

應用無參照物單目視覺肢體量 測於脈波傳導速度評估

*Application of Reference-Free Monocular Vision Limb
Measurement in Pulse Wave Velocity Assessment*

專題成員：蘇奕安

指導教授：詹慧伶

目錄

- 研究動機與目的
- 脈波傳導速度PWV介紹
- 研究流程
- 研究方法
- 研究成果
- 總結

研究動機與目的

• 動機

- 動脈硬化程度是用來評估心血管疾病的重要指標，而脈波傳導速度（PWV）為目前最廣泛應用的評估方式之一。
- 然而，傳統PWV測量儀器在推算脈波傳導距離時多仰賴基於身高的常模公式，進而忽略了人體先天肢體比例的個體差異（如長腿短手等），容易在測量上產生系統性誤差，影響臨床診斷的精準度與準確性。

• 目的

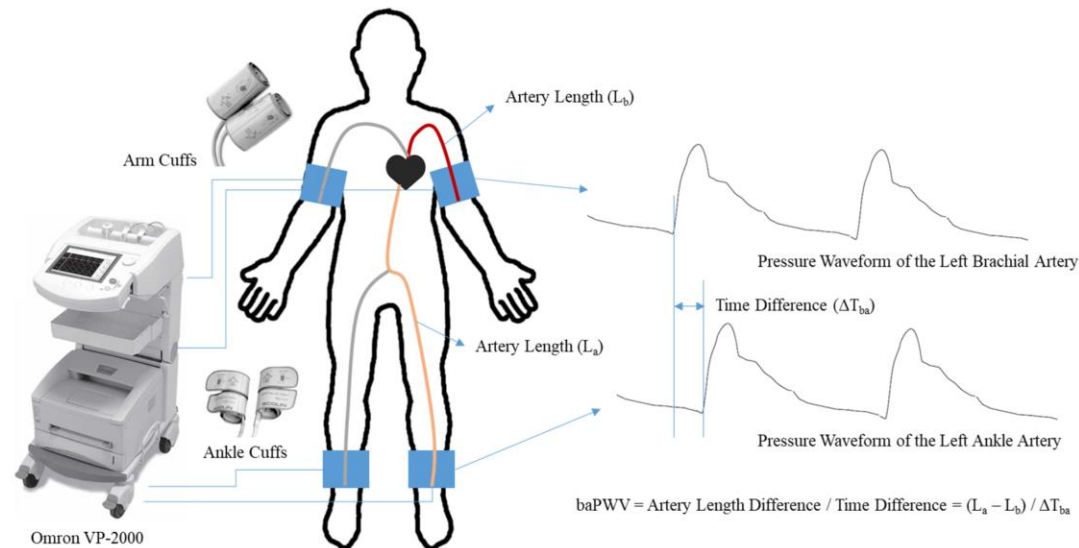
- 本研究旨在開發一套「應用非接觸式肢體量測於PWV之評估系統」。
- 我們期望通過單目視覺技術結合骨架偵測技術，達到相較常模更精準、且能克服個體比例差異的肢體長度測量，進而提升PWV的評估準確性。

脈波傳導速度 Pulse Wave Velocity (PWV)

- 在心血管醫學中，PWV是評估動脈硬化程度的標準之一
- 運作原理：當心臟打出血液時，會產生脈搏拍動通過動脈傳送到手腳。**血管越硬，彈性越差，脈波傳播的速度就越快。**
- 評估標準：**PWV值越大，代表動脈硬化越嚴重**，罹患心血管疾病（如中風、冠狀動脈疾病）的風險也越高
- 常見的PWV種類包含
 - baPWV 手臂-腳踝
 - ftPWV 大拇指-腳拇趾
 - cfPWV 頸動脈-股動脈

脈波傳導速度 Pulse Wave Velocity (PWV)

- 以baPWV為例
- 計算方式為：
$$\frac{(\text{心臟至腳踝總長}) - (\text{心臟至手臂總長})}{(\text{腳踝PTT} - \text{手臂PTT})} = \frac{\text{距離差}}{\text{時間差}}$$
- PTT為Pulse Transit Time，為脈波從心臟傳遞到該位置的時間



