

## 國家科學及技術委員會補助專題研究計畫報告

### 全波段 PPG 感測:光學非侵入式血液資訊量測模組開發研究計畫(II)

報告類別：☒進度報告

☐成果報告：☐完整報告/☐精簡報告

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：NSTC113-2221-E-027-039-MY2

執行期間：113 年 8 月 1 日至 114 年 7 月 31 日

執行機構及系所：國立臺北科技大學電機工程系(所)

計畫主持人：張正春

共同主持人：雙和醫院主治醫師 盧柏文

碩士班研究生-兼任助理：陳翰陞

大專生-兼任助理：王凱鋒

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 \_\_\_\_ 份：

☐執行國際合作與移地研究心得報告

☐出席國際學術會議心得報告

☐出國參訪及考察心得報告

本計畫具有政策應用參考價值：☒否 ☐是，建議提供機關\_\_\_\_\_

(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本計畫具影響公共利益之重大發現：☒否 ☐是

中 華 民 國 114 年 6 月 15 日

# 目錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 前言.....                              | 1  |
| 一、研究目的.....                          | 1  |
| 二、研究方法.....                          | 2  |
| 1. 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組.....        | 2  |
| 2. 改良 AW-PPG 裝置之控制與視覺化應用程式.....      | 2  |
| 3. 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集 ..... | 3  |
| 4. 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構.....         | 3  |
| 1) 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組.....        | 3  |
| 2) 改良 AW-PPG 裝置之控制與視覺化應用程式 .....     | 4  |
| 3) 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集 ..... | 4  |
| 4) 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構.....         | 4  |
| a) 資料前處理.....                        | 4  |
| b) 神經網路模型訓練.....                     | 5  |
| 三、研究結果與討論.....                       | 5  |
| 1. 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組.....        | 5  |
| 2. 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集.....  | 6  |
| 3. 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構.....         | 7  |
| 4. 專利與成果發表.....                      | 7  |
| 四、結論與展望.....                         | 9  |
| 五、參考文獻.....                          | 10 |

# 前言

隨著科技持續快速發展，加上人們對健康意識的日益提升，穿戴式裝置已逐漸成為現代生活中不可或缺的重要工具。智慧手錶、智慧手環等穿戴式設備已不再只是時尚配件，而是具備即時監測功能的健康管理利器。這些裝置能夠全天候監控使用者的日常生理活動，包括步數、心率、血氧濃度、心電圖（ECG）以及睡眠品質等指標，並將這些數據即時回傳至手機應用程式或雲端平台。如此一來，使用者不僅能主動掌握個人健康狀況，亦能在異常發生時即時獲得警示，作為進一步醫療評估與治療的重要依據。

在醫療應用層面，穿戴式裝置的角色日益受到重視，尤其在疾病早期偵測與健康風險預警方面展現出高度潛力。近年來，隨著感測技術的進步與人工智慧分析模型的導入，穿戴式裝置已被視為推動精準醫療與智慧健康照護的重要基礎設施。其中，血糖作為人體代謝功能的重要指標，其監測對慢性病患者，特別是糖尿病患者而言，具有關鍵性意義。糖尿病患者常因胰島素分泌不足或細胞對胰島素反應遲鈍而導致血糖值異常升高。持續且準確的血糖監控，有助於患者更有效地控管病情，並避免因血糖波動過大所導致的急性或慢性併發症。

目前臨床上多數血糖監測方式仍需倚賴侵入式技術，如採血試紙搭配血糖機或連續血糖監測儀（CGM）。雖然此類方法具有一定準確性，但對使用者而言卻常伴隨疼痛、不便與感染風險，進而降低長期使用意願。根據衛生福利部國民健康署的統計數據顯示，台灣目前約有近 200 萬名糖尿病患者，且每年新增患者約為 25,000 人，顯示血糖監控需求日益殷切。更令人憂心的是，糖尿病所引發的併發症眾多，如心血管疾病、中風、視網膜病變、腎衰竭及糖尿病足等，嚴重時甚至可能導致截肢或死亡。因此，如何開發非侵入式、準確且易於長期佩戴的穿戴式血糖監測技術，已成為改善患者生活品質、提升醫療效率的重要課題。

