

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：ESP32 血氧機製作與探討

一、摘要

Max30102 血氧感測器可做為一種新的血氧測量方法，這部裝置可以為一些特殊需求的民眾提供簡易的血氧測量。這種機器目前的準確度還有待各項實驗驗證確認，我們將透過實驗測試機器與放置部位的關係，透過與市售血氧機的比較，以期能結果能統計出能使數值更加精準的測量方法。

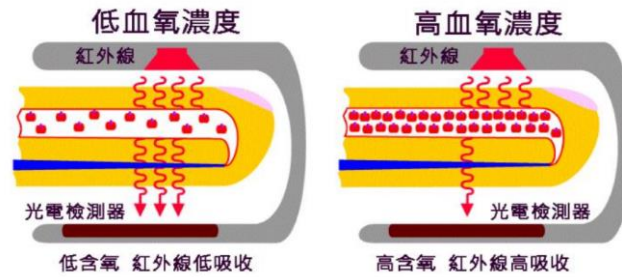
二、探究題目與動機

自 2019 年 10 月 Covid-19 爆發，疫情全球蔓延至今已經邁入第 4 年，其中許多確診者都出現了「快樂缺氧」(Happy Hypoxemia)的情況，沒有任何的外在症狀，但血氧值卻迅速下降，這個狀況導致醫護人員難以察覺並加以處理，容易錯失治療先機，因此疫情也導致血氧機的興起，若能隨時隨地的檢測血氧，人們也能得到及時的資訊及救治。

市面上用於測量血氧的機器千百種，而真正能準確測量的只有抽血一種方式，但這勢必需要跑到醫院，我們思考有沒有什麼辦法是能夠不受時空限制，卻能擁有準確的血氧數值呢？一般常見的血氧機及智慧裝置(例：智慧型手錶)皆有此功能，智慧裝置則容易受到佩戴部位等等的影響，相較來說精確度較高的是夾式血氧機，但這種裝置會使做了美甲的愛美人士無法使用，且貧血患者與患者膚色皆會影響結果，而 Arduino ESP32 血氧套件(Max30102 血氧感測器)就可以解決這個問題，但是這台機器的精確度值得深思，因此我們希望能透過外在變因加強提升它的精確度。

三、探究目的與假設

血氧機的原理是利用紅血球有、無攜帶氧氣，而產生不同吸收光譜的原理，偵測經由特定波長光線照射皮膚後，反射到傳感器的光量所產生的週期變化，分別計算攜帶氧氣的紅血球吸收的光線(紅外線光)及未攜帶氧氣的紅血球吸收的光線(紅光)兩種光線的吸收量比例，量測血液的氧氣含量與飽和度，這種方式被稱為光體積變化描記圖法(Photoplethysmography，簡稱 PPG)，下圖為訊號接收示意圖。



測量心率及血氧的方式可分為「穿透式」(上圖)、「反射式」兩種，「穿透式」是利用指夾區上方紅光及紅外光向下照射，穿過指尖，由底下光電感測器接收光線，市面上的指夾式血氧機皆屬於此種類型；「反射式」較常是在穿戴式裝置上使用，同樣透過光照方式，但因配戴在手腕上光線無法穿透所以採取發射與接收在同一側的量測方法。本實驗所製血氧機採用的是「反射式」的方式。

根據血氧濃度定義公式計算成血氧飽和度 SpO₂，公式如下：

血氧飽和度(SpO₂)=

$$\frac{\text{被氧結合的氧合血紅蛋白(Hb)} \times 100\%}{\text{全部可結合的血紅蛋白(Hb)}} = 100\%$$

本實驗主要使用 ESP32 搭配 MAX30102 心跳血氧機，利用 Arduino 軟體編譯程式輸入至 ESP32 中，透過將手指按壓於紅外線發射器與接收器上，將所擷取之的紅外線訊號經簡易電路處理，以簡易的電子顯示器及 LED 燈光顏色發出訊號。由於指尖有很多末梢血管，相對於適合測量血氧數值，也可以藉由此特性觀察其他部位的適合程度。