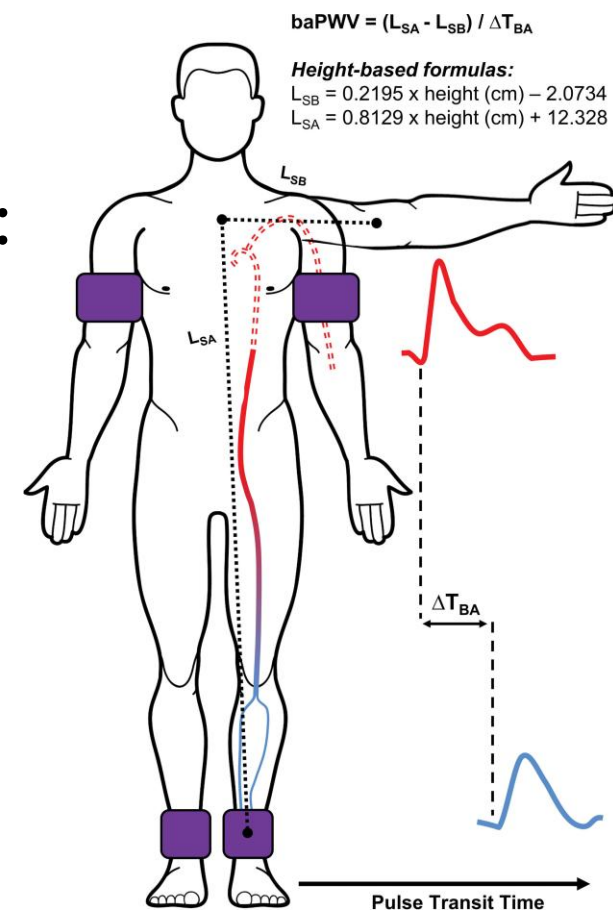
PWV 常模公式

- 大多PWV機器僅僅量測「時間差」的部分，而「距離差」的部分則通過基於人物身高的常模公式來推測

- 以下為部分PWV種類常見的計算距離差的常模公式：

- ftPWV： $0.336 \times \text{身高}$
- baPWV： $0.5934 \times \text{身高} + 14.4014$

- 可以發現常模公式大多僅依賴身高作為標準計算

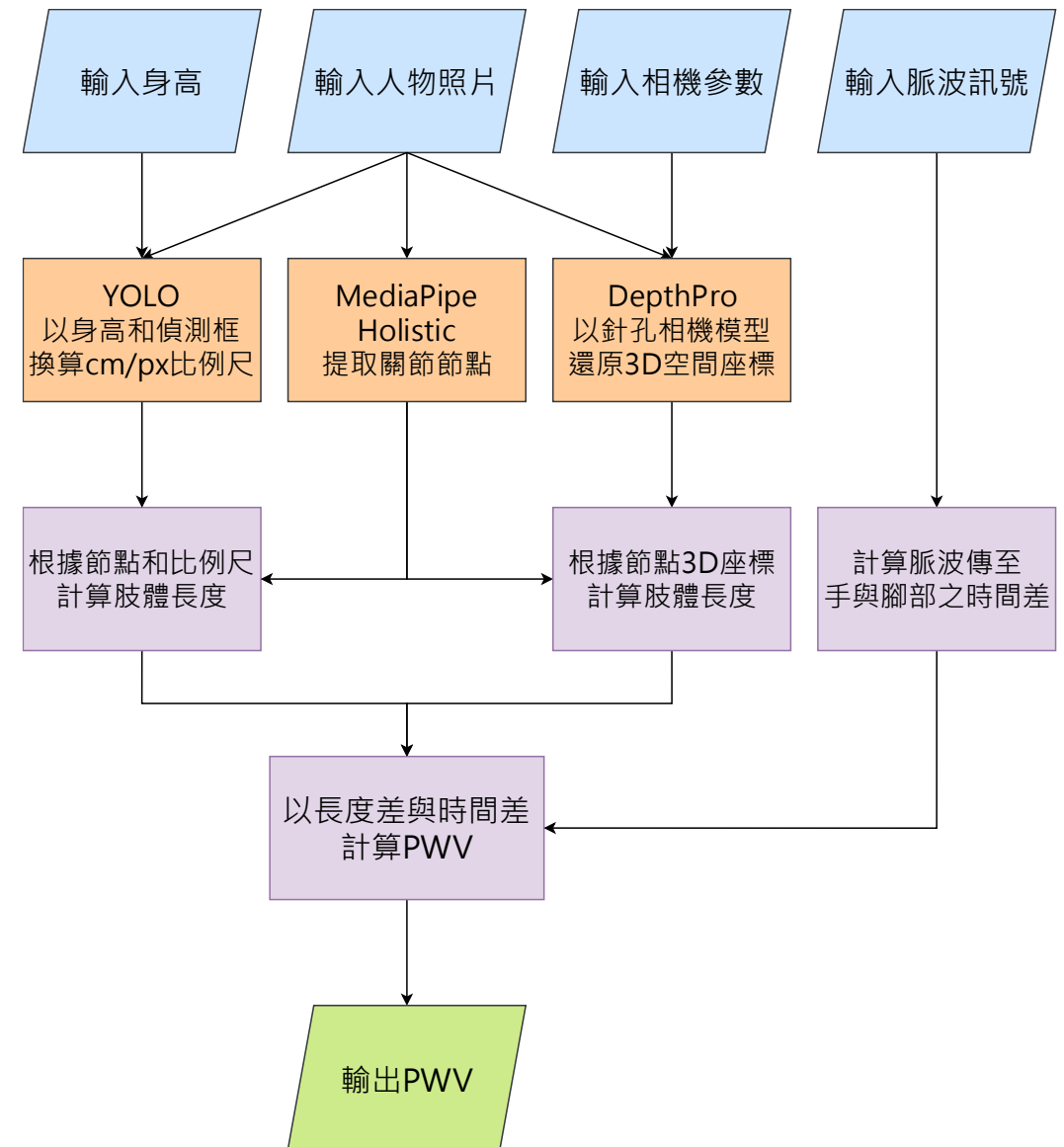


如何解決此問題

- 為了獲得更準確的距離參數，有沒有什麼好方法？
- 直接拿捲尺量不就好了嗎 → 費時、費人力
- 若是我們能夠用一張照片，就能知道那個人的詳細肢體長度……
- 優點：
 - 省時：無須花費大量時間進行實際測量
 - 通用性高：可克服常模在面對相同身高不同肢體長度時的誤差
 - 方便：只需一張全身照即可

研究流程

