

出國報告（出國類別：進修）

經顱磁刺激密集課程

服務機關：臺中榮民總醫院精神部

姓名職稱：張庭綱醫師

派赴國家/地區：美國/波士頓

出國期間：113 年 10 月 21 日至 113 年 10 月 25 日

報告日期：113 年 11 月 11 日

摘要

經顱磁刺激（TMS）通過非侵入性的方式直接影響大腦神經回路，隨著神經導航技術的進步，TMS 的定位精度顯著提升，使得治療過程更加精確，並有助於更好地適應個性化醫療需求。未來，TMS 在成癮行為治療方面的應用前景廣闊，尤其是與其他治療方式如藥物治療、認知行為療法的結合，將進一步提升療效。

然而，TMS 技術的應用仍面臨挑戰，包括設備升級、標準化治療流程及新適應症的探索。建議醫院增設神經導航系統、閉環控制系統及 fMRI 的整合與 robot 輔助，進一步提升治療的精確性和療效。同時，加強多模態療法的應用，並開發新的 TMS 適應症，如治療成癮等複雜病症。這些進步不僅將擴展 TMS 的應用範圍，還能提高臨床研究的深度和廣度，推動醫學的創新發展。

關鍵字：經顱磁刺激、神經導航、成癮、憂鬱症、精準醫學、多模態療法

目 次

一、 目的	1
二、 過程	2
三、 心得	9
四、 建議事項	16
(一) 全面升級設備，購置 TMS 及輔助系統以提升臨床與學術研究能力	
(二) 強化空間分隔與定價策略，建立精準醫學的市場區隔	
(三) 多模態療法的協同發展，推動創新臨床治療	
(四) 打造全球競爭力：國際進修、專業培訓與密集課程提升策略	
五、 附錄	17

一、目的

目前，台灣的 TMS 治療仍處於發展初期，臨床應用多聚焦於治療頑抗型憂鬱症，對其他潛在適應症（如成癮治療、戒菸、強迫症等）的探索相對有限。隨著 TMS 在全球範圍內應用範疇的擴展，越來越多的研究顯示 TMS 對於不同神經精神疾病（如酒癮、焦慮症、強迫症等）具有潛在療效，但在台灣的臨床設置、治療標準及技術應用上仍有待進一步提升和優化。

具體來說，目前台灣在 TMS 治療上的挑戰包括以下幾個方面：

1.適應症應用有限：目前，台灣主要將 TMS 用於治療頑抗型憂鬱症，而美國和歐洲已逐步將 TMS 擴展到其他適應症，如戒菸、強迫症、酒癮等。適應症的限制使得 TMS 的應用潛力未完全發揮，且台灣的患者選擇和研究方向都因此受到限制。

2.定位技術與治療精確性不足：目前台灣的 TMS 治療位置選擇和定位技術尚有優化空間。在美國，先進的神經導航（neuronavigation）和機器人輔助（robot-assisted）技術已應用於 TMS 治療，這些技術能大幅提升治療的精確度，確保每次治療在相同位置進行，但這些技術在台灣普及率較低。

3.治療 protocol 尚待標準化：台灣在 TMS 治療 protocol 的設計上缺乏標準化，例如不同適應症的劑量、頻率、位置及參數設置尚未完全建立標準化的流程，導致臨床治療效果易受操作人員技術和經驗的影響，限制了治療的一致性和效果。

4.研究導向的設施與資源不足：目前，我院的 TMS 設施主要集中於臨床治療，針對學術研究導向的設置及資源支持較為有限。現階段本院正在與國衛院合作，利用近紅外光譜（NIRS）技術作為評估憂鬱症 TMS 治療效果的客觀指標，這項技術為未來在台灣拓展 TMS 研究方向提供了基礎。然而，目前針對酒癮、成癮行為等特定適應症的研究仍處於起步階段，缺乏系統化的研究方法和國際接軌的臨床研究設置。

5.跨領域和國際合作機會不足：台灣的精神醫學與腦科學研究，尤其是成癮治療領域，缺乏穩定的國際合作機制，限制了學術研究成果的國際影響力。國內的研究人員難以藉由國際合作取得更多研究資源和數據，無法如同國際研究一樣進行多中心試驗和跨國數據分析，這也阻礙了新療法的開發和適應症的拓展。

出國進修的必要性

基於上述現況，出國進修具有重要意義。透過學習國外先進的 TMS 技術、標準化的 protocol 設計，以及精準的定位技術（如 neuronavigation 和 robot assistance），可以大幅提升 TMS 的治療效果和適應症範疇。進修過程中，我也將專注於如何將 TMS 應用於酒癮治療的研究，以增進此領域的專業知識和臨床技能，並與國際研究團隊建立聯繫，為跨國合作和

研究拓展鋪路。出國進修不僅有助於個人學術發展，更能為台灣的精神醫學及腦科學研究注入新活力，加速國際化與多元化發展。

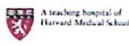
二、過程

(一) 課程內容摘要說明

1. 課程說明

- (1) 課程由 Harvard medical school 及其教學醫院 Berenson-Allen Center for Noninvasive Brain Stimulation, Beth Israel Deaconess Medical Center 負責進行。
- (2) 授課地點: Inn at Longwood Medical Center、Beth Israel Deaconess Medical Center。
- (3) 授課時間: 20241021-20241025，共 5 天。
- (4) 「Intensive Course in Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)」提供了一個獨特的機會，讓學員能夠實際操作學習 TMS 的基本原理、使用標準及潛在應用，涵蓋臨床神經生理學、認知神經科學、神經學及精神醫學領域。此課程為期一週，每年開設三次，採小班教學，每班最多 24 人，包含正式的教學課程及充足的實作練習機會。
- (5) 在課程結束時，學員將學會並親身體驗如何確定運動閾值、記錄運動誘發電位、進行皮質定位、安靜期、輸入-輸出曲線以及雙脈衝 TMS 研究。此外，學員還將學習如何安全地應用重複性 TMS，設計 TMS 研究、撰寫 TMS 研究 protocol，以及解讀 TMS 研究結果。

**Berenson-Allen Center**
For Noninvasive Brain Stimulation

A teaching hospital of
Harvard Medical School

Loading

[Contact Us](#) / [Directions](#)

HOME ABOUT US PATIENT CARE RESEARCH EDUCATION TMS HELP 請選取語言 ▼

Education

Continuing Medical Education (CME) Courses

Intensive Course in Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

Introduction to Transcranial Electric Stimulation (tES) in Neuropsychiatric Research

Register for a Course

TMS Learning Portal

tES Learning Portal

Educational Resources

Sidney R. Baer, Jr. Foundation Fellowship in the Clinical Neurosciences

Fellowship Application

**HARVARD**
MEDICAL SCHOOL

Intensive Course in Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

Course Dates:

