能恢復方面具有更佳的效果。

2018 年，Bor-Shing Lin 等學者開發創新的中風復健系統，結合**動作追蹤裝置（MTD）、虛擬實境（VR）遊戲、以及腦電圖（EEG）設備**，以探討持續注意力水準對於上肢復健的影響[14]。若組 C（MTD-VR-EEG 組）患者的 TBR 連續 2 次超過閾值，遊戲將提供視覺與聽覺刺激，幫助患者重新集中注意力，直到 TBR 降至閾值以下。結果顯示，MTD-VR-EEG 組（C 組）在 Fugl-Meyer 上肢評估（FMA-UE）分數、擊中率（hit rate）與注意力表現方面均顯著優於僅使用 MTD 的 B 組及傳統復健的 A 組。此外，較高的注意力水準與較佳的 VR 遊戲表現之間存在顯著相關性，表明本系統可能透過提升注意力來促進運動功能的改善。其中的 C 組患者的表現品質是根據患者在訓練期間透過降低腦電圖回饋參數（TBR）來增強注意力的能力來評估的。如果患者在訓練期間能夠將其平均 TBR 降低至 1.5 以下，則認為訓練成功。此外，個體平均命中率與個別 TBR 相關，至於 TBR 值的計算是透過國際 10-20 系統，在 Cz 位置記錄腦電訊號，並以 A1 和 A2 作為接地與參考點，提取 Theta 波（4-7 Hz）與 Beta 波（13-18 Hz），利用快速傅立葉轉換（FFT）與帶通濾波器計算 $TBR = \text{Theta Power} / \text{Beta Power}$ 。

由此可知，中風後高頻 mu 波及低頻 beta 波的 ERD 程度都和運動損傷相關，且 TBR 值掌握患者在鏡像視覺回饋強度呈現負相關，此外，鏡像治療可活化 C3、Cz 和 C4 的腦區。因此，在腦電圖評估中應著重於分析 C3、Cz、C4 腦區及附近腦區的活化情形，並觀察高頻 mu 波及低頻 beta 波的 ERD 程度，以了解運動功能改善的情形。

3-5 小結研究方向

上述文獻回顧在復健方法方面分別指出了目標導向注意力結合鏡像治療、虛擬實境結合鏡像治療/目標導向注意力以及任務導向訓練方式的可行性與有效性，但尚未有研究將這些有助於

復健治療的部分結合，故在此研究計畫中希望整合上述方法不同方面之優點，開發出**虛擬實境鏡像治療於中風偏癱患者之目標導向注意力訓練**。同時上述回顧也探討了腦波圖對於中風患者運動功能或損傷評估的可行性，搭配傳統評估工具參考其評估可行性與準確性。

(四)研究方法及步驟

4-1 研究方法

本研究開發一套具有六個場景的虛擬實境復健系統，系統架構如圖 1 所示。使用者藉由配戴 Meta Quest II 的 VR 頭戴式裝置，搭配 Meta Quest II—Touch 控制器，在系統中與虛擬物件互動進行復健。為了客觀的評估此系統的有效性，本計畫將設計實驗對使用者進行腦電圖監測，在復健遊戲進行的同時，觀測大腦特定腦區的活化機制與兩腦間的活動差異。

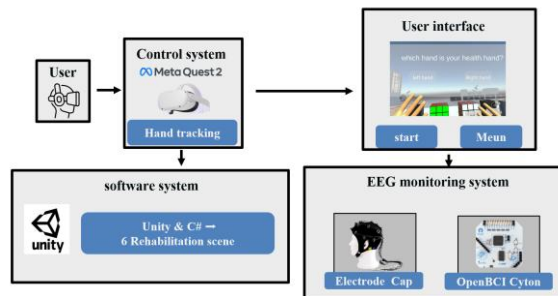


圖 1 系統架構圖

i. 硬體架構

1. 操作工具

- Meta Quest II - VR 頭戴式裝置(圖 2)：由 Meta 公司開發製造的虛擬實境裝置，VR 頭戴式裝置雙眼皆搭載快速切換液晶顯示器，提供 1832 x 1920 解析度，並支援 90 Hz 更新率與 110°視野。內置 3D 定位音效更可感受環繞周圍音效的臨場感。 [17]。