- 1. 招募受試者，拍攝他們的全身照、量測實際肢體長度、並收集ECG與PPG訊號和實際PWV數值
- 2. 透過照片估測實際肢體長度
- 3. 評估估測出的肢體長度的誤差，同時與根據常模所得到的肢體長度進行比較
- 4. 使用估測出的肢體長度計算PWV，並與實際PWV進行比較驗證可行性

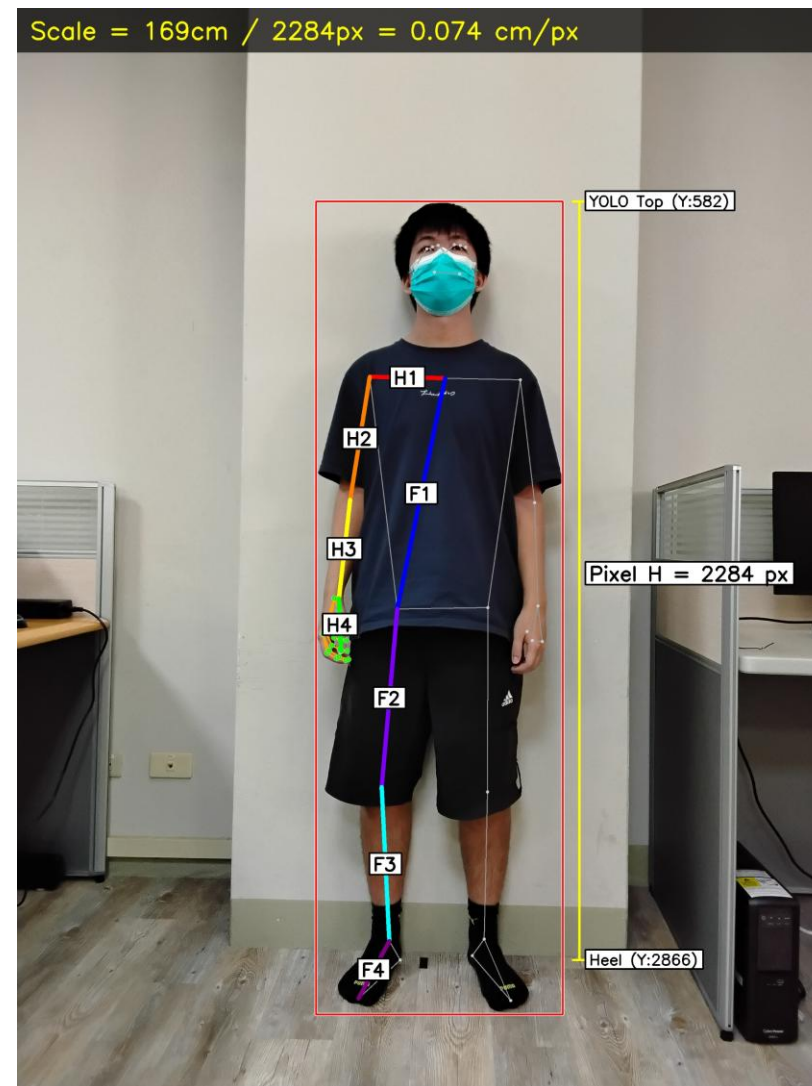


肢體長度估測辦法1 – YOLO方法

- 偵測人物位置搭配人物身高H，推算其肢體長度
- 研究流程：
 1. 拍攝人物全身照片，並且同時量測其實際肢體長度
 2. 使用MediaPipe抓取人體關節節點，並針對要計算的長度區間做標記
 3. 使用YOLO偵測框圈選出人物位置，得知人物的高度占了總共P格像素
 4. 將H除以P，得到一格像素對應到現實世界長度的比例尺： $X \text{ cm/pixel}$
 5. 計算標記長度區間的總像素格，乘以比例尺X，即可推算出肢體長度
 6. 將預測之肢體長度與實際肢體長度比較，分析誤差