February 10-14, 2025

June 2-6, 2025

General Information

This "Intensive Course in Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)" provides a unique opportunity for hands-on learning of the basic principles, standards of use, and potential applications of TMS in clinical neurophysiology, cognitive neuroscience, neurology, and

2. 以表格說明課程內容

課程名稱	內容簡述	屬性
Introduction to the TMS Course	課程簡介，概述 TMS 課程的目標和內容，由幾位主講人介紹 TMS 的基本框架。	理論導入

課程名稱	內容簡述	屬性
TMS Basics	TMS 的基礎原理，包括其作用機制及基本知識，適合初學者理解 TMS 的核心概念。	理論基礎
TMS Safety and Seizure Risk	安全性說明，包括可能的癲癇風險，介紹 TMS 在臨床使用中的安全規範。	安全知識
Setting up a TMS Clinic	如何設置 TMS 診所，包含診所配置、流程設計、病患管理等實務操作。	實務應用
Clinical Applications and Depression Evidence	探討 TMS 在抑鬱症等臨床應用中的實證效果，提供臨床案例和研究結果。	臨床應用
Hands-On Sessions	分組實作課程，讓學員操作各種 TMS 設備，學習實際臨床操作流程。	實作練習
Motor Hotspot/Threshold	訓練如何定位運動皮層的“熱點”和閾值，為個性化治療設置提供基礎。	技術練習
TMS Physics and Physiology	探討 TMS 的物理學和生理學，包括定位和劑量設定及其對腦部的生理影響。	理論深化
TMS and Modeling	TMS 與模型建構的應用，介紹如何使用建模技術進行精準定位與治療設計。	前沿技術
Special Populations	討論特殊人群（如兒童或老年人）在接受 TMS 治療時的特殊考量。	臨床應用
Brain Circuit Therapeutics	探討腦路徑在 TMS 治療中的角色和應用，如何調控不同腦區進行精準治療。	理論深化
State-Dependent Interactions	介紹 TMS 在不同腦部狀態下的相互作用，理解 TMS 效果與腦狀態的關聯。	理論深化
Neurological Applications	TMS 在神經學上的應用，包括各種神經系統疾病的治療探索。	臨床應用
Neuronavigation Demonstration	示範 TMS 的神經導航技術，提升治療精確度。	技術應用
TMS and EEG	TMS 與腦電圖（EEG）的結合應用，理解腦部反應和治療效果。	影像整合技術
TMS and Imaging	TMS 結合影像技術（如 fMRI）的應用，幫助定位及療效評估。	影像整合技術
The Placebo Effect	探討安慰劑效應對 TMS 療效的影響，理解其臨床意涵。	理論深化
Pharmacology of TMS	TMS 與藥物學的交互影響，分析藥物對 TMS 治療效果的調控。	理論深化

課程名稱	內容簡述	屬性
TMS in Animal Models	TMS 在動物實驗中的應用，了解其機制及臨床轉譯價值。	研究應用
Translational Value of TMS	探討 TMS 研究成果的臨床轉譯價值，如何將基礎研究應用於臨床治療。	研究應用
The Future of TMS	討論 TMS 技術的未來發展趨勢，前瞻性應用及可能的挑戰。	前瞻性討論
Course Completion Quiz	課程總結測驗，測試學員的學習成果與知識掌握度。	知識檢測
Question and Answer Session	最後的問答環節，解答學員疑問並進行課程總結。	知識總結

(二) 第一天課程

1. Introduction to the TMS Course

- (1) 解釋 TMS 技術的基本原理、設備的特性、脈衝形狀、線圈距離、神經元方向以及 TMS 在不同應用情境下的作用方式。詳細描述了 TMS 如何在跨顱應用中透過電磁感應激活或抑制神經元，並介紹了歷史背景，包括法拉第電磁感應的基礎知識。
- (2) 此外，探討了 **TMS 在不同部位的應用**，例如脊髓神經根、臂神經叢等非跨顱刺激場景，並引用了 Tony Barker 的貢獻，即使用電子開關產生足夠的電流變化率來去極化神經元。
- (3) 介紹了如何選擇和設置脈衝形狀，以確保最佳效果，並深入說明了 **TMS 刺激在認知神經科學中的應用**，特別是透過干擾特定腦區來觀察行為變化。
- (4) 最後，強調 TMS 在臨床應用中的安全性和效率，包括運動閾值的測量、線圈位置的調整以及如何確保重複刺激的精確性。
- (5) 安全指導原則：TMS 的安全性依賴於 1998 年和 2008 年制定的保守指導方針，遵守這些標準能顯著降低風險。
- (6) 潛在副作用：包括腦組織加熱風險（在病理情況下需小心）、植入物磁化和聽力損傷（建議佩戴耳塞，尤其對兒童）。
- (7) 倫理考量：強調風險與效益的平衡，特別是在治療選項有限的情況下，對植入物和藥物相互作用需謹慎評估。
- (8) **癲癇風險管理**：癲癇是 TMS 最嚴重但罕見的風險，建議仔細篩查、確保患者休息充足，並備有應急處理方案。
- (9) 行為和環境因素：患者的預期與環境刺激（如音樂）會影響 TMS 效果，應在治療協議中考量。

2. TMS Basics

- (1) 課程中展望了 TMS 在不同疾病（如酒癮、戒菸、強迫症等）中的潛在應用，

並強調未來可能的跨領域整合，如基因學與 TMS 反應的關聯。

- (2) 探索深層 TMS (deep TMS) 技術的應用，提升對深層腦區的刺激效果，並為更精細的個性化治療奠定基礎。
- (3) 討論多頻次、多模式 TMS 治療的可能性，如加速療程的應用，旨在提升患者的療效及治療耐受度。
3. **TMS Safety/Intro to Seizures**
 - (1) TMS 治療的主要副作用如癲癇發作、暈眩、頭痛及聽力改變等，課程中詳細說明了如何預防和處理這些風險。
 - (2) 強調對特殊族群（如癲癇患者）的治療需特別謹慎，並提供風險評估及管理策略，例如對高危患者採取低頻右側 TMS。
 - (3) 提供耳塞等聽力保護措施以預防聽力受損，尤其是對於長時間暴露在治療聲音中的操作人員。
4. **Setting up a TMS Clinic**
 - (1) 課程中涵蓋如何設置 TMS 診所，包括評估患者、診療流程、治療 protocol 的選擇及效益評估等。這部分重點在於建立系統化流程，確保臨床實務中的規範性與安全性。
 - (2) 介紹各種 TMS 設備的特性及使用，包括選擇適合的機型、設置神經導航等先進技術，提升治療精度及效果。
5. **Clinical Applications and Depression Evidence**
 - (1) 討論 TMS 與精神醫學的結合，特別是在治療重度憂鬱症患者中的應用，並強調 TMS 可為抗憂鬱療法提供輔助。
 - (2) 介紹 TMS 在精神醫學及神經科學研究中的作用，並探討如何利用 TMS 模擬精神疾病症狀，以研究不同腦區功能及其在精神疾病中的角色。
6. **Hands-On Sessions: Small Group Rotations (Non-CME)**
 - (1) 課程中涵蓋如何設置 TMS 診所，包括評估患者、診療流程、治療 protocol 的選擇及效益評估等。這部分重點在於建立系統化流程，確保臨床實務中的規範性與安全性。
 - (2) 介紹各種 TMS 設備的特性及使用，包括選擇適合的機型、設置神經導航等先進技術，提升治療精度及效果。