圖 2 VR 頭戴式裝置

2. 腦電圖評估工具

- Arduino Uno (圖 3)：一款基於 ATmega328P 的微控制器板。使用 USB 電線將其連接到電腦即可搭配其軟體使用[18]。
- Open BCI Cyton 版(圖 4)：一款與 Arduino 相容的 8 通道神經介面、搭載 32 位元的處理器。其核心是 PIC32MX250F128B 微控制器，提供大量本地記憶體和快速處理速度。每個通道的資料取樣率為 250Hz[19]。
- GELFREE 電極帽 (圖 5)：採用國際標準 10-20 電極放置系統，測量最多 16 通道的 EEG 訊號。使用導電泡棉 Hydro-link 電極取代硬電極與凝膠 [20]。
- Hydro-link 電極 (圖 6)：於鹽水溶液浸泡，而後插入 GELFREE 電極帽的上，可作為微訊號傳輸的導電介質[19]。



圖 3 Arduino Uno

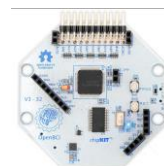


圖 4 Open BCI Cyton 版



圖 5 GELFREE 電極帽



圖 6 Hydro-link 電極

ii. 軟體架構

1. 軟體設計

本研究採用跨平台 3D 遊戲引擎 Unity 作為目標注意力導向虛擬實境鏡像治療系統的開發環境，並透過 Oculus 電腦應用程式連接 Unity 與虛擬實境（VR）頭戴式裝置，最終將系統部署於 Meta Quest 2 頭盔上。此外，在腦波訊號測量方面，本研究使用 OpenBCI 進行數據擷取，並透過其附帶的操作介面將腦波訊號輸出為 CSV、TXT 或 GDF 格式。後續，數據將匯入 MATLAB 環境，並利用 EEGLAB 工具進行腦波訊號的前處理與分析，以確保數據品質並進一步探討使用者的神經活動模式。

2. 操作流程：

本設計旨在透過目標導向的認知與動作整合，促進使用者對患側的注意力分配，並提升其動作控制與認知能力。首先會先選取健側手為何，六個場景皆以左手為健側手，右手為患側手，左右側會呈現鏡像對稱以模擬雙側鏡像治療，以下為六個場景的介紹以及畫面

場景一：物體前放任務（圖 7）

環境包含五項物品：魔術方塊、筆筒、馬克杯、橡皮擦與計算機，每項物品的前方皆設有一個可放置的位置。位於右側（即患側）的物品上有分別標示簡單的加減數學題，而右側前方的放置區則對應顯示可能的答案。使用者需透過健側手部操作，將標示數學題的物品移動至正確答案的位置，以完成匹配任務，匹配正確後前方會跳出「Good job!」的文字，以達到即時的回饋。

場景二：握住火炬畫圓任務（圖 8）

設有三個火炬，其中位於右側（即患側）的火炬分別標示有順時針、逆時針及八字繞環的運動指示。當使用者拿起火炬時，患側火炬將顯示一個進度條及數字標示（X/10），指引使用者按照指示進行對應的運動軌跡。每完成一圈動作，進度條將逐步增加，數字亦同步遞增，直至進度條填滿且數值達到 10 時，系統將在畫面前方顯示「Good job!」的文字，以提供即時回饋，進一步增強使用者的動作動機與訓練參與度。

場景三：植物拔取與放置任務（圖 9）

場景中包含四種不同顏色的植物，分別為咖啡色、橘色、粉紅色與綠色。位於右側（即患側）的植物前方皆設有對應顏色的放置位置，而左側（即健側）前方的位置以灰色顯示。使用者需透過健側手部操作，將指定顏色的植物移動至相同顏色的對應位置，以完成匹配任務。當使用者成功完成匹配後，系統將在畫面前方顯示「Good job!」的文字，以提供即時回饋，增強使用者的動作學習效果。