肢體長度估測辦法1 – YOLO方法

- 假設要計算ftPWV（大拇指-腳拇趾）
- $S = 169\text{cm}/2284\text{pixel} \rightarrow 0.074\text{cm/px}$
- H1~H4：心臟~手指的距離(px)
- F1~F4：心臟~腳趾的距離(px)
- 距離差 = (F1~F4 - H1~H4) * S

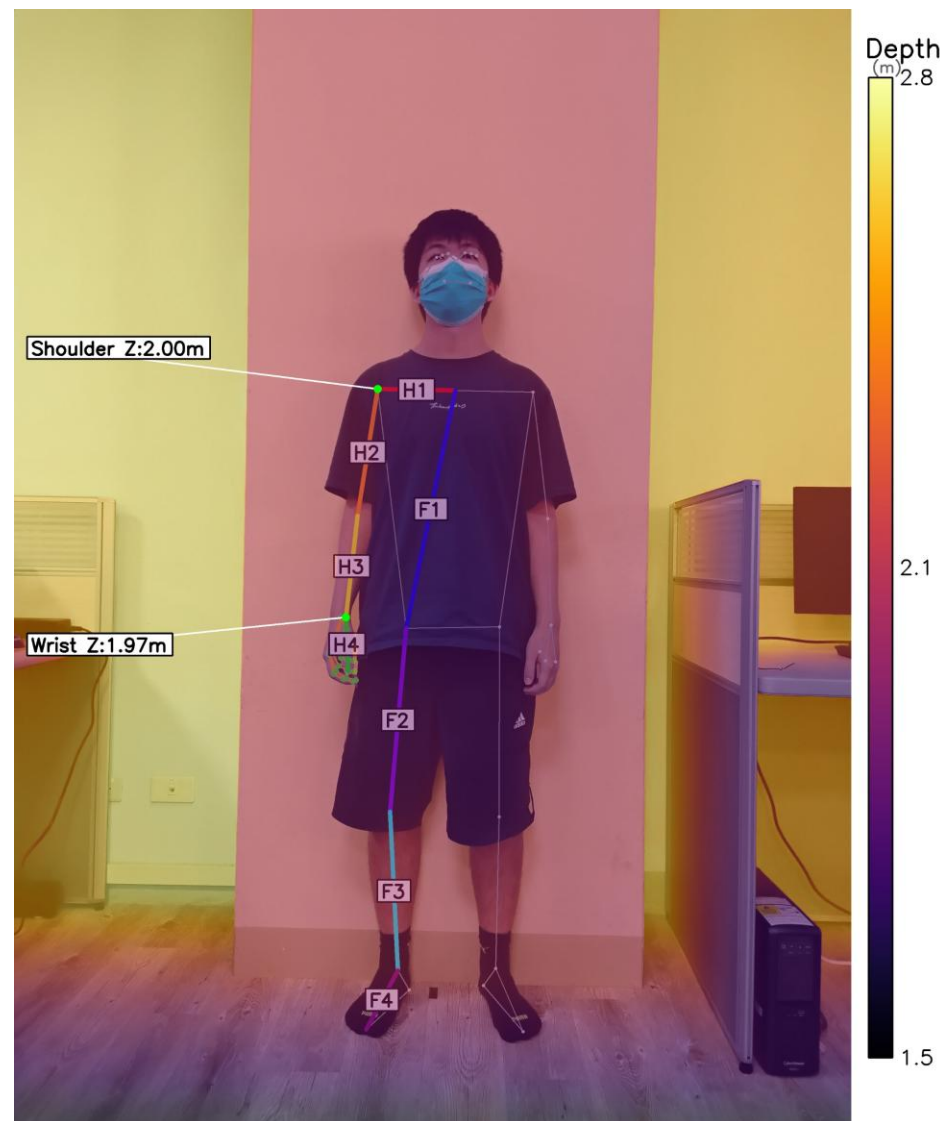
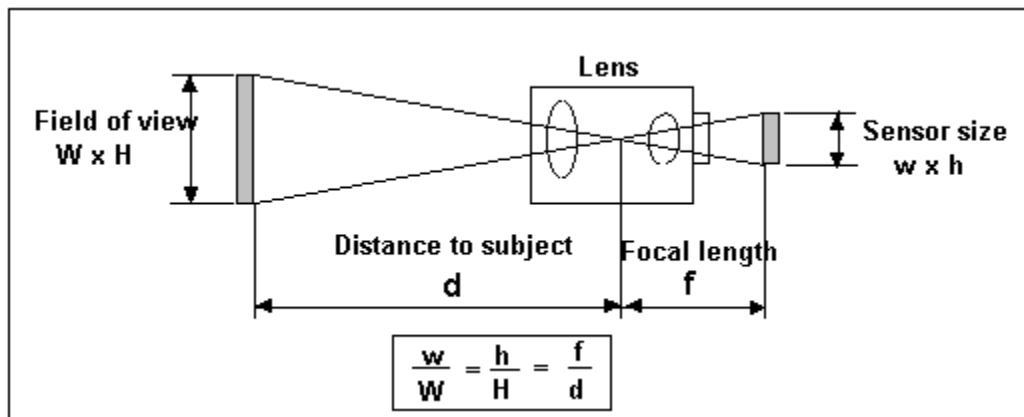