(三) 第二天課程

1. **Motor Hotspot/Threshold 運動閾值的評估與 TMS 應用**
 - (1) 課程中詳細解說了如何找到並測定患者的運動閾值 (motor threshold)，這是 TMS 治療中的關鍵參數之一。課程使用電極 (EMG) 進行即時測量，並示範如何定位運動熱點，調整刺激強度以獲得最佳反應。
 - (2) 強調了運動閾值在 TMS 應用中的重要性，並建議利用神經導航和標準化的定位協議，以確保治療的一致性和安全性。
2. **TMS Physics and Physiology: Targeting, Dosing and Physiological effects**
 - (1) 課程首先介紹 TMS 的物理原理，強調電場與磁場在刺激中的作用，並解釋

不同類型線圈的特性（如圓形線圈、8 字形線圈）如何影響刺激範圍與深度。

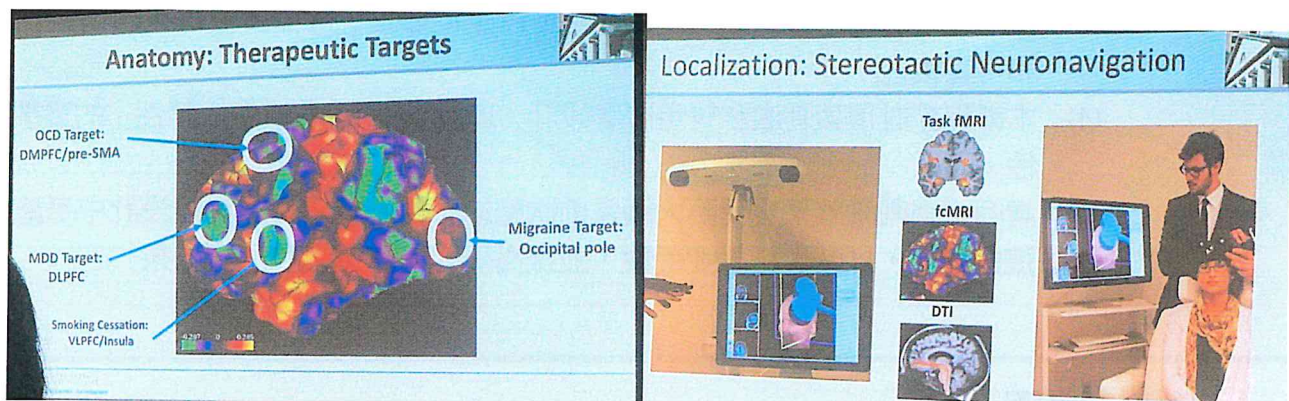
- (2) 討論如何計算 TMS 產生的電場，並使用模擬技術預測電場在腦部的分布，以達到更精確的刺激效果。此部分強調 TMS 在應用前的物理調整，確保治療的安全性與有效性。

3. TMS and Modeling

- (1) 探討 TMS 如何結合建模技術，模擬電場對腦部不同區域的影響，並使用擴展技術（如擴散張量成像 DTI 和功能性磁共振造影 fMRI）以分析腦區間的連結性。
- (2) 討論建模在確定最佳治療目標位置的應用，尤其是針對不同患者的解剖變異，以達到個性化治療的效果。建模技術也可用於預測治療效果，進一步提升治療準確度。

4. Hands-On Sessions: Small Group Rotations (Non-CME)

- (1) 介紹了 TMS 系統的設定方法，並討論如何利用神經導航技術精確定位治療目標區域，以提高治療的可重複性和穩定性。
- (2) 介紹了治療目標的制定，包括在治療前建立腦區對照地圖，以便在治療中能快速找到目標區域，從而提高效率和效果。



(四) 第三天課程

1. Special Populations

- (1) 討論了 TMS 在兒童人群中的應用挑戰，強調兒童腦部發育和解剖特徵對 TMS 效果的影響。
- (2) 由於發育中的大腦具有較高的可塑性和易受傷性，因此需要特別考慮其安全性和效果，尤其是在治療兒童憂鬱症方面

2. Brain Circuit Therapeutics

- (1) 探討 TMS 的各種應用，包括憂鬱症、偏頭痛和強迫症等適應症，並回顧了 FDA 批准的指標。
- (2) 課程強調個別化治療的重要性，以及使用功能性連結成像（如 fMRI）來定位個體化目標區域的潛力

3. State-Dependent Interactions of Transcranial Magnetic Stimulation

- (1) 本課程介紹了反覆性 TMS (RTMS) 和 Paired Pulse TMS 的應用，以及 TMS 刺激的變異性。
- (2) 課程討論了針對不同神經精神疾病的治療方案，並介紹如何根據患者的狀態調整刺激，以獲得最佳效果

4. Neurological Applications

- (1) 本課程著重於 TMS 在臨床和研究上的應用，包括目標識別、治療設計和個性化治療。
- (2) 講師介紹了從臨床到研究的跨學科應用，特別是如何使用大腦連結模式來引導 TMS 的定位，以期改善憂鬱症的治療效果

5. Hands-On Sessions: Small Group Rotations (Paired Pulse/ Clinical Program Demonstration/ Neuronavigation Demonstration)

- (1) 這門課程強調使用神經導航技術（如 Brainsight）以提升 TMS 治療的準確性，尤其在研究和臨床應用中顯著增進刺激精確度。**課程中指出神經導航能夠確保線圈在每次治療中始終瞄準相同位置，提高治療的一致性與效果。**
- (2) 討論中也提及了 MRI 輔助導航的應用，以增強特定腦區的定位準確性
- (3) 介紹了不同 TMS 機器（如 MagStem）的操作步驟，包括空氣冷卻系統的應用來防止設備過熱，並詳細講解了尋找「運動熱點」（motor hotspot）的測量步驟。課程還教導如何使用泳帽進行定位標記，確保治療位置的精確性和可重複性
- (4) 本課程探討頂葉刺激和雙重關聯設計，以及 TMS 中「狀態依賴性」的重要性。
- (5) 講師強調**刺激效果會受到大腦當前狀態的影響，並建議在實驗設計中考慮這些因素，以減少結果變異性，並提高研究的選擇性和治療效果**