場景四：硬幣分類任務（圖 10）

場景中包含寶箱與硬幣，右側（即患側）放置有金幣與銀幣，對應的前方則設有放置金幣以及銀色的寶箱；左側（即健側）則擺放相同配置，但硬幣均為銅幣，寶箱也為放置銅幣寶箱。使用者需將金幣與銀幣分別放入對應的寶箱中，成功放置後，原位置將自動生成新的硬幣，該過程將重複五次，直至完成所有配對，即視為通關。每當使用者正確放置硬幣時，系統將在畫面前方顯示「Good job!」的文字，

場景五：撲克牌匹配任務（圖 11）

場景六：籃球任務 (圖 12)

圖 7



圖 8

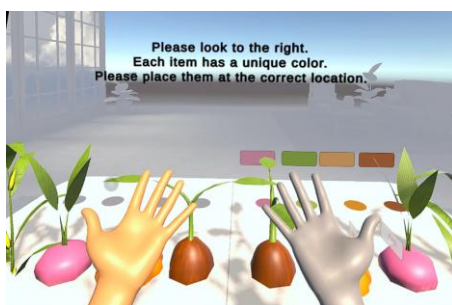


圖 9



圖 10



圖 11

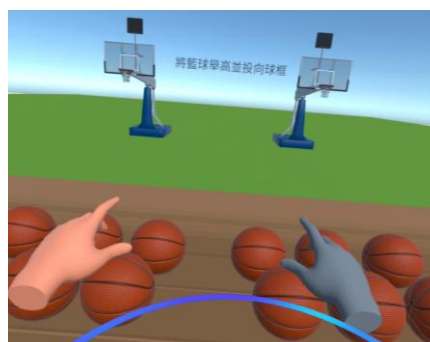


圖 12



4-2 研究步驟

i. 第一階段-設定鏡像手以及場景開發

本研究基於虛擬實境（VR）技術開發任務導向型虛擬實境鏡像治療系統，以促進中風患者上肢功能的恢復。根據 Che-Wei Lin 等學者[13]的研究，相較於傳統鏡像治療，基於虛擬實境的鏡像治療可更有效激活初級感覺運動皮層，進而提升上肢運動功能的改善效果。此外，Young-Rim Paik 等學者[9]及 Kil-Byung Lim 等學者[16]的研究亦指出，相較於單純的復健動作或非鏡像功能性任務，功能性任務結合鏡像治療對於中風患者的上肢功能恢復及日常生活活動能力具有更佳的成效。

本計畫所開發的目標導向注意力虛擬實境鏡像治療系統可透過 VR 技術將健側手的動作映射至患側，並賦予映射後的虛擬手與虛擬物件互動的能力。該系統包含六個不同的功能性訓練場景，每個場景對應不同的復健任務。使用者可透過 Meta Quest II 的手部追蹤技術（Interact SDK）直接與虛擬物件互動，而患側都具有簡單的認知任務以達成目標導向型的鏡像治療訓練。本研究所設計的訓練內容參考上述文獻的任務導向訓練方法（如拿取硬幣、拿物件畫圓等），並結合成大醫院復健部醫師的專業建議，最終確立六種核心訓練項目，包括：配對撲克牌、抓取並放置物體、握住物件畫圓、捏取硬幣、投籃以及拔取物體並放入特定位置。透過此系統的設計，期望能提升中風患者對患側手部的注意力，並促進其上肢功能的恢復與日常生活能力的提升。