除了糖尿病人口持續增加所帶來的醫療挑戰外，台灣社會亦正面臨高齡化與少子化的雙重壓力。根據國家發展委員會推估，台灣扶養比自 2012 年起持續上升，從 2022 年的 42.2% 預計將於 2030 年增至 53.2%，更將在 2060 年突破 100，顯示未來每位勞動人口需扶養超過一名非勞動人口。在此趨勢下，醫療與照護資源的分配將面臨極大挑戰。如何透過智慧醫療與遠距健康監控系統來降低照護人力需求，已成為不可忽視的未來發展方向。

因此，若能成功研發出一款整合非侵入式血糖感測技術的穿戴式裝置，結合即時資料上傳與遠距健康管理平台，將可為患者提供更安全、便捷與具持續性的健康監控服務。醫療機構亦可藉此獲得精確且連續的病患資料作為臨床參考，提升整體診療效率與病患照護品質。同時，民眾亦可透過手機或其他終端設備即時掌握自身或家中長輩的健康狀況，不僅減少不必要的就醫次數，也能在異常發生時即早處理，預防疾病惡化。

綜上所述，穿戴式裝置在健康監測與智慧醫療領域的應用潛力極為廣泛。未來隨著非侵入式技術的成熟與政策法規的支持，相信將有更多創新型態的穿戴設備問世，為民眾健康把關、為醫療體系減負，打造更加智慧化的健康照護新時代。

## 一、研究目的

傳統的血糖監測方法多為侵入性技術，如使用血糖機進行指尖扎針，或透過抽血獲取樣本。這些方法不僅讓患者承受疼痛與不適，亦可能因重複性操作而增加傷口感染的風險，進而降低定期監測的意願，影響長期健康管理的成效。

為了解決此一問題，光體積描記圖法(Photoplethysmography, PPG)作為一種非侵入性且便捷的生理量測技術，逐漸受到重視。PPG 透過光源照射皮膚並偵測反射光變化，可評估血流動態與相關生理

訊號，特別適合應用於穿戴式裝置中。近年來，複數波段 PPG 技術更進一步發展，透過不同波長的光線穿透皮膚層次，獲取不同深度的生理資訊，目前已廣泛應用於血氧濃度與血壓的監測。

有鑑於此，本計畫提出一套結合全波段光譜感測技術(All-wavelength PPG, AW-PPG)、訊號處理演算法、行動裝置應用程式以及深度神經網路的非侵入式穿戴式血糖量測系統。該系統將突破傳統複數波段 PPG 的限制，透過擴增波段範圍以提升光譜感測維度，並保持裝置輕巧、便攜與非侵入性的優勢。

在系統開發上，研究團隊將整合高靈敏度的 AW-PPG 感測模組與智慧型手機應用，並應用深度學習模型進行光譜資料的降噪與特徵萃取，以提昇量測血糖的準確度與穩定性。為驗證系統效能，本計畫預計與醫療院所合作，進行臨床實驗，蒐集病患的光譜訊號與血糖數據，進行模型訓練與精度評估，評估其臨床應用的可行性與準確性。

在 PPG 技術應用方面，不同波段光源的選擇也會影響量測精度與用途。傳統單波段 PPG 在動態干擾、接觸壓力、膚色與溫度變化下，訊號容易失真，因此須依據應用場景選擇適當波長。複數波段 PPG 則透過多種波段同時量測，提升訊號穩定度並擴展可監測的生理參數，例如紅外光波段常用於量測血氧，而綠光則適合監測心率。AW-PPG 在此基礎上更進一步，涵蓋所有可用波段進行感測，大幅提升量測完整性與可靠性。