肢體長度估測辦法2 – DepthPro方法

- 將照片2D座標轉化為實際3D空間座標，推算其肢體長度
- 研究流程：
 1. 拍攝人物全身照片，並且同時量測其實際肢體長度
 2. 使用MediaPipe抓取人體關節節點，並針對要計算的長度區間做標記
 3. 使用DepthPro得到照片之真實深度
 4. 以針孔相機模型對標記點進行3D座標轉換
 5. 根據標記節點之真實3D座標，即可推算出肢體長度
 6. 將估測之肢體長度與實際肢體長度比較，分析誤差

肢體長度估測辦法2 – DepthPro方法

- 針孔相機模型：提供了相片中每一像素與像素於真實世界位置的轉換關係
- 根據相似三角形，我們能得出：
- 真實物體的座標 = 深度 * 照片中物體的座標 / 焦距



研究成果

- 目前收集了60名受試者的資料，受試者各項分布如下表

性別	數量
男性	14
女性	46

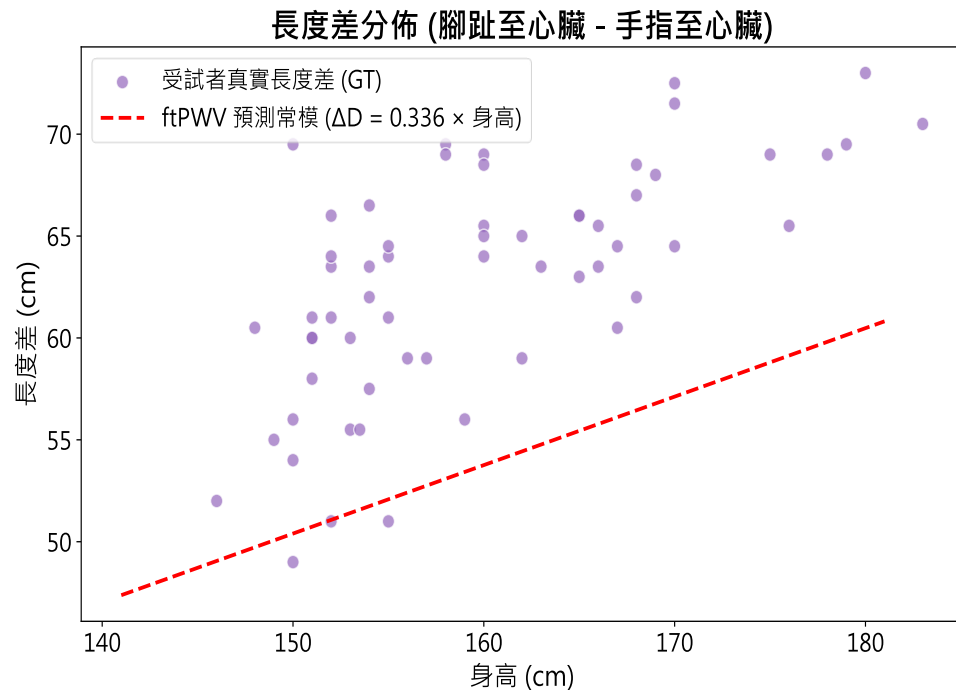
年齡區間	數量
<30	20
30~45	3
45~60	5
60~75	23
>75	9