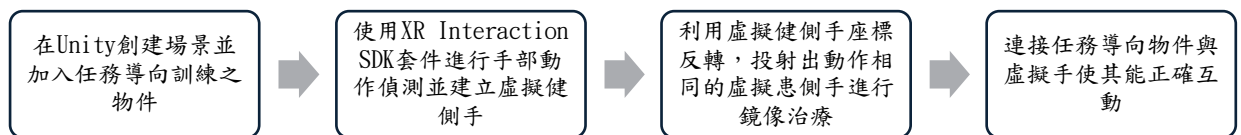


圖 14、第一階段流程圖

ii. 第二階段-目標導向注意力任務的建立

在建立虛擬實境（VR）鏡像治療系統的基礎上，進一步針對各場景的功能性任務，於患側（即受影響側）加入使用者介面（UI）設計，以強化目標導向的注意力機制，提升使用者對復健任務的專注度與參與度。此設計策略旨在透過特定的視覺提示與互動方式，使使用者主要關注患側的操作，進一步促進其運動學習與神經可塑性。本系統包含六種不同的功能性復健場景。



圖 15、第二階段流程圖

各場景的目標導向注意力設計如下：

場景一-物體前放任務：

患側物件上設置數學題目，使用者須將物體放置於對應答案的位置。為引導使用者將注意力集中於患側，健側的物件不包含任何題目或提示。

場景二-握住火炬畫圓任務：

使用者需握住患側的火炬，依指示完成順時針、逆時針或八字繞行的軌跡。畫面將即時顯示當前完成的圈數（如「請畫滿 10 圈」），並透過進度條視覺化使用者的完成度。此提示僅限於患側，以強化使用者對患側動作的注意力

場景三-植物拔取與放置任務：

使用者須依據植物的顏色進行分類與放置。所有放置點皆設於患側，而健側僅作為輔助抓取操作，使使用者須將注意力集中於患側以完成配對。

場景四-硬幣分類任務：

右側（患側）提供金幣與銀幣，前方則對應設置金銀寶箱。UI 將標示「請將金幣與銀幣放入對應的寶箱」，而健側僅設置銅幣，使其無法區分，迫使使用者需關注患側的硬幣分類資訊。

場景五-撲克牌匹配任務：

患側提供正面顯示的黑桃 A 與愛心 A，以及一張隨機花色的數字 2 卡牌，左側（健側）則僅提供撲克牌背面。使用者須將數字 2 的卡牌放置於相同花色的 A 牌上，並隨著數字遞增至 13，完成配對。系統將提供即時回饋，以增強學習效果。

場景六-投籃任務：

患側的籃球場上標示數字，使用者須按照數字由大至小的順序依次投入籃球。若使用者未依正確順序選取籃球，則無法抓取錯誤的籃球，確保使用者須專注於患側的數字排序來完成任務。

iii. 第三階段-完成腦電圖臨床評估以及分析

本研究除了分析運動相關的腦波變化（如 high-mu 與 low-beta ERD），亦納入**目標導向注意力（Goal-Oriented Attention）**的指標，以探討注意力專注程度對於復健成效的影響。注意力的量化指標採用 **Theta-Beta 比率（TBR, Theta-Beta Ratio）**，並設定**閾值 1.5**，作為專注與分心的基準 TBR 值越高代表使用者注意力較為分散，反之則表示注意力較為集中[14]。在受試者進行虛擬實境鏡像治療的同時，透過 OpenBCI 設備記錄其腦波訊號，並監測 F3、C3、Cz、C4、F4 等五個與運動皮質相關的腦區頻道。測得的數據經 OpenBCI GUI 輸出 GDF 檔後，匯入 MATLAB，並透過 EEGLAB 進行前處理與訊號分析，包括 50Hz 低通濾波與 Artifact Subspace Reconstruction（ASR）去除雜訊。針對不同頻段進行分析，特別關注 mu 波（8-13 Hz）與 beta 波（14-30 Hz）在手部運動與靜止狀態下的事件相關去同步化（Event-Related Desynchronization, ERD）程度，同時比較中風患者健側與患側腦區的 PRI（Power Ratio Index）、DAR（Delta-Alpha Ratio）、TBR 等參數變化。根據 G. Bartur 等學者的研究[11]，high-mu 和 low-beta 波的 ERD 程度與上肢運動功能相關，而 Milani, G. 等學者則指出 PRI、DAR、TBR 參數可反映運動損傷程度，因此本研究將關注 TBR 值的變化，並探討其與復健成效的關聯。初步數據顯示，在虛擬實境鏡像治療過程中，當使用者的 TBR 值下降（即注意力集中）時，mu 波與 beta 波的 ERD 程度增強，代表感覺運動皮層的活化增加，同時使用者在 Fugl-Meyer 運動評估中的得分亦呈現提升（ $p < 0.05$ ），顯示注意力集中與復健成效之間具有顯著的正向關聯。本研究結果有助於進一步驗證目標導向注意力之虛擬實境鏡像治療系統的有效性，並為未來結合腦波回饋技術於復健治療提供理論基礎。



