

提案計畫書格式

一一四年度經濟部中小及新創企業署 新創採購-場域實證·共創解題 提案書

提案單位：臺北市立聯合醫院

中華民國一一四年四月二十五日

提案表

提案單位	臺北市立聯合醫院				
提案名稱	無標記運動捕捉與智慧步態評估系統開發與臨床應用				
配合單位	(未來協同業者進行試作、實證之主要局處、單位)				
◆ 提案概要 (具體並簡要說明實證背景、主題)	本提案旨在解決傳統步態分析在臨床應用上的限制，如依賴主觀觀察、缺乏量化指標及高成本設備等問題。針對神經退化性疾病、腦損傷或老化造成肌少症所導致的步態異常，希望能提出一套結合無標記式三維運動捕捉技術與神經肌肉生理訊號（EEG與EMG）的創新步態評估系統。透過電腦視覺技術估算關節三維位置，並轉譯至生物力學模擬平台，以取得運動參數；同時以非侵入式設備同步收集腦部與肌肉訊號，並利用時間同步技術整合各類資料，建立具臨床價值的步態與神經肌肉交互模型。該系統具備多項關鍵功能，包括自動化資料處理、跨系統同步與標記機制，並能建立健康與病理步態常模，提升診斷與追蹤效率。研究場域設於醫院中進行標準化實驗與系統驗證，並由醫院提供倫理審查、場地規劃與資訊支援等行政協助。預期此系統將強化復健療程的個別化規劃與追蹤，為AI預測模型與智慧輔具的發展提供實證基礎。其高模組化與擴充性亦利於應用於臨床與智慧醫療領域，促進產學研合作與神經復健技術的進步。				
◆ 預計期程	依本署補助契約所定契約期間。(以6個月為原則)				
申請單位聯絡窗口及主管	單位名稱	姓名	職稱	電子信箱	聯絡電話及手機
主管	臺北市立聯合醫院	劉建良	失智症中心主任	DAU33@tpech.gov.tw	0979-307014
窗口	臺北市立聯合醫院	梁穎瀧	失智症中心組長	A5079@tpech.gov.tw	0905-210164

申請提案即同意經濟部中小及新創企業署為執行採購案蒐集、處理或利用個人資料及檔案（指自然人之姓名、身分證統一編號、職業、聯絡方式、社會活動、其他得以直接或間接方式識別該個人之資料等個人資料保護法所指之個人資料）所涉個人資料(詳推動作業手冊附件1)。

目錄

壹、問題背景.....	1
貳、解題構想.....	2
參、預期功能或規格.....	5
肆、試作或實證場域及範圍.....	5
伍、提供行政協處內容.....	7
陸、預期期程.....	7
柒、預期效益.....	7
捌、參考資料.....	8

壹、問題背景

步行能力是預測老年人健康與壽命的重要指標之一。根據美國一項涵蓋近三千名70至90歲長者的研究顯示，能否在短時間內完成400公尺步行，與日後健康狀況、心血管疾病風險以及壽命長短密切相關[1]。由於衰弱症與失能、失智症、肌少症高度相關[2]，若能盡早篩檢出高危個案，將可有效延緩失能、促進長者健康。由此可知，步態特徵不僅能反映身體功能狀況，也有助於預測神經系統疾病[3]或骨關節炎的發展[4]，老年人跌倒的可能性[5, 6]，關節手術後的功能結果[7, 8]，或者患者是否需要使用輔助設備[9, 10]。臨床醫師或治療師可以利用步態分析的定量分析來評估治療計劃的有效性，並確定是否有必要調整治療計劃[10]。

然而，傳統步態分析方法多依賴主觀觀察與標準量表，缺乏客觀且高解析度的動作數據，對神經退化性疾病如巴金森氏症、中風後運動障礙，或肌少症引發的步態異常難以準確辨識與長期追蹤。儘管標記式光學運動捕捉系統（如 VICON，圖1）可提供毫米級精度，卻需配戴多組標記器與昂貴設備，並仰賴專業操作且受限於實驗室環境，難以落實於臨床現場與大規模人群研究。此外，患者對穿戴感測器常有抗拒，也降低其在復健場域的接受度與可行性。