(五) 第四天課程

1. TMS and EEG

- (1) 探討 **EEG 信號的取得與清理**，特別強調獲得乾淨信號的重要性，以確保數據準確性。
- (2) 關於 TMS 引入的額外干擾，並提供各種消除干擾的策略

2. TMS and Imaging

- (1) 本課程詳細探討了**腦部的分層機制**，從基因到行為的多層次分析，說明了各層次之間的相互影響，特別是行為變化可以影響基因表達和突觸可塑性
- (2) 強調神經調節技術的應用，包括 TMS 和 DBS 等，說明這些技術如何在神經網絡層次進行調節，從而在治療精神疾病和神經性疾病上發揮重要作用

3. The Placebo Effect

- (1) 討論了在神經調控及臨床試驗中的安慰劑效應，指出預期和信念如何顯著影響治療效果。**安慰劑效應的影響甚至可以達到與活性治療相似的療效。**

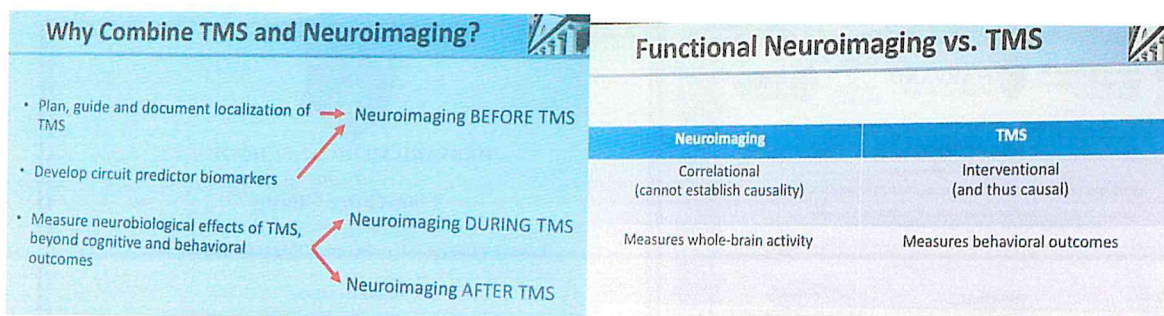
- (2) 探討了如何在設計試驗時減少安慰劑效應的干擾，特別是針對 TMS 和其他神經調控技術的對照組設置和盲測設計

4. Pharmacology of TMS

- (1) 介紹新創的 TMS 專業期刊，鼓勵研究人員和臨床醫師投稿與 TMS 相關的研究、病例報告及治療觀察。
- (2) 課程重點還包括 TMS 如何透過長期增益作用（LTP）來實現持續的突觸可塑性改變。
- (3) 講師探討了如何應用 TMS 在憂鬱症和復健治療中，以改變大腦突觸強度，達到治療效果

5. Hands-On Sessions: Small Group Rotations(TMS-EEG/Setting up a lab)

- (1) 探討臨床和研究用途的 TMS 設備設計差異。課程重點在於如何選擇合適的設備，以滿足不同需求，例如臨床應用中的安全性和 FDA 批准的標準。
- (2) 討論如何在研究中設計實驗控制變量，以便準確測試 TMS 的效果，並考量 TMS 設備在研究和臨床應用中的可拓展性和適用性
- (3) 針對 TMS 與腦電圖（EEG）結合的挑戰，課程著重於如何獲得高品質的 EEG 信號。EEG 是一種易受雜訊影響的信號，因此準備和清理數據的過程非常重要。
- (4) 講師介紹了處理 EEG 中的非生理性和生理性偽信號的方法，包括使用主成分分析（PCA）和獨立成分分析（ICA）來隔離來自 TMS 的干擾，以便獲得更準確的腦部活動數據



(六) 第五天課程

1. TMS in Animal Models: Methods & Applications

- (1) 課程探討了在動物模型中進行 TMS 研究的價值，特別是可以在細胞和分子層次研究 TMS 的作用機制，同時能夠控制研究樣本的基因和年齡等變數，這有助於更準確地測試 TMS 的療效
- (2) 強調了 TMS 在臨床應用中的快速轉譯潛力，指出透過動物實驗獲得的基礎數據可以直接應用於臨床測試，這比藥物開發的時間更短，有助於快速驗證並改進 TMS 治療方案

2. Translational Value of TMS

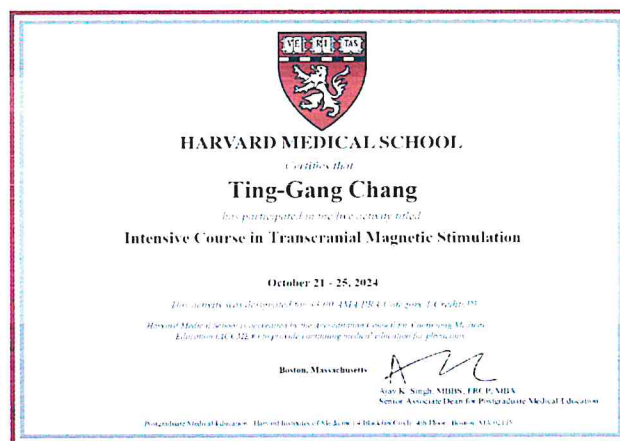
- (1) 介紹了在背外側前額葉皮質（DLPFC）應用 TMS 和 TDCS 對健康個體的認知功能影響，特別是風險決策、衝動控制和延遲折扣等決策過程。研究顯

示，刺激右側 DLPFC 可增加風險傾向，而在左側刺激則有助於抑制風險行為

- (2) 討論了 DLPFC 在「熱系統」與「冷系統」的決策平衡中所扮演的角色，指出其在衝動抑制與自我控制方面的重要性，特別是**對於成癮患者有潛在的應用價值，可用於改善決策障礙和減少衝動行為**
- (3) 本課程強調了個人化目標定位在 TMS 應用中的重要性，指出根據特定任務的激活模式來調整刺激頻率，以便精確影響患者的神經活動，避免因個體差異造成的效果變異
- (4) 討論了 gamma 頻率在神經元間的複雜互動及其在 TMS 與 Ketamine 聯合療法中的應用，指出這些高頻成分的干擾源於神經元樹突反應，這對於理解 TMS 在精神疾病治療的作用機制至關重要