圖 16、第三階段流程圖

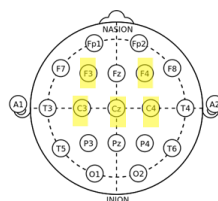


圖 17 量測 EEG 頻段

1. 實驗介入方式

1. 單盲 (Single Blinding)：對受試者保密其分配組別，避免有意無意在實驗造成偏頗。
 2. 隨機對照試驗 (Randomized Controlled Trial, RCT)：其基本方法為將研究對象隨機分組，對不同組實施不同的干預。在研究對象數量足夠的情況下，這種方法可以抵消已知和未知的混雜因素對各組的影響。
 3. 平行對照試驗 (Controlled Clinical Trials)：標準的隨機分組對照試驗，多用於試驗 A 和 B 進行隨機對照比較。
2. 評估工具
1. 傅格—梅爾評估量表 (Fugl-Meyer Assessment, FMA)：評估上肢動作功能。評估項目包含肩膀、手肘、前臂、手腕及手部之動作。
 2. 改良版 Ashworth 量表 (Modified Ashworth Scale, MAS)：評估受試者放鬆時，上肢被動拉伸的肌肉張力。
 3. 木箱與木塊測驗 (Box and Blocks test, BBT)：單側手部靈巧度。
 4. 西門—韋恩斯坦單絲測試 (Semmes-Weinstein Monofilament, SWM)：評估手指腹皮膚壓力閾值。
 5. 腦電圖：直接量測腦部運動皮質活動狀態，分析受試者的上肢運動功能。

(五)預期結果

5-1 初步成果

本研究已完成第一階段任務導向虛擬實境鏡像治療系統的開發。該系統包含鏡像手的應用以及六個復健治療場景，並已實現穩定運行。此外，第二階段的目標導向注意力任務雖已整合至系統，但仍存在部分技術性錯誤尚待解決。至於第三階段的腦電圖 (EEG) 系統目前仍處於探索階段，主要聚焦於 EEG 訊號的採樣、處理與分析，相關技術與方法仍在學習與優化中。

5-2 預期成果

本研究結合虛擬實境與目標導向注意力的優勢，並加入任務導向作業。並以傅格梅爾量表與腦電圖進行雙項目的評估，期望此系統在兩者結果皆顯示提升中風患者上肢功能回復的正面效果，甚至優於原先系統。

5-3 時程規劃

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
VR 系統的完善以及改良								
完成腦波評估與分析系統								
分析腦波數據								
系統優化與最終成效評估								

(六)需要指導教授指導內容

1. 復健治療系統之調整與優化
2. 腦波監測方法和流程
3. 訊號分析及注意事項
4. 臨床試驗個案的收錄

(七)參考文獻

- [1] V. L. Feigin et al., "Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019," The Lancet Neurology, vol. 20, no. 10, pp. 795-820, Oct. 2021.
- [2] J.-H. Shin, M.-Y. Kim, J.-Y. Lee, Y.-J. Jeon, S. Kim, S. Lee, B. Seo, and Y. Choi, "Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-

blinded, randomized controlled trial,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 13, no. 1, 2016.