為克服上述限制，學界與臨床現場開始尋求無標記、非侵入性、易於部署且具可量化與高再現性的動作分析技術。近年來，基於電腦視覺與深度學習的三維姿勢估計方法日漸成熟，不僅可透過多相機融合建構人體骨架與關節運動軌跡，亦能排除光學遮蔽與環境光干擾等限制，降低對受試者的干擾。這類技術允許受試者穿著日常服裝進行自然行走，有效促進病理步態的捕捉與分析。然而，其精確性仍可能受到相機解析度與被測者距離等因素影響，特別在涉及複雜或快速運動時。

此外，單純依賴動作資訊仍無法揭示導致異常動作的神經機制。因此，若能結合神經肌肉生理訊號—如腦電圖（EEG）與肌電圖（EMG）—與三維標記式運動捕捉技術進行同步分析，將可從動作表現與神經控制兩層面建構一套高解析、可量化且具臨床實用性的步態評估系統。這將有助於精準評估神經外科與復健醫療中患者動作功能變化，並提供客觀依據以協助個別化治療與預後追蹤，回應目前臨床「難量測、難追蹤」的痛點，亦能推動步態分析技術更廣泛應用於臨床決策與大型流行病研究。



圖1： 光學標記式動作捕捉技術（Optical Marker-based Motion Capture）是一種透過攝影機與標記點追蹤人體或物體運動的技術，廣泛應用於動畫製作、遊戲開發、運動科學、醫學研究等領域。其具有高精度與高解析度的優勢，能精準捕捉細微的動作變化，特別適用於需要精細分析的應用領域，例如電影動畫或專業運動訓練。此外，其高速捕捉能力能有效記錄快速動作，確保動作流暢無遺漏。由於使用的是被動反光標記，不會受到無線訊號干擾，也讓整體系統穩定性更高。這類技術已相當成熟，相關設備與軟體的應用範圍廣泛，是業界常見的標準工具。然而，此技術也有一些限制。首先，系統需要在受控且無遮擋的空間中運作，若標記球遭到遮擋即可能影響資料準確性。再者，設備與建置成本昂貴，不僅需要多台高階攝影機，還需專業軟體與技術團隊支援。此外，被捕捉者需穿戴特製服裝與黏貼標記，可能影響自然動作表現。最終，資料還需經過繁複的校正與後處理程序，對時間與人力有較高要求。(Image courtesy of Vicon and Astro Project, LLC)

貳、解題構想

本提案計畫擬整合無標記式三維運動捕捉技術與神經肌肉生理訊號（包括腦電圖 EEG 與肌電圖 EMG）進行同步分析，以建構一套可量化並精確對應的步態評估系統，如圖2所示。