綜合而言，本計畫所開發的非侵入式穿戴式血糖量測系統，透過全波段光譜量測與 AI 演算法深度整合，具備準確、高效、便攜等多重優勢。此技術未來不僅可應用於血糖監控，也具潛力擴展至其他血液相關指標的監測。隨著遠距醫療、居家健康照護需求持續升高，此系統可望成為智慧醫療中的關鍵推手，協助建構更完善、即時且個人化的健康照護體系。

## 二、研究方法

本計畫旨在探討具備高穩健性與高精確度的全波段光體積描記圖 (All-wavelength Photoplethysmography, AW-PPG) 訊號採集技術，於量測人體血液生理資訊之可行性。研究重點聚焦於如何有效整合低成本且體積微型化的 AW-PPG 感測技術，應用於個人穿戴式裝置之中，實現日常健康監測之便利性與實用性。

計畫中將開發一套可攜式、操作簡便的 AW-PPG 感測裝置，透過全波段光譜訊號的採集與分析，提供快速、無創的血液資訊量測機制。本計畫不僅致力於提升感測精準度與系統穩定性，也將針對穿戴式裝置的應用需求，進行軟硬體整合與演算法優化，以促進感測技術商品化與智慧醫療場域的實際應用。

本計畫的目標有以下幾點：

### 1. 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組

為突破現行離散時間架構於生理訊號擷取與分析上的限制，本計畫將延續並優化既有裝置，開發具備連續時間訊號採集能力的 AW-PPG 量測模組。該模組將能更完整地擷取血液中的 PPG 訊號，提升訊號解析的完整性與即時性，有助於後續生理參數的準確量測與演算分析。

### 2. 改良 AW-PPG 裝置之控制與視覺化應用程式

為提升使用效率與數據驗證準確性，本計畫將針對去年度計畫以 Android Studio 與 Java 開發的手機應用程式進行優化，整合 AW-PPG 裝置的控制介面與光譜訊號顯示功能，使研究人員能更加直觀地操作裝置、監測數據並進行即時檢視。此應用程式亦將支援模型測試與驗證功能，確保系統於實測階段之效能。

### 3. 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集

為取得多樣性與大樣本量的 AW-PPG 訊號資料，本計畫將與臺北醫學大學合作，於臺北醫學大學新國民醫院及衛生福利部雙和醫院(委由臺北醫學大學興建與經營)執行具人體研究審查委員會(IRB)核准之臨床試驗。使用本計畫開發之 AW-PPG 裝置，實際量測受試者血液資訊，以收集高品質數據用於人工智慧模型訓練。

### 4. 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構

鑒於醫療資料取得困難，尤其與血液參數相關的資料更加珍貴，本計畫將結合資料增強技術與深度學習方法，建構具備高度準確度的 AW-PPG 血液資訊預測模型。透過少量資料下的有效訓練策略，提升模型穩健性與泛化能力，最終驗證 AW-PPG 技術於血糖等血液生理參數量測上的可行性與精準性。

#### 1) 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組

本計畫旨在開發一套基於連續時間架構的全波段光體積描記圖演算法(AWPPG)。傳統 PPG 技術雖已使用連續時間訊號進行感測與處理，並具备良好的運算效率與實作便利性，但現有技術多著重於特定頻段的訊號分析與簡化模型，對於微幅生理變異的動態追蹤與完整波形特徵的解析仍有所限制。

為克服此瓶頸，本計畫預期建構一套具備生理意義且解析度更高的全波段連續時間 AWPPG 訊號處理模型，作為高精度個人化健康監測與穿戴式感測裝置開發之核心技術模組。此架構將能更全面且精細地捕捉與建模生理訊號中的各頻段變化，為非侵入式血液資訊量測奠定堅實基礎。。