身高區間	數量
<150cm	3
150~160cm	29
160~170cm	19
170~180cm	7
>180cm	2

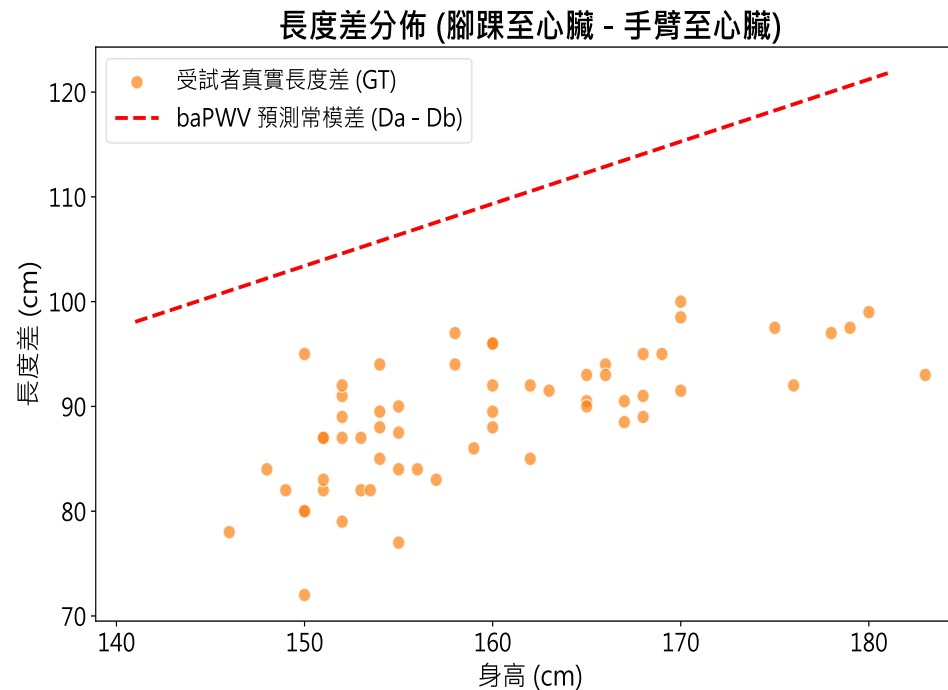
研究成果 – 實際長度差 VS 常模

- 根據下兩圖，我們能得知不論是ftPWV的常模或是baPWV的常模都無法準確的代表每個人的不同肢體特徵

受試者真實長度差與 ftPWV 身高常模之分佈對照