[3] 雙側訓練 - 中風復健好手也要一起動!?. Available: <https://reurl.cc/0EgM8b>

[4] S. P. Vural, G. F. N. Yuzer, D. S. Ozcan, S. D. Ozbudak, and N. Ozgirgin, “Effects of Mirror Therapy in Stroke Patients With Complex Regional Pain Syndrome Type 1: A Randomized Controlled Study,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 97, no. 4, pp. 575–581, 2016.

[5] J. J. Zhang, K. N. Fong, N. Welage, and K. P. Liu, "The activation of the mirror neuron system during action observation and action execution with mirror visual feedback in stroke: a systematic review," Apr. 2018.

[6] Deconinck FJA, Smorenburg ARP, Benham A, Ledebt A, Feltham MG, Savelsbergh GJP. Reflections on Mirror Therapy: A Systematic Review of the Effect of Mirror Visual Feedback on the Brain. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015;29(4):349-361.

[7] N. Bolognini, C. Russo, and D. J. Edwards, "The sensory side of post-stroke motor rehabilitation," *Restorative Neurology and Neuroscience*, vol. 34, no. 4, pp. 571-586, Aug. 2016.

[8] G. Saposnik, M. Levin, and Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group, "Virtual reality in stroke rehabilitation: a meta-analysis and implications for clinicians," *Stroke*, vol. 42, no. 5, pp. 1380-1386, Apr. 2011.

[9] Y.-R. Paik, S.-K. Kim, J.-S. Lee, and B.-J. Jeon, “Simple and Task-oriented Mirror Therapy for Upper Extremity Function in Stroke Patients: A Pilot Study,” *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*, vol. 24, no. 1, pp. 6–12, 2014.

[10] L. M. Weber, D. M. Nilsen, G. Gillen, J. Yoon, and J. Stein, “Immersive Virtual Reality Mirror Therapy for Upper Limb Recovery After Stroke,” *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 98, no. 9, pp. 783–788, 2019.

[11] G. Bartur, H. Pratt, N. Soroker. “Changes in mu and beta amplitude of the EEG during upper limb movement correlate with motor impairment and structural damage in subacute stroke,” *Clinical Neurophysiology*, vol. 130, issue 9, pp. 1644-1651, September 2019

[12] Fernández-Solana J, Álvarez-Pardo S, Moreno-Villanueva A, Santamaría-Peláez M, González-Bernal JJ, Vélez-Santamaría R, González-Santos J. Efficacy of a Rehabilitation Program Using Mirror Therapy and Cognitive Therapeutic Exercise on Upper Limb Functionality in Patients with Acute Stroke. *Healthcare (Basel)*. 2024 Feb 29;12(5):569.

[13] C.-W. Lin, L.-C. Kuo, Y.-C. Lin, F. -C. Su, Y.-A. Lin, and H.-Y. Hsu, “Development and Testing of a Virtual Reality Mirror Therapy System for the Sensorimotor Performance of Upper Extremity: A Pilot Randomized Controlled Trial,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 14725–14734, 2021

[14] B. -S. Lin, J. -L. Chen and H. -C. Hsu, "Novel Upper-Limb Rehabilitation System Based on Attention Technology for Post-Stroke Patients: A Preliminary Study," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2720-2731, 2018.

[15] S. H. Bae, W. S. Jeong, and K. Y. Kim, "Effects of mirror therapy on subacute stroke patients' brain waves and upper extremity functions," *Journal of Physical Therapy Science*, vol. 24, no. 11, pp.1119-1122, May 2012.

[16] K.-B. Lim, H.-J. Lee, J. Yoo, H.-J. Yun, and H.-J. Hwang, “Efficacy of Mirror Therapy]Containing Functional Tasks in Poststroke Patients,” *Annals of Rehabilitation Medicine*, vol. 40, no. 4, p. 629, 2016

[17] "Get started with Meta Quest 2," Meta, accessed January 30, 2024, <https://www.meta.com/tw/en/quest/products/quest-2/>

- [18] " Arduino Uno Rev3," Arduino, accessed January 30, 2024,
<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [19] OpenBCI Online Store, accessed January 30, 2024,
<https://shop.openbci.com/collections/frontpage>