在硬體設計方面，本計畫採用以下元件進行系統整合與模組建構：



圖 1. ESP32



圖 2. Nanolambda  
NSP32



圖 3. 240x320 TFT



圖 4. SD 卡和  
SD 卡模組

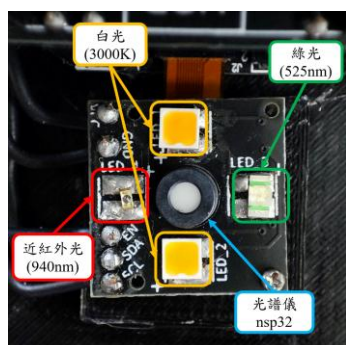


圖 5. 光源模組實體構造

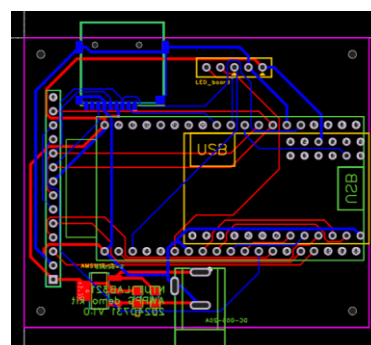


圖 6. 主要電路板 PCB Layout

為實現多波長光源的輸出，本計畫採用德州儀器所推出的驅動晶片，用以控制並驅動多組不同波長的 LED 光源，精確產生所需的光譜範圍。該晶片具備多通道輸出能力，能夠穩定控制各波段 LED 的亮度與切換頻率，確保光源穩定性與光譜覆蓋一致性。

如圖 5 所示，白光 LED 雖然具備涵蓋全波段的光譜能力，但在特定波段上的強度相對不足，特

別是在因人體皮膚對特定波長光的吸收特性下，部分波段的光能無法有效穿透並產生足夠反射訊號。為補足此一不足，本系統額外配置綠光與近紅外光，針對生理訊號較敏感的波段進行加強，以提升整體感測的訊號強度與量測準確度。

此多波長光源模組的設計不僅提升了 PPG 訊號在多層皮膚組織下的穿透能力，也為後續的光譜訊號分析與血液資訊量測提供更高品質的原始數據。

本計畫使用 EDA 電子設計自動化軟體進行電路板(PCB)設計與製作，並採用外接 5V 直流電源作為系統主電源來源。為符合感測模組與微控制單元所需的工作電壓，本系統整合 AMS 穩壓晶片，將輸入電壓穩定降壓至 3.3V，提供全系統穩定且可靠的電力供應。

透過此電源設計架構，可確保包含 ESP32 微控制器、光譜感測器、LED 驅動模組與 TFT 顯示器等元件皆在穩定電壓下運作，提升整體系統的可靠性與訊號穩定性。同時，EDA 所提供的模擬與佈線功能亦有助於快速完成原型設計與迭代修正，加速硬體開發流程。

## 2) 改良 AW-PPG 裝置之控制與視覺化應用程式

本計畫開發並改良了一套專用的手機應用程式，用以控制 AW-PPG 量測裝置並即時檢視光譜訊號。應用程式以 Android Studio 結合 Java 語言開發，透過 藍牙通訊與 AW-PPG 控制電路板進行雙向資料傳輸。

在操作流程上，使用者透過手機應用程式下達量測指令後，指令經由藍牙傳送至 AW-PPG 控制電路板。該電路板接收命令後，依序控制 光源模組進行開關切換，並驅動 Nanolambda NSP32 微型光譜感測晶片執行光譜資料擷取作業。擷取完成的光譜訊號將即時回傳至手機端，並可同步進行全波段光譜收集。

此外，應用程式支援將光譜訊號以 CSV 格式儲存，並可上傳至雲端平台，供實驗室於進行 IRB 臨床試驗收案時，遠端檢視受試者的光譜數據，進行分析與評估。此功能不僅強化資料管理效率，也提升了跨地點醫療合作的便利性。