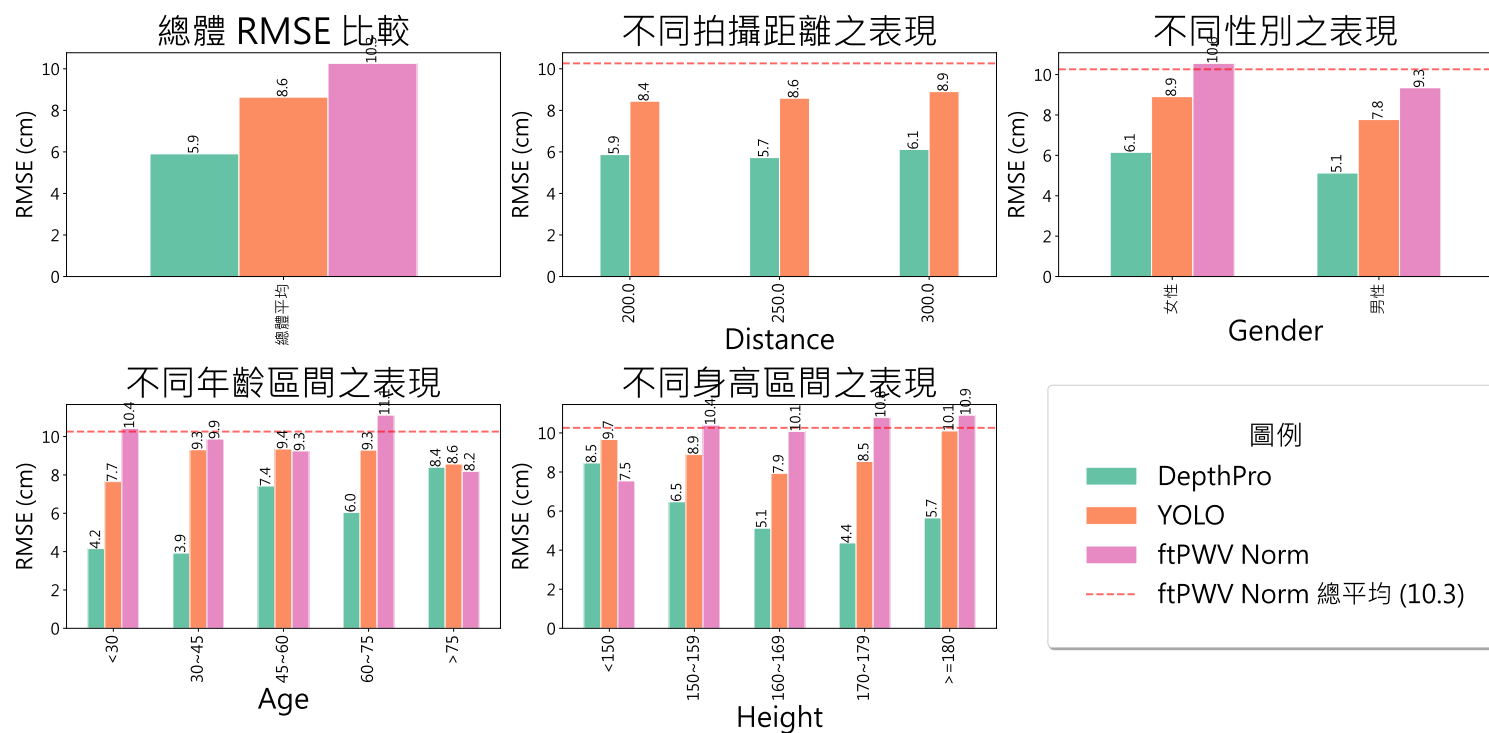
受試者真實長度差與 baPWV 身高常模之分佈對照



研究成果 – 不同估測方法 vs ftPWV 常模

- 根據下圖，能發現不論是使用YOLO方法或是DepthPro方法，在絕大部分情況下的RMSE誤差都比使用ftPWV常模時來的小

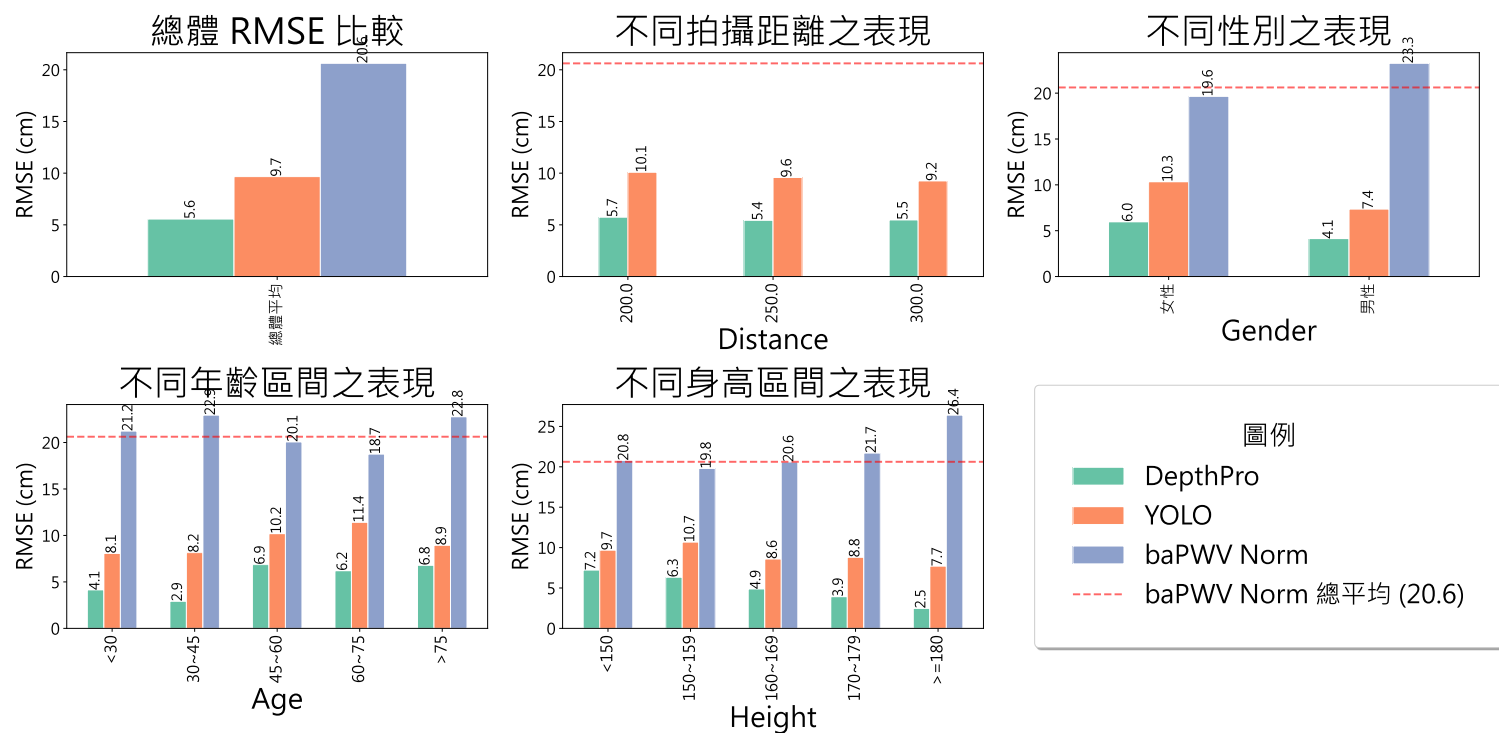
單目視覺技術 vs ftPWV常模 - 長度差(Leg-Arm) RMSE 評估