3. The Future of TMS

- (1) **精準與個性化治療**：透過神經影像和 EEG 技術，TMS 可實現個性化的目標定位和刺激頻率調整，以提升對憂鬱症、焦慮症等精神疾病的治療效果。
- (2) **多模態療法整合**：TMS 與藥物或行為療法整合，並採用閉環控制系統，可動態調整治療參數，進一步優化治療結果並減少治療時間。
- (3) **適應症擴展**：TMS 的應用將擴展至偏頭痛、癲癇、帕金森病等神經疾病，並探索在兒童及認知增強領域中的潛力，逐步成為神經調節的多功能性治療選擇。



三、心得

這次的 TMS 課程帶給我系統性的學習經驗，不僅涵蓋了 TMS 的基礎原理，也深入探討其在治療抑鬱症、成癮以及其他神經精神疾病中的應用，幫助我們更清楚理解如何針對不同患者進行個案化的調整。課程中展示的最新一代 TMS 設備是另一大亮點。它們具備更精準的定位系統和靈活的操作特性，顯著提高了治療效果並降低患者的不適感。同時，設備的數據追蹤功能有助於更準確地評估治療效果。此外，課程強調了如何將 TMS 技術整合到臨床實務

中，並與其他療法結合，以提升整體治療成效。也關注了病人的接受度和安全性，確保治療過程的舒適度。下列分別敘述重點心得：

（一）神經導航與 ROBOT-assisted 技術在 TMS 中的應用與未來發展

1. 神經導航技術（Neuronavigation）

- (1) 基本概念：神經導航技術是一種結合影像學技術的定位輔助工具，主要用於確保 TMS 的刺激準確地定位於目標腦區。它**通常使用 MRI（磁共振成像）或 CT（電腦斷層）影像**，以建立患者腦部的三維模型，然後結合 TMS 線圈的位置，實現對腦部特定目標區域的精確定位。
- (2) 應用於 TMS 治療：在 TMS 治療中，精確的腦部定位對於確保治療效果至關重要，特別是在治療與特定腦區相關的精神疾病（如頑抗性憂鬱症、強迫症等）時。例如，DLPFC（背外側前額葉）通常是 TMS 用於治療憂鬱症的目標區，通過神經導航技術，可以更精確地刺激到此區域，以達到最佳的治療效果。
- (3) 臨床應用的重要性：**對於高品質的臨床研究，神經導航技術幾乎成為標準需求，沒有導航輔助的 TMS 研究通常較難獲得頂級期刊的接受。**這是因為精確的定位有助於減少治療中的變異，確保不同患者的治療效果可比較，也使得結果更具可靠性。

2. ROBOT-assisted 技術在 TMS 中的應用

- (1) 基本概念：ROBOT-assisted 技術在 TMS 中是一種利用機器手臂輔助定位與固定線圈的技術。機器手臂通過精密的控制系統，可根據預先設定的坐標位置自動調整 TMS 線圈的角度、距離和位置。
- (2) 應用於 TMS 治療：在臨床實施中，操作 TMS 需要穩定且精確地將線圈放置在患者的頭部，以便施加準確的磁場刺激。手動操作容易受到技術人員的經驗、疲勞等因素影響，導致線圈位置出現偏差。ROBOT-assisted 技術能夠自動化這一過程，確保每次治療中線圈的位置和角度一致性，這對於長期、多次治療尤為重要。
- (3) 穩定性與精確性：這項技術通過精密的控制系統減少人為誤差，增強了治療的穩定性，尤其**適用於治療需要反覆定位、長時間治療的病人**。此外，機器手臂的輔助使操作人員能更好地管理治療過程，並專注於患者的其他需求，進一步提升了治療的安全性和效果。

3. 神經導航與 ROBOT-assisted 技術的結合

- (1) 融合應用的優勢：神經導航技術和 ROBOT-assisted 技術的結合，代表著 TMS 技術邁向自動化和精準化的未來。導航技術負責精確定位，而 ROBOT-assisted 技術負責將定位好的 TMS 線圈穩定地放置於正確位置，兩者的融合使得 TMS 的施行更加簡單且可靠。這樣的技術組合能減少治療過程中的變異性，使得臨床應用和研究結果更加一致和可比較。
- (2) 個性化與精準醫療的潛力：未來，這些技術將成為 TMS 治療中的標準配置，特別是在精準醫療和個性化治療的應用中。隨著神經影像學和大數據技術的

進步，治療目標將越來越針對患者的個別特徵，例如大腦結構的微小差異、功能活動的不同模式等。結合神經導航與 ROBOT-assisted 技術，能針對這些差異進行個性化調整，確保每名患者的治療效果最大化。

4. 未來發展的可能性

- (1) 自動化與人工智能結合：隨著人工智能（AI）的進步，未來 ROBOT-assisted 技術可能融入 AI 算法，使得 TMS 線圈的定位過程更智能化。AI 可通過分析患者的腦部活動（如 EEG 信號）自動調整刺激強度與頻率，以即時優化治療效果。
- (2) 臨床研究推廣的支持：這些技術的應用不僅限於單一個案的治療，對於大規模臨床研究來說，標準化與精確性的提高是至關重要的。神經導航與 ROBOT-assisted 技術可減少研究中不同患者之間的個體差異，使研究結果更具說服力和推廣性，進而推動 TMS 治療方法的標準化和普及。

(二) 閉環控制系統（Closed-loop Control System）的應用價值

1. 閉環控制系統的基本知識

- (1) 閉環控制系統（Closed-loop Control System）是一種基於即時回饋的自動化控制技術，這與開環系統（Open-loop System）有著根本上的不同。開環系統只根據預先設定的參數進行治療，而不考慮患者的即時反應。而**閉環控制系統則基於患者的生理反應進行即時調整，形成一個「反饋回路」，確保每次治療都在最佳狀態下進行，並動態應對患者的需求和變化。**
- (2) 工作原理:閉環系統通過感測器（例如腦電圖，EEG）監測患者的生理反應，然後根據收集到的數據，通過預先編寫的算法自動調整 TMS 設備的操作參數。這樣的即時調整有助於在治療過程中保持療效，並減少不必要的副作用。

2. 閉環控制系統在 TMS 治療中的應用

- (1) **即時調整的優勢**: 閉環控制系統能在 TMS 治療過程中根據患者的反應動態調整刺激的強度、頻率和位置。例如，在治療抑鬱症時，閉環系統可監測患者的 EEG 活動，並根據腦部的即時反應自動增強或減少刺激強度。如果系統檢測到患者的腦部活動顯示出過度興奮或不良反應，閉環系統將立即降低刺激強度，這不僅提高了治療的精確性，也減少了潛在的副作用。
- (2) **精準醫療的代表**: 閉環控制系統使 TMS 治療更加符合精準醫療的理念，因為它針對每一位患者的實時生理反應來個性化調整治療。這種針對性非常重要，特別是在精神疾病的治療中，因為每位患者的腦部狀態不同，固定的治療參數可能無法在所有患者中都達到最佳效果。閉環系統能在治療中自動適應每位患者的需求，讓療效最大化。
- (3) **減少副作用和耐受性問題**: TMS 治療中常見的副作用包括頭痛、頭皮不適和局部肌肉抽動等，這些通常與刺激強度或位置過度集中有關。閉環控制系統通過即時反饋調整刺激參數，可以顯著減少這些副作用。例如，當系統監測到患者對治療產生不適感時，會立即調低刺激強度或改變刺激位置，