未來，本應用程式亦將整合深度學習模型訓練成果。當血液資訊模型完成訓練與驗證後，可直接部署至手機端，使用者僅需於介面中選擇欲量測之特定血液項目，即可透過感測器量測光譜並即時進行血液資訊預測與健康評估，實現智慧化、自主化的生理量測功能。

## 3) 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集

本計畫團隊以自行開發之 AW-PPG 裝置，實際進入合作醫療院所執行人體試驗，透過實地操作進行光譜數據蒐集，並同步驗證血液生理資訊量測之準確性與實用性。實驗過程中，結合人工智慧演算法進行資料分析與模型建構，進一步提升血液資訊量測的穩健性與精確性。

為強化 AW-PPG 系統在實務操作中的效能，本計畫亦同步進行裝置優化與功能改良。透過硬體調整與軟體優化，確保所有感測數據具備良好品質，能有效支援後續深度學習模型的訓練與驗證。同時也著眼於使用者經驗，改善裝置在臨床量測環境中的操作便利性與舒適度，提供參與者更良好的量測體驗，並促進高品質資料的穩定蒐集。

## 4) 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構

### a) 資料前處理

本計畫於醫院的臨床試驗，成功蒐集了受試者的光譜訊號與實際血糖數據。光譜訊號部分由微型光譜感測模組擷取，血糖數值則來自受試者當日的抽血檢驗報告。該報告由醫院使用臨床標準儀器進行分析，具備高準確度，可作為本計畫中血糖分類標準的依據。檢驗報告中除了血糖測量結果，也包



含紅血球、白血球、血紅素等。研究人員會根據報告中標示的血糖參考值範圍進行標記，若受測者的血糖值落在參考區間內，即標記為「正常」；反之，若數值超出該範圍，則標記為「不正常」。這些標記資料將作為深度神經網路模型訓練的分類依據。

為提升資料的可視化效果，本計畫將正規化後的數據乘以 255，以映射至 RGB 色彩空間，並生成熱力圖。如圖 11 所示，熱力圖的橫軸表示從 400 奈米至 1000 奈米的光譜波段，縱軸則為樣本編號，顏色變化反映數值高低，顏色越深代表光譜強度越高。如圖 12 所示，時頻圖的橫軸表示時間，縱軸則為表示從 400 奈米至 1000 奈米的光譜波段，此圖為本計畫獨特之 3D-AWPPG 示意圖。透過此視覺化方式，研究人員能快速辨識數據中潛在的趨勢與異常波段，進一步挖掘與血糖變化相關的光譜特徵，為後續的人工智慧模型訓練提供穩固的資料基礎。

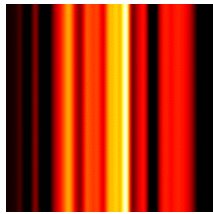


圖 7. 光譜數據資料繪製成之熱力圖

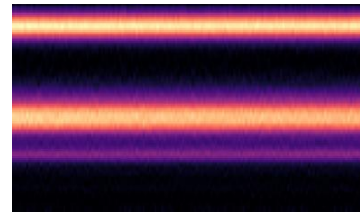


圖 8. 本計畫獨特之 3D-AWPPG 光譜時頻圖



圖 9. 全波段 AW-PPG 訊號萃取示意圖

#### b) 神經網路模型訓練

在本計畫的神經網路模型訓練階段，將採用多種先進的深度學習架構來建立血糖分類模型，具體包含 VGG16、VGG19、ResNet、EfficientNet 以及 Vision Transformer(ViT)等模型。這些架構具備不同的特徵提取能力與網路深度，能夠針對光譜圖像資料進行有效學習與分類，評估其對於血糖數值判斷的適用性。