研究成果 – 不同估測方法 vs baPWV 常模

- 根據下圖，能發現不論是使用YOLO方法或是DepthPro方法，在絕大部分情況下的RMSE誤差都比使用baPWV常模時來的小

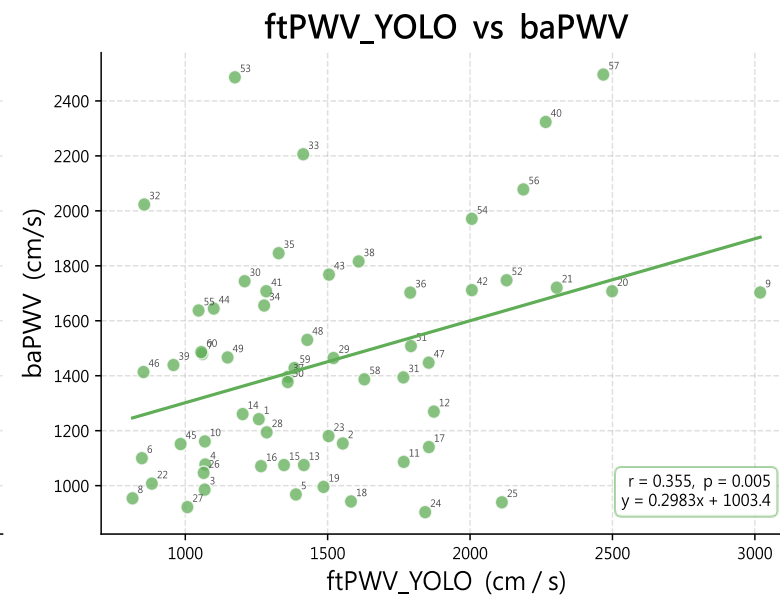
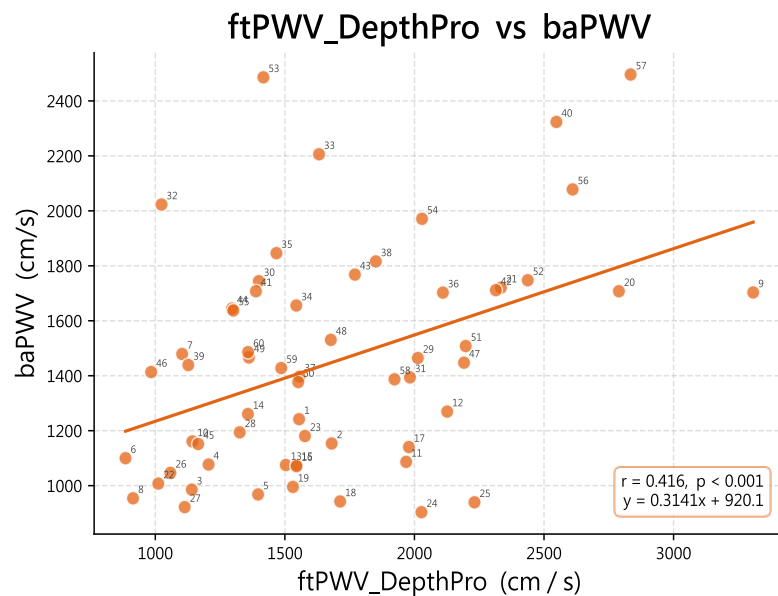
單目視覺技術 vs baPWV常模 - 長度差(Leg-Arm) RMSE 評估



研究成果 – 應用於PWV估測之可行性

- 將使用不同單目視覺方法估測之距離差於計算ftPWV上所得知結果與使用專業醫療器材所計算出來的baPWV相比
- 結果顯示，以單目視覺方法計算出來的ftPWV與實際baPWV具有中度相關

ftPWV vs baPWV — 相關性分析



總結

- 本研究成功達成以下成果：
 - 1. **技術突破**：成功驗證無參照物單目視覺技術可替代傳統PWV常模於肢體長度預測。
 - 2. **高度參考價值**：透過與專業醫療器材所計算出的PWV數值比較，成功驗證了應用無參照物單目視覺肢體量測於脈波傳導速度評估的可行性。
 - 3. **居家醫療潛力**：我們為「遠距PWV測量與計算」提供了一套極具可行性、低成本的解決方案。

參考資料與圖片來源

- <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/7/2073>
- <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.21314>
- <https://medium.com/image-processing-and-ml-note/pinhole-camera-model-f64cd1b11782>
- <https://arxiv.org/abs/2410.02073>
- <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5389792/>
- <https://steam.oxxostudio.tw/category/python/ai/ai-mediapipe-pose.html>
- <https://steam.oxxostudio.tw/category/python/ai/ai-mediapipe-hand.html>