根據以上論述，我們實驗目的如下：

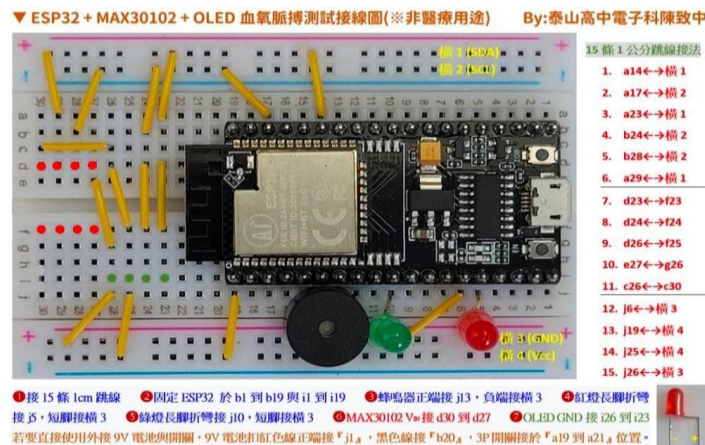
1. 自製 ESP32 血氧機。
2. 檢測個體不同部位及接觸面積對於血氧機偵測的影響。
3. 市售血氧機以及 Arduino ESP32 血氧機的精確度比較。

我們觀察到接觸面積較大回饋反應相對靈敏，因此我們假設人體部位組織血管遍布較密集時，血氧機的準確率，進行以下實驗驗證。

四、探究方法與驗證步驟

1. 自製 ESP32 血氧機。

下圖為泰山高中陳致中老師所製，我們根據此圖參考其作法，先將 ESP32 放在麵包版上貼近 1 的地方，與左右各距一排空格，並將 Max30102 血氧偵測模組置於其正上方底部，OLED 顯示器為了避免與 ESP32 和 30102 的線路重合、衝突，接於兩者旁且錯開兩者的腳位。



圖一：血氧機線路連接圖

上述設計是利用 15 條 U 形跳線連接，因為均未與他線重疊，所以無缺少外皮絕緣亦可，惟有 OLED 顯示器下方的三條跳線需緊貼麵包板，避免接觸 OLED。當偵測到心跳時為了使其發出聲響提醒，加裝蜂鳴器；而紅、綠燈的裝設則是：當綠燈兩起代表心跳血氧數值位在正常範圍值內（心跳 60~100BMP；血氧≥95%），開始量測時通常是呈現紅燈。依照已有的 Arduino 程式，編寫入使血氧機運作。

2. 檢測個體部位接觸面積對於血氧機偵測的影響。

在已知量測對象皆為無貧血、手指感染及血液循環不好等任何問題的健康個體下進行實驗確認，市售的血氧機我們採用 Nonin® Onyx® Vantage 9590 手指式血氧分析機，與我們自製的血氧機同時間進行量測，並用影片記錄輔以計算時間的長短。

表一：拇指直(徑 1.8cm)面積量測數據的平均數值

注:測量時間即自感應起達到穩定數值的時間

次數	一	二	三	四

血氧機	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32
測量時間 (秒)	3.64	20.38	3.82	12.34	3.04	19.26	3.24	21.08
血氧(%)	98	97.3	98	97.8	97	97.7	98	98
心跳(次/ 每分鐘)	89	79	88	72	86	75	87	83

表二：食指(直徑 1.5cm)面積量測數據的平均數值

注:測量時間即自感應起達到穩定數值的時間

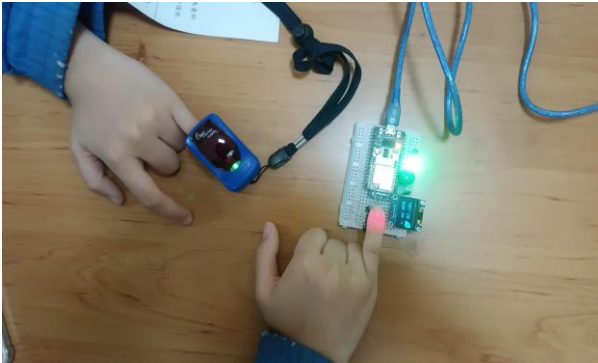
次數	一		二		三		四	
血氧機	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32
測量時間 (秒)	7.68	12.72	3.04	12.7	4.02	22.02	2.92	20.42
血氧(%)	98	97.6	98	95	98	97.4	98	97
心跳(次/ 每分鐘)	84	78	85	85	87	78	86	80