訓練資料集部分，將使用前述經過標記與前處理的光譜影像資料，並透過資料平衡技術，確保正、負樣本比例均衡，以避免模型在訓練過程中過度偏向特定類別而產生分類偏差。相對地，測試資料集則維持原始分布狀態，不進行樣本再製或平衡，藉此評估模型在真實資料分布下的泛化能力與預測效能。

本計畫藉由上述方法訓練與測試各類深度學習模型，目的在於驗證是否能透過所開發之非侵入式穿戴式血糖量測系統，配合光譜數據與人工智慧技術，準確進行血糖分類與數值評估。若模型表現良好，將進一步證明此量測架構具備實際應用潛力，為未來無創血糖監測技術的發展奠定基礎。

### 三、研究結果與討論

#### 1. 開發連續時間架構之 AW-PPG 量測模組

本裝置為一套具備連續時間量測架構的全波段光體積描記圖(All-Wavelength PPG, AWPPG)感測系統，其設計目標為突破傳統離散型生理訊號擷取的限制，實現更細緻、即時且穩定的血液光譜數據蒐集。裝置整合微型光譜感測器、LED 光源模組、藍牙通訊模組與控制程式，可搭配手機 APP 或 TFT 顯示模組進行即時操作與資料記錄。

本計畫所研發之 AW-PPG 量測裝置如下圖所示，左圖為 W-Type 穿戴式裝置右圖為 P-Type 攜帶式裝置：



圖 10. 本團隊自研 AWPPG W-Type 裝置與量測 APP(左圖)及 P-Type 裝置(右圖)

## 2. 執行臨床試驗(IRB)進行 AW-PPG 實地數據收集

本計畫團隊實際前往醫院進行 IRB 人體試驗，以收集受試者的 AW-PPG 光譜數據與對應的血液檢驗結果。實驗期間自西元 2023 年 3 月至 2025 年 6 月，並分別於兩個不同醫療機構同步執行資料收集作業。考量各合作醫院作業流程與臨床環境不同，本計畫採取彈性前往頻率：其中一個案場為每月前往一次，另一案場則為每週前往一次，以確保符合各院端之受試者安排與臨床測量流程，並能穩定進行資料累積與實驗監控。最終共蒐集 324 人次的受測資料，包含完整的 AW-PPG 光譜訊號與當日抽血檢驗報告。相關受試者的性別分布與年齡分布分別如圖 15 與圖 16 所示，提供後續資料分析與模型訓練時進行族群結構參考與交叉驗證依據。

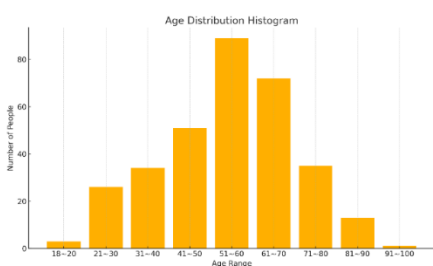


圖 11. IRB 受測者年齡分布

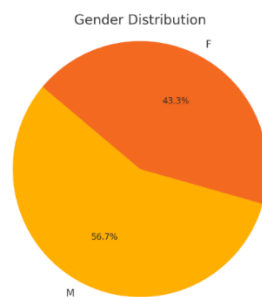


圖 12. IRB 受測者性別分布



圖 13. IRB 受測者量測過程照片

為確保後續深度學習模型訓練時能具備足夠且平衡的資料量，本計畫首先針對所蒐集的血糖項目光譜資料進行分類與統計分析。依據合作醫院所提供之臨床醫學標準值範圍，將血糖數值分為三個主要分類：偏高、正常、偏低，以利評估各類別樣本的分布狀況與平衡程度。

此外，為進一步觀察血糖數據於不同數值區間的細部分布，本計畫亦將血糖值劃分為四個區間：分別為 0–90 mg/dL、90–140 mg/dL、140–200 mg/dL 以及 200–400 mg/dL，用以補充三類分類下的數值階層細節，有助於後續模型在回歸與多分類任務中的靈敏度與適應性設計，目前初步訓練成果達到七成準確度，預期在單一使用者追蹤模式下可達九成準確度。