以避免副作用過強而降低患者的治療依從性。

- (4) **對神經網絡異常的精準調控:** 精神疾病和部分神經疾病往往涉及大腦中多個回路的異常，而這些回路的活動會隨時間改變。閉環控制系統可以通過實時反饋來動態調整刺激，針對不同腦區進行精準的干預。例如，在焦慮症的治療中，系統可以根據即時的生理反應，選擇不同的頻率刺激特定的腦區，從而達到更好的神經調節效果。

3. 未來發展方向與技術挑戰

- (1) 人工智能（AI）的結合: 未來，閉環控制系統與人工智能（AI）的結合將進一步提升 TMS 治療的效果。AI 算法可以學習大量患者的反應數據，從中提取特徵並優化治療參數，使得閉環控制更加智能化，實現真正的個性化治療。這樣的發展可能使 TMS 治療達到全新的高度，不僅對精神疾病有效，還能應用於更多神經病變的治療中。
- (2) 技術挑戰: 儘管閉環控制系統有著巨大潛力，但實施起來也面臨一些挑戰。首先，閉環系統需要即時高效地處理大量的生理數據，這對設備的精確度和計算速度提出了高要求。其次，如何設計出合適的反饋算法，使得刺激調整能精準滿足患者的生理需求，這是一個重要的技術難題。最後，監測裝置（如 EEG）的精確性和穩定性也直接影響閉環控制系統的效果，如果監測不精準，可能導致錯誤的刺激調整，反而降低療效。

(三) TMS 在成癮行為調節與渴望（Craving）控制中的潛力與相關的腦區

1. TMS 對行為調節的潛力

- (1) **調節大腦活動:** TMS 通過針對大腦特定區域的磁刺激，可以興奮或抑制這些區域的神經活動，從而影響與行為調節有關的腦功能。例如，在與行為決策和控制有關的腦區應用 TMS 刺激，可以提高患者的自我控制能力，進而改變不健康的行為模式。
- (2) **重塑大腦回路:** 長期的 TMS 治療能夠重塑神經回路，這對於調整患者的行為反應非常重要。在成癮行為中，神經回路往往因長期依賴特定物質而固定化，TMS 能夠改變這些神經連結，從而幫助患者減少對成癮物的需求。

2. 與成癮行為調節和渴望控制相關的主要腦區

- (1) 背外側前額葉皮質（DLPFC）
- (2) 前扣帶回（ACC）
- (3) 腹內側前額葉皮質（vmPFC）

3. TMS 在行為調節和渴望控制中的具體應用例子

- (1) **尼古丁成癮患者:** 針對 DLPFC 的高頻 TMS 刺激已被證明能有效減少尼古丁成癮者的渴望感。這些患者在接受治療後，對香煙的需求顯著減少，且能更好地控制吸煙的衝動。
- (2) **酒精成癮患者:** 對於酒精成癮者，TMS 不僅降低了對酒精的渴望感，還幫助患者在壓力情境下更好地控制飲酒的需求，尤其是針對 vmPFC 的刺激，有助於改變患者對酒精的獎賞反應。

(四) 安慰劑效應對 TMS 臨床研究的重要性

1. 對 TMS 的影響：在 TMS 治療中，安慰劑效應的存在可能對治療效果的評估造成干擾。患者對 TMS 治療過程的期待，尤其是當其看到裝置和聽到磁場點擊聲時，可能會讓他們主觀地感覺到症狀改善，這使得區分治療真實效應和心理效應變得困難。
2. 安慰劑線圈（Placebo Coil）的應用與作用
 - (1) 安慰劑線圈的基本知識：為了解決安慰劑效應對研究的干擾，美國 FDA 批准了安慰劑線圈（placebo coil）的應用。安慰劑線圈是一種設計成能夠模擬 TMS 治療的外觀、聲音及感覺，但實際上並不產生對腦部的有效磁場刺激的工具。通過這種方式，研究人員可以在看似「真實」的治療環境下給患者進行「假治療」，以觀察患者的心理反應與真實的治療反應。
 - (2) 技術實施：安慰劑線圈的設計需要仔細模擬 TMS 的操作細節，包括施加在頭皮的壓力、線圈的重重量感、磁場產生的「點擊」聲響等，這些細節的模擬是為了讓患者無法區分自己接受的是安慰劑還是真正的 TMS 治療。這樣的設計能最大程度地消除患者心理上的偏見，使得對比結果更加客觀和科學。

(五) TMS 在新適應症開發中的潛力與相關的腦區

經顱磁刺激（TMS）技術在近年來的發展中，顯示出在治療多種神經精神疾病中的潛力。除了最早用於治療頑抗性憂鬱症外，TMS 在多種新適應症的開發中不斷顯示其應用價值，涵蓋包括強迫症、創傷後壓力症候群（PTSD）、成癮行為、焦慮症、帕金森病、癲癇、耳鳴、以及偏頭痛等。每種適應症涉及不同的目標腦區，這些腦區在疾病的病理機制中扮演了不同的角色，因此，針對這些腦區進行靶向刺激是實現症狀改善的重要途徑。