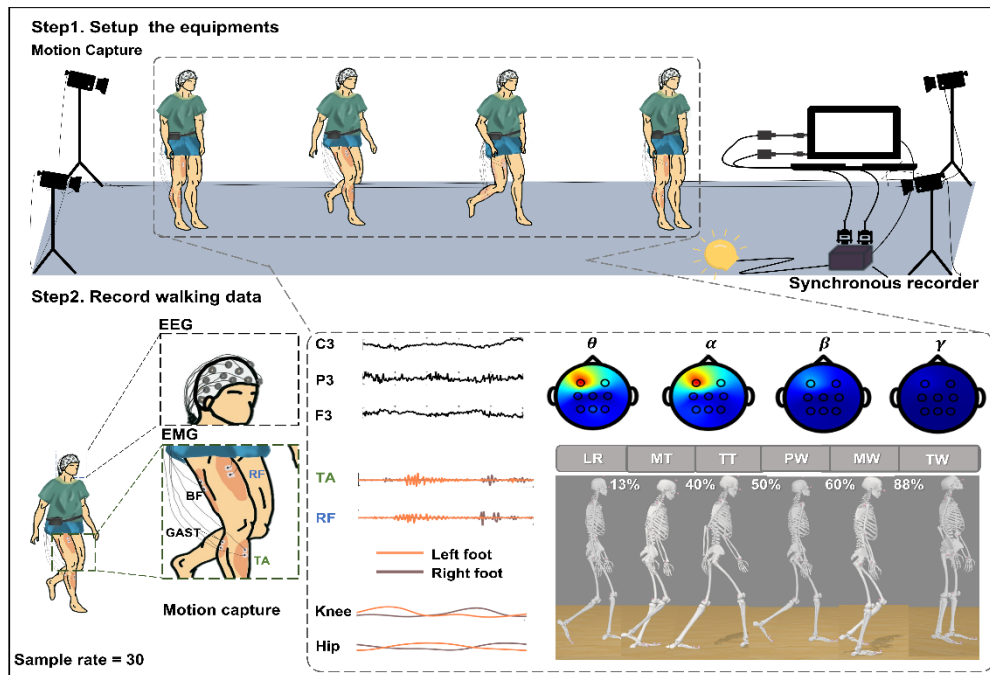


圖2: 系統架設圖。本提案欲開發三維運動捕捉、腦電圖（EEG）與肌電圖（EMG）進行同步記錄。步驟一顯示設備架設情形，運動捕捉系統由四台攝影機圍繞受試者行走區域，透過多視角2D 畫面融合，重建出三維人體骨架姿態（取樣率：30 Hz）。步驟二為實際行走數據的擷取流程。EEG 訊號取自 F3與 P3電極位置，採用符合國際10-20系統的帽式電極，取樣率為500 Hz。EMG 使用雙極濕式電極，分別從雙側脛前肌（TA）、腓腸外側肌（GAST）、股直肌（RF）及股二頭肌（BF）進行紀錄（取樣率：100 Hz）。受試者在紅燈亮起時站立不動，該燈亦同時作為事件標記，透過同步記錄器發送時間點訊號以對齊 EEG、EMG 與運動捕捉資料。10秒的靜止期後，紅燈開始閃爍，提示受試者準備行走，接著燈轉為綠色，並再次發送事件標記，標示步行開始。此同步機制確保各項訊號在時序上的對齊，進而能對完整步態週期進行關節運動學（如膝與髖）、肌肉活化模式與大腦皮質腦波（ θ 、 α 、 β 、 γ 波）等多層次的動作控制分析。

資料來源：本計畫繪製

透過電腦視覺技術進行三維關節位置的推算，並將其轉譯至生物力學模擬平台，以取得關節運動參數。同時，透過受試者於自由步行時配戴非侵入式的 EEG 與 EMG 電生理量測設備，蒐集其神經與肌肉活動訊號，並以同步觸發裝置校正所有資料的時間軸，進一步建構完整且具有臨床意義的步態與神經肌肉交互模型。

近年來電腦影像處理的技術進步，已出現可標註影片中人物的關節骨架演算法，並可在一般的電腦上運行，在攝影鏡頭可拍攝到

的畫面中，人物的關節和骨架的標示已相當準確，但受到遮擋的身體部位，關節骨架標示的準確度較不理想。

本提案構想是以四台攝影機，從四個不同方位對同一受測者拍攝動作影片，標示出同一個受測者四個方向不同的二維關節骨架，一旦獲得二維關節骨架檢測結果，我們使用直接線性變換（direct linear transformation ; DLT）演算法來三角化檢測到的關節點的三維位置。DLT 演算法使用事先透過棋盤格校準的相機參數（位置、方向、解析度、焦距、失真、圖元大小）和二維關節點位置來計算相機座標系中關節點的三維位置。對於這些計算出來的三維關節點，我們應用一個平滑濾波器來減少雜訊並提高所得到的運動學資料的準確性。這個平滑濾波器被單獨應用於每個關節，使用一個固定大小的滑動視窗來平均三維關鍵點位置。滑動視窗的大小是通過實驗確定的，以達到減少噪音和保留時間細節之間的最佳平衡。這些平滑的三維關鍵點位置隨後被作為受測者的三維關節位置（笛卡爾座標），推算出受測者三維關節位置，即可建立一套動作捕捉系統（圖3），進而實現無需配戴標記的三維運動捕捉能力。該系統可於臨床常態操作、能夠高效量測受測者身體動作、同時具備可量化與高再現性的優點。



圖3：無標記式三維動作捕捉系統架構與處理流程示意圖。本系統透過多台攝影機同時從不同角度擷取人體動作影像，並利用電腦視覺演算法自動辨識人體二維關鍵點。接著，運用幾何三角重建與濾波技術，將來自不同視角的二維關節位置融合為對應的三維空間座