在確認各類別與各區間的樣本人次後，研究團隊據以規劃模型訓練策略與資料前處理方法，確保模型學習過程不會因資料不均而產生分類偏誤。透過此步驟可全面掌握血糖樣本的整體結構，為模型



架構設計、損失函數選擇與驗證方式提供依據，進一步提升分類準確性與模型泛化能力。

本計畫將所有受測者依性別分為男性組與女性組，並分別統計其於血糖三分類以及四區間分類中的樣本人次分布情況。此舉亦有助於觀察不同性別在各血糖區間的實際分布差異，進一步分析模型在性別面向下是否存在潛在偏差。男性組與女性組的血糖分類與區間分布結果將作為模型訓練與評估過程中的重要參考基礎，有助於建立更具公平性與泛化能力的血糖預測模型。

3. 導入深度神經網路進行血液資訊量測模型建構

本計畫以所開發之 AW-PPG 裝置為基礎，蒐集受測者的多波段光譜數據，並將該光譜數據經過前處理後，轉換為熱力圖形式，用以進行視覺化與模型輸入。熱力圖可有效呈現不同樣本於各波段光譜強度的差異，便於深度學習模型進行空間與光譜特徵的提取。

在模型建構方面，本計畫採用多種主流神經網路架構進行比較與驗證，包含 VGG16、VGG19、ResNet、EfficientNet 以及 Vision Transformer(ViT) 等。這些架構皆具備優異的影像辨識與分類能力，透過大量光譜熱圖資料進行訓練與測試，以建立能夠預測血糖或其他血液項目之分類模型。訓練過程中將評估各模型的效能差異，以判斷在非侵入式光譜訊號資料下，是否能達到更準確與穩定的預測表現。

4. 專利與成果發表

- 目前已取得：
  1. 台灣發明專利申請案：「穿戴裝置與應用其上之光強度數據值選用與判讀方法」(申請號：111150853)。



圖 14.台灣發明專利申請書

- 目前正進行：
  1. 國家新創獎申請：已進入文件審查階段，主題為「使用光體積描記圖法於穿戴裝置測量生化數值」。



## 四、結論與展望

- 目前已完成項目如下表所示：

| 項目      | 說明內容  | 補充說明                           |
|---------|---|--------------------------------|
| 硬體組裝    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 已完成第一代原型裝置開發與組裝</li> <li>- 結構包含多波長 LED 光源、光學模組、控制電路與電源單元</li> <li>- 採用 EDA 電路設計、3D 打樣、小批量測試</li> </ul> | 已驗證模組整合與訊號穩定性搭配藍牙通訊，具備連續光學監測能力 |
| App 開發  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Android App 開發完成</li> <li>- 具備藍牙連線、即時資料接收與圖表顯示功能</li> <li>- 支援資料上傳與操作簡易性</li> </ul>                    | 架構具擴充性，利於後續整合報表與通知功能           |
| 數據採集    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 進行多位受測者之連續 AWPPG 訊號採樣</li> <li>- 建立光譜數據庫</li> <li>- 已完成初步標準化與分類儲存</li> </ul>                           | 提供演算法訓練所需資料基礎提升泛化能力            |
| AI 模型訓練 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 導入機器學習訓練流程</li> <li>- 擷取訊號特徵與生理變化之統計關聯</li> <li>- 初步模型具辨識功能，作為平台智慧化基礎</li> </ul>                       | 將可進一步導入深度學習強化模型準確性             |