Lesion Network Mapping		
Addiction Remission Joutsa et al. 2022 Nature Medicine	Delusions Dorsey et al. 2017 Brain	Mania Ostrowski, Talsma et al. 2020 JCI
Aggression Peng et al. 2024 Biol. Psych	Depression Padmanabhan et al. 2019 Biol. Psych, Siddali et al. 2021 NHB	Pain Bose et al. 2015 Brain, Kim 2022 Annl. of Neurology
Alice in Wonderland Syndrome Friedlander et al. 2024 Annl. of Neuro	Emotion Regulation Jiang et al. 2023 Biol. Psych	Parkinsonism Joutsa et al. 2018 Brain
Amnesia Ferguson, Lim et al. 2019 Nature Comm.	Epilepsy Schaper et al. 2023 JAMA Neurology	Psychiatric Comorbidity Taylor et al. 2023 Nature Hum. Behav.
Anosognosia Gibson et al. 2023 Annl. of Neurology	Freezing of Gait Passaro et al. 2017 Annl. of Neurology	Post-Traumatic Stress Disorder Siddali et al. 2024 Nature Neurosci.
Aphasia Joutsa et al. 2015 Brain	Free Will Dorsey et al. 2018 PNAS	Religion / Spirituality Ferguson et al. 2022 Bio Psych, Ferguson et al. 2023 PNAS
Blindness Gibson et al. 2022 Annl. of Neurology	Facial Recognition Cohen et al. 2015 Brain	Stroke Severity Joutsa et al. 2016 ACTA
Cervical Dystonia Carp et al. 2024 Brain	Hallucinations Bose et al. 2015 Brain, Kim et al. 2021 Biol Psych	Tics Gibson et al. 2022 Brain
Confabulation Gibson et al. 2023 J. Neurophysiol. Clin. Neurophysiol.	Hemichorea Lagopoulos et al. 2020 Neurology	Tremor Relief Joutsa et al. 2018 Annl. of Neurology
Consciousness Friedlander et al. 2024 Neurology, Sideris et al. 2020 PNAS	Holmes Tremor Holt et al. 2019 Annl. Neurology	Vertigo Li et al. 2023 Brain Comm.
Criminality Dorsey et al. 2018 PNAS	Infantile Seizms Cohen et al. 2021 Annl. Neurology	Reviews: Kim 2018 NEJM, Joutsa et al. 2022 Cur. Opin. Neuro, Joutsa et al. 2023 Brain

1. 腦區定位方法

- (1) 神經導航 (Neuronavigation)：結合 MRI 影像提供精確三維定位，適用於需要高精度的治療
- (2) 基於 M1 的傳統方法：根據運動閾值找到 M1，再以此為參考定位 DLPFC，適用於標準化治療。

2. 腦區包括背外側前額葉皮質 (DLPFC)、前扣帶回 (ACC)、腹內側前額葉皮質 (vmPFC)、初級運動皮質 (M1)、聽覺皮質以及初級感覺皮質 (S1) 等。

3.

(六) 多模態療法 (Multimodal Therapy) 與整合應用的潛力

1. 多模態療法的基本概念

- (1) 多模態療法是指將多種不同治療方法同時應用於患者，以達到更好的治療效果。這些方法可以互補，最大限度地利用各種療法的優勢，尤其是在治療頑抗性精神疾病時，例如頑抗性憂鬱症、強迫症 (OCD) 和創傷後壓力症候群 (PTSD)。
- (2) 在 TMS 應用中，多模態療法通常指將 TMS 與藥物治療、認知行為療法、電刺激療法進行結合，以增強療效並減少症狀復發。

2. TMS 與藥物/心理治療的結合

- (1) Ketamine 與 TMS 的結合：Ketamine 是一種已被用於治療頑抗性憂鬱症的藥物，其快速發揮的抗憂鬱效果被證明與 TMS 具有互補性。Ketamine 能快速改善患者的情緒，而 TMS 則通過影響腦內神經元的活動來促進長期神經塑性，維持持久的療效。這樣的聯合治療可以產生協同作用，使患者在短時間內獲得情緒的顯著改善，並保持長期的穩定效果。
- (2) TMS 也可與傳統抗抑鬱藥物（如選擇性血清素再吸收抑制劑，SSRI）結合使用，藉由藥物作用增加神經遞質的可用性，並通過 TMS 刺激調節相關神經回路，使得治療效果更顯著。藥物與 TMS 的結合可以減少藥物劑量和副作用，並在某些對藥物耐受性差的患者中提供替代選擇。
- (3) 接受 TMS 治療期間進行 CBT，可以幫助患者在大腦神經可塑性提高的狀態下學習新的應對策略，這使得 CBT 的效果更易於持久化。這樣的聯合療法特別適合那些情緒管理和行為調節有困難的患者

3. 多模態療法的潛力與應用前景

- (1) **針對複雜精神疾病的整合治療**：精神疾病往往涉及多個神經回路和病理機制，單一療法可能無法滿足患者的需求。多模態療法的應用使治療能夠更靈活地針對不同的病理機制進行干預，增強療效。例如，在治療頑抗性憂鬱症時，聯合使用 TMS、Ketamine 和 CBT 可以使患者在短期內獲得顯著的情緒改善，並通過行為和認知上的改變來維持長期效果。
- (2) **個性化治療的潛力**：多模態療法特別強調個性化治療的重要性。根據患者的病史、症狀表現和治療反應來選擇合適的治療組合，能夠有效提高療效。這種靈活性使得多模態療法成為一些難治性精神疾病患者的重要選擇，因為它能針對患者的個別需求進行調整，使治療更具針對性。

(七) 密集性課程對於中生代醫師的實用性與挑戰

密集性課程對於中生代醫師或無法長期離開職場的同仁而言，確實是一個實用的選擇，能夠在短時間內達成重點式學習的效果。此類課程的主要優點在於時間集中、重點明確，使參與者能有效掌握關鍵知識，涵蓋系統性學習、臨床應用、研究及相關基礎知識，並結合最新的研究工具，讓學員快速提升臨床技能與研究能力。

在這樣的架構下，密集性課程能夠提供系統化的知識整合。課程設計通常包含臨床與研究的基礎理論，以及最新的研究工具，如統計軟體、影像分析技術或生物標記評估方法等，讓參與者獲得足夠的基礎以應用於臨床或學術研究工作。這樣的安排確保了短期內的知識轉移，並提供參與者一個紮實的知識框架，便於日後在工作中靈活運用。

然而，這類課程的缺點在於較難有效融入國際文化，並培養長期的人脈關係。由於課程時間較短，學員之間的互動和合作相對受限，難以在短時間內建立深厚的人際關係和跨文化理解，而這通常是長期課程的核心優勢之一。此外，短期課程結構使參與者接觸國際學術文化的深度有限，難以深入體驗和適應不同文化背景的學術環境和思維方式。

總體而言，密集性課程提供了快速系統性學習的機會，並且在臨床、研究及基礎知識方面達到平衡，適合需要快速充電的醫師和同仁。然而，為彌補人脈和國際文化交流的不足，參與者可以考慮在課後參加國際學術會議或專業研討會，增進與國際同行的聯繫並拓展視野。

(八) 臨床與研究分工的優勢：Harvard 教學醫院的規劃經驗

Harvard Medical School 的教學醫院 Berenson-Allen Center for Noninvasive Brain Stimulation (Beth Israel Deaconess Medical Center) 在規劃臨床服務與研究實驗室時，採用了明確的區隔方式，展現了多重優勢。臨床服務設置於一樓，提供一個較為開放和輕鬆的空間，以病患服務為主，使他們能夠在舒適的環境中接受治療。由專業技術人員操作儀器，提升了服務的效率，也讓病患透過流暢的轉介流程順利獲得所需治療。這樣的配置使醫師能集中於診斷和病患的轉介，無需參與儀器操作，而技術人員則專注於儀器操作，形成專業且有效的分工。