標。所得之三維關節資訊進一步對應至預定義的人體骨架模型，並進行反向運動學分析以推算各關節的角度、速度與加速度等動作參數。此技術流程無需穿戴任何感測器，即可高效獲得可量化的身體動作資訊，適用於自然步態之精準評估與後續生物力學分析。

資料來源：本計畫繪製

受測者可身穿一般的衣物，即可進行動作捕捉量測，因為使用四部攝影機，可完全拍攝到受測者身體動作，不會有遮擋，準確度高，受測者以一般行走作為拍攝動作，動作簡單，人人都會，也不需要用到特殊規格攝影機，因此成本可以降低，在未來臨床的使用創造出可行性。解題新創團隊在此計畫中的角色，是將本案構想以資通訊技術加以實現，並在雙方的不同領域專業基礎上，尋找加值應用，如：長期步態追蹤及早發先衰老症狀。

參、預期功能或規格

本系統須具備數項關鍵功能，包括無需配戴標記的三維運動捕捉能力以及自動化資料前處理與分析流程。實驗設計中將同步記錄受試者的腦電與肌電訊號。資料經特徵提取後，進一步建立健康與病理步態常模，提供臨床辨識與治療追蹤的依據。整體系統設計以高通用性與低門檻操作為原則，以利後續在臨床場域中推廣應用。

相關規格如下：

1. 系統須能夠架設於室內綜合空間內，量測受測者的量測範圍至少是為4 m × 4 m的空間面積，量測範圍周邊可堆放桌椅等雜物，並可有人員在旁口頭引導受測者進行量測動作。
2. 系統須能夠架設需在20分鐘內完成。系統校準須在三分鐘內完成。
3. 系統量測完成受測者20秒的動作時間，到三維關節位置的推算完成，須在1分鐘內完成。
4. 量測受測者的步伐長度，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統可達到5公分(含)以內精準度，以實際量測作為誤差計算標準。
5. 系統可量測受測者的步伐速度，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統量測步伐速度可達到95%(含)以上精準度，以

VICON 實際量測作為誤差計算標準。

6. 系統可量測受測者的髖關節屈曲伸展角度，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統量測髖關節屈曲伸展角度可達到95%(含)以上精準度，以 Correlation Coefficient 作為誤差計算標準。髖關節屈曲伸展角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
7. 系統可量測受測者的髖關節外展內收角度，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統量測髖關節外展內收角度可達到80%(含)以上精準度，以 Correlation Coefficient 作為誤差計算標準。髖關節外展內收角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
8. 系統可量測受測者的髖關節旋轉角度，以 VICON 系統作為比較基礎，髖關節旋轉角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
9. 系統可量測受測者的膝關節屈曲伸展角度，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統量測膝關節屈曲伸展角度可達到95%(含)以上精準度，以 Correlation Coefficient 作為誤差計算標準。膝關節屈曲伸展角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
10. 系統可量測受測者的踝關節屈曲背屈，以 VICON 系統作為比較基礎，本系統量測踝關節屈曲背屈可達到80%(含)以上精準度，以 Correlation Coefficient 作為誤差計算標準。踝關節屈曲背屈角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
11. 系統可量測受測者的距下關節角度，以 VICON 系統作為比較基礎，距下關節角度均方根誤差（RMSE）在10度以內。
12. 系統可輸入記錄受測者的性別、身高、體重、年齡等個人身理特徵，與身體所患疾病，紀錄資料須符合 ICD10代碼規範。

肆、試作或實證場域及範圍

本提案與臺北市聯合醫院討論後設置之實驗場域進行，預計於會堆放雜物的綜合使用空間佈建系統，於場地內進行標準化自由步行任務，以行動正常人員的正常走路狀態作為量測對象，並同步進行影像資料之蒐集與儲存，隨實驗進行視狀況，加入非正常人員的走路狀態量測。從社透過此平台的實證測試，我們得以在臨床場域中驗證整合系統之可行性與穩定性，並蒐集高品質資料用於後續演算法訓練與應用模型建立。