- 未來展望工作如下表所示：

| 階段     | 說明內容  | 補充說明                         |
|--------|---|------------------------------|
| 原型設計階段 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 完成第一代裝置開發，整合光源、感測、控制與電池模組</li> <li>- 具備藍牙傳輸與連續量測功能</li> <li>- 擬定第二代設計優化方向（輕量化、防水等）</li> </ul>            | 建立基本功能樣機，確保裝置可操作、可測試、可優化     |
| 臨床驗證階段 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 與醫學中心合作進行觀察性試驗，驗證血糖／血色素偵測之穩定性</li> <li>- 臨床數據將用於 TFDA / FDA 取證與模型調校</li> <li>- 評估配戴舒適度與使用者接受度</li> </ul> | 建立法規符合性依據，並提供進一步優化演算法與應用場景導向 |
| 技術移轉階段 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 依裝置成熟度推動技術授權或合作轉移</li> <li>- 轉移範圍涵蓋電路設計、演算法、軟體介面與測試規格</li> <li>- 提供臨床數據與測試報告加速導入</li> </ul>              | 與醫材業者或品牌商合作，實現快速量產與商品化落地     |
| 醫材量產階段 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 委由具 ISO 13485 認證醫材廠負責製造全流程</li> <li>- 提供圖說、零件規格、檢測標準與產線指導</li> <li>- 實施初期製程驗證，確保一致性與品質可控</li> </ul>      | 建立穩定製造供應鏈，支援市場規模化推展與快速產品迭代需求 |

## 五、參考文獻

- [1] C. Chang, C. Wu, B. Choi, and T. Fang, “MW-PPG Sensor: An On-Chip Spectrometer Approach Sensors,” *Sensors*, vol. 19, no. 17, pp. 3698–3714, Aug. 2019.
- [2] S.-H. Chen, Y.-C. Chuang, and C.-C. Chang, “Development of a Portable All-Wavelength PPG Sensing Device for Robust Adaptive-Depth Measurement: A Spectrometer Approach with a Hydrostatic Measurement Example,” *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6556, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s20226556>
- [3] T. Maeda, H. Sekine, and K. Yamakoshi, “Multi-Wavelength Photoplethysmography for Blood Component Detection,” *Sensors*, vol. 20, no. 15, p. 4273, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s20154273>
- [4] T. T. Islam, M. W. Rahman, and M. U. Mahfuz, “Blood Glucose Level Regression for Smartphone PPG Signals Using Machine Learning,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 2, p. 618, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11020618>
- [5] T. Zhu, Z. Li, and T. Li, “A Novel Neural Network Framework for Predicting Glucose Levels Using Photoplethysmography,” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 7, pp. 1918–1928, Jul. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.9082808>
- [6] S. K. Habbu, S. Joshi, and M. Dale, “Non-invasive Blood Glucose Monitoring Using PPG Signals and Machine Learning Techniques,” *Wireless Personal Communications*, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11277-024-11070-x>
- [7] A. Prabha, M. Sinha, and N. Sharma, “Intelligent Estimation of Blood Glucose Level Using Wristband PPG Signal and Physiological Parameters,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 78, p. 103876, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103876>
- [8] E. Susana, R. Wahyuni, and D. Pradipta, “Non-Invasive Classification of Blood Glucose Level for Early Detection Diabetes Based on Photoplethysmography Signal,” *Information*, vol. 13, no. 2, p. 59, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/info13020059>
- [9] S. S. Gupta, P. Shukla, A. Sharma, and S. Rajalakshmi, “Towards Non-Invasive Blood Glucose Measurement Using Machine Learning: An All-Purpose PPG System Design,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 68, p. 102706, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102706>
- [10] M. Tan and Q. V. Le, “EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks,” *arXiv preprint*, arXiv:1905.11946, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1905.11946>
- [11] “衛生福利部國民健康署 2017-2020 年「國民營養健康狀況變遷調查」” [Online]. Available: <https://www.hpa.gov.tw/Pages/List.aspx?nodeid=3998>
- [12] “國家發展委員會扶養比趨勢” [Online]. Available: [https://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=695E69E28C6AC7F3](https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=695E69E28C6AC7F3)