研究實驗室則設置於四樓，與臨床服務空間獨立分開，以研究導向的配置來支持臨床研究的進行。研究實驗室的成員包括醫師、醫師博士、博士及博士後研究員，專注於臨床研究，並以嚴謹的學術方法探索病理、生理和治療機制。這種研究導向的規劃有效地增強了醫院的學術研究能力，能夠將臨床上的發現轉化為具體的研究問題，進而應用於改善臨床服務，促進診療技術的不斷提升。

這種臨床與研究明確分工的設計有效促進了兩者的協同發展。臨床空間注重病患的舒適和服務效率，而研究實驗室專注於學術研究探索，兩者相互獨立但又密切聯繫，這樣的模式既保持了高效的臨床服務，又推動了學術研究的進步，值得其他醫療機構參考與學習。

四、建議事項

(一) 全面升級設備，購置 TMS 及輔助系統以提升臨床與學術研究能力

1. **購置 TMS Coil**：擴充目前本院 TMS 設備的配備，購置更多類型的 TMS Coil，包括不同形狀與刺激特性的線圈，以適應不同的治療需求，增加靈活性。
2. **購置 Placebo Coil**：增加 placebo coil 以模擬 TMS 的治療過程，但實際上不產生大腦刺激，用於安慰劑對照研究，這能提高臨床試驗的嚴謹性和結果的可信度。
3. **神經導航系統 (Neuronavigation System)**：購置神經導航系統，結合 MRI 或 CT 影像，精準定位 TMS 治療目標，特別適用於個性化、精準醫學應用。導航系統可顯著提升治療的精度，減少治療的變異性，從而提高療效。
4. **閉環控制系統 (Closed-loop Control System)**：購置閉環控制系統，用於即時調整 TMS 治療參數。這些系統可以基於患者的即時生理反應（如 EEG）動態調整治療頻率、強度和位置，確保治療的最佳效果，減少副作用。
5. **fMRI 整合系統 (fMRI Integration System)**：購置與 TMS 設備相整合的 fMRI 系統，用於在治療過程中即時收集患者的大腦影像數據，以觀察大腦反應和刺激效果。這樣的即時影像監控有助於治療的精準調整，並能為學術研究提供豐富的數據支持。
6. **機器人輔助系統 (Robot-Assisted System)**：增加機器人輔助系統以支持 TMS 的高精度治療。機器人輔助技術能確保 TMS 線圈的穩定放置，減少人為操作的誤差，提高治療精度和重複性，特別適用於長期治療或需要高精準定位的患者。

(二) 強化空間分隔與定價策略，建立精準醫學的市場區隔

1. **空間設計與患者體驗**：將臨床服務區域（如 TMS 臨床治療室）設置於易於患者到達的樓層，提供輕鬆和舒適的環境，提升患者的治療體驗。這樣的設計不僅增加患者的便利性，還能減少進出對其他學術研究工作的干擾。
2. **設備升級後的市場差異化**：本院經過設備升級後，將與其他醫院形成顯著的治療精準性差異，可以進行更高階的研究，並提供高品質的治療服務。因此，在臨床應用中，應依據不同技術設備的等級進行定價策略的劃分。例如，對普通 TMS 治療、精準導航 TMS 治療和 fMRI 整合治療進行不同層級的定價，讓患者能根據自身需求選擇合適的治療方案。
3. **研究實驗室的獨立設置**：研究實驗室應設置於較為獨立的樓層，以支持深入且不受干擾的學術研究工作。臨床與學術研究的分隔能確保各自的工作專注度，讓研究人員能充分投入學術探索，進一步提升學術研究成果的產出。

(三) 多模態療法的協同發展，推動創新臨床治療

1. **多模態療法的整合與個性化應用**：根據臨床需求，將經顱磁刺激（TMS）技術與傳統療法（如藥物治療、認知行為療法等）相結合，形成多模態療法。這些結合療法的系統化研究不僅有助於顯著提升療效，還能根據患者的具體症狀進行個性化設計，從而滿足患者的多樣化需求。

2. **拓展 TMS 的新適應症：**拓展經顱磁刺激在其他神經精神疾病中的應用，包括偏頭痛、癲癇、耳鳴、兒童發展性障礙及焦慮症等。進行針對新適應症的臨床試驗和療效評估，為患者提供更多的治療選項。這些新適應症的研究將有助於擴大 TMS 的應用領域，讓更多的患者受益於此非侵入性技術。
3. **推動跨專科合作的潛力：**推動精神科、神經科、成癮醫學等相關科別之間的跨專科合作。透過專科之間的協同，可以針對複雜的神經精神疾病或需要跨領域共同照護的疾病、症狀（如失智症、疼痛、偏頭痛或耳鳴等）共同設計綜合性治療方案。這種合作結合各專科的專業知識和技能，有助於實現多元化和全面的治療方式，提高治療成功率，並提升患者的整體健康狀況。

(四) 打造全球競爭力：國際進修、專業培訓與密集課程提升策略

1. **推動國際學術交流：**積極鼓勵並資助醫院的研究人員及臨床技術人員參加國際學術會議、進修課程及合作研究，促進知識更新和跨文化學習，保持技術領先並強化醫院在全球醫學領域的學術影響力。這將有助於引入國際最新的技術和治療方法，提高醫院的整體專業水平。
2. **內部專業培訓計劃：**定期組織內部培訓，內容包括 TMS 應用、神經導航技術、閉環控制系統及影像分析技術等，確保全體醫療人員掌握最新的技術方法並能夠應用於臨床實踐中。並且，邀請國際專家來院進行專業培訓和學術交流，進一步提升團隊的技術能力和研究水準。
3. **中生代醫師的密集性課程：**迅速提升技能與應對挑戰
 - (1) **設計與優勢：**密集性課程為中生代醫師或無法長期離開職場的醫療人員提供短期集中的學習機會。**其主要優勢在於時間集中的學習、重點明確，能迅速幫助學員掌握臨床應用、研究及基礎知識等關鍵技能。**課程內容應包含最新的研究工具與臨床技能，幫助學員在短期內顯著提升專業能力。
 - (2) **克服局限與增進國際交流：**儘管密集性課程能快速傳遞知識並提升臨床技能，但學員間與國際專業人士的交流受限。為了克服這一局限，建議學員在課後參加國際學術會議或專業研討會，拓展國際視野，增進與國際同行的聯繫，從而彌補短期課程在跨文化交流和深度合作上的不足。

五、 附錄



團體合照



結業證書