伍、提供行政協處內容

為確保順利推展，計畫將依賴醫院端提供多項行政與場務協助。場地之規劃與基礎設施的設置，包含電源、網路與空間使用，將由醫院提供支援。資料儲存與管理亦需仰賴醫療資訊系統協助設立安全資料儲存平台，以保障受試者隱私。同時，協調研究團隊與臨床人員的溝通與排程，也將由醫院行政單位提供協調支援。

陸、預期期程

總時程：補助合約生效至114年11月30日

主要里程碑：

1. 114/07/31前：需求訪談完成，確認規格。
2. 114/09/30前：完成硬體安裝與測試。
3. 114/10/30前：完成軟體安裝與測試。
4. 114/11/20前：完成系統整合與使用測試。
5. 114/11/30前：完成驗收與教育訓練。

柒、預期效益

透過本計畫開發的系統，有望大幅提升臨床步態評估的效率與精確性，使復健醫療能夠根據量化資料進行個別化療程規劃與調整。此外，藉由建立神經肌肉與步態之對應資料庫，可提供後續發展 AI 預測模型與智慧輔具控制系統的實證基礎。此系統亦具高度模組化與擴充性，未來可進一步應用於外骨骼輔具之控制介面，提升病患移動功能與生活品質。整體而言，本研究將對臨床轉譯醫學、神經復健與智慧醫療產業發展產生正面影響，並促進臨床與產學研的跨域合作。

將醫療與電腦影像技術整合，提升復健診療效率，吸引更多醫師及患者配合採用此療法。帶來如下具體效益：

1. 技術創新—輕量化無標記動作捕捉系統：只需幾台高解析度相

機，無需感測器或標記物，讓使用者穿著日常服裝即可輕鬆成運動數據捕捉，這大幅降低傳統動作捕捉系統的門檻，讓技術更廣泛應用。

2. 跨領域應用—動作分析與醫療結合：系統將應用於健康運動訓練、運動傷害復健、神經退化性疾病診斷與治療，未來整合腦電圖（EEG）與肌電圖（EMG）等數據，深入研究步態控制機制，顯示其在醫學領域的革命性影響。
3. 未來展望—多場景應用與外骨骼結合：延伸至遠距雲端復健、跌倒風險評估及脊椎退化疾病研究，並計畫與外骨骼設備結合，為行動受限患者提供支持，帶來恢復行動能力與自信的希望，進一步擴大醫療與科技結合的可能性。

捌、參考資料

1. Studenski, S., et al., *Gait speed and survival in older adults*. Jama, 2011. **305**(1): p. 50-8.
2. Searle, S.D. and K. Rockwood, *Frailty and the risk of cognitive impairment*. Alzheimer's Research & Therapy, 2015. **7**(1): p. 54.
3. Banerjee, D., et al., *Dignity of Older Persons With Mental Health Conditions: Why Should Clinicians Care?* Front Psychiatry, 2021. **12**: p. 774533.
4. Chang, T.Y., et al., *Barriers to depression care among middle-aged and older adults in Taiwan's universal healthcare system*. Lancet Reg Health West Pac, 2022. **26**: p. 100501.
5. Bashshur, R.L., et al., *The Empirical Evidence for Telemedicine Interventions in Mental Disorders*. Telemed J E Health, 2016. **22**(2): p. 87-113.
6. Cho, M.E. and M.J. Kim, *Smart Homes Supporting the Wellness of One or Two-Person Households*. Sensors (Basel), 2022. **22**(20).
7. Baird, M.B., L. Whitney, and C.E. Caedo, *Experiences and Attitudes Among Psychiatric Mental Health Advanced Practice Nurses in the Use of Telemental Health: Results of an Online Survey*. J Am Psychiatr Nurses Assoc, 2018. **24**(3): p. 235-240.
8. Lennox, L., et al., *Making change last? Exploring the value of sustainability approaches in healthcare: a scoping review*. Health Res Policy Syst, 2020. **18**(1): p. 120.
9. MacFarlane, A., et al., *A qualitative study of the educational potential of joint teleconsultations at the primary-secondary care interface*. J Telemed Telecare, 2006. **12 Suppl 1**: p. 22-4.
10. Mather, A.S., et al., *Effects of exercise on depressive symptoms in older adults with poorly responsive depressive disorder: randomised controlled trial*. Br J Psychiatry, 2002. **180**: p. 411-5.