表三：小指(直徑 1.4cm)面積量測數據的平均數值

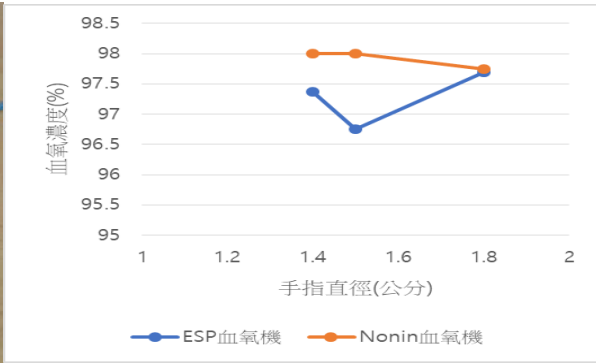
注:測量時間即自感應起達到穩定數值的時間

次數	一		二		三		四	
血氧機	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32	Nonin	ESP32
測量時間 (秒)	3.02	13.22	1.7	14.82	2	18.66	3.84	13.1

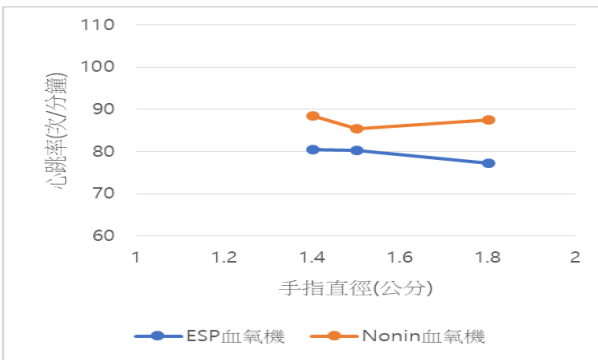
血氧(%)	98	97	98	97	98	98.5	98	97
心跳(次/分鐘)	90	76	89	82	89	89	86	75



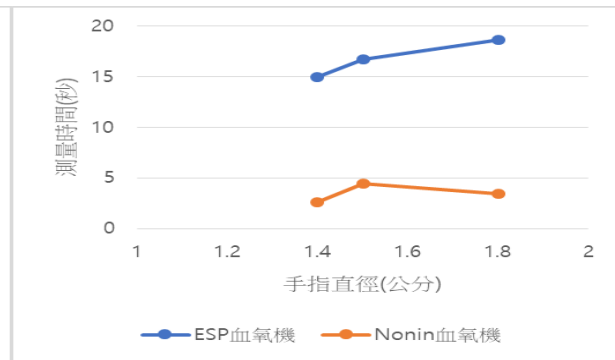
圖一：測試情形



圖二：血氧濃度比較



圖三：心跳率比較



圖四：測量反應時間比較

根據實驗結果推測，接觸面積較小的部位，自製血氧機的感應時間越短(如圖四略有下降的跡象)，另外自製血氧機在心跳檢測的部分較不準確，但血氧濃度與血氣機的數值無顯著差異。實驗中我們也發現一個奇怪的現象，人在講話時心跳應會加快，但自製血氧機的數值卻是下降，但我們目前仍無法確認為這個情形發生的原因。

3. 市售血氧機以及 Arduino ESP32 血氧機的精確度比較。

根據市售的 Nonin 血氧分析機所附說明書，機器已進行 SpO2 準確度測試，且是按照 ISO 80601-2-61 和 ISO 9919 標準(醫學電子設備對基礎安全性的特別要求和指式氧氣測量儀達到醫學應用的基本性能標準)，計算所有受試者的均方根(Arms 值)得到準確度數

據：低灌注下氧飽和度準確度區間(Arms*)70% - 100% SpO2 ±2 digits；脈率準確度區間(Arms*)20 - 250 BPM ±3 digits。自製的血氧機和市售的比起來心跳率數值起伏偏大，但血氧偵測的部分與一般血氧機的數值無顯著差異，在不論心跳情況下，此類血氧機亦可作為日常生活檢測所需。

五、結論與生活應用

根據實驗結果我們做出的推測，量測部位的組織越薄且血管遍布較密集，血氧機能更快測得較準確的數值，和我們實驗前所做的假設相符，此外相較於市售，自製血氧機量測反應所需時間較長，自製血氧機數值是從 0 開始跳轉，需較長時間才能趨向穩定值。在實驗過程中，我們發現值得再探討的問題，在說話時，Nonin 血氧機顯示心跳有加快的跡象；然而，自製血氧機的心跳數值卻逐步退減，針對這點，我們推論是和肌肉牽扯有關聯。

血氧機的出現，讓比較容易發生快樂缺氧症狀的人，包括 65 歲以上長者、糖尿病患者、心肺疾病患者及使用安眠藥者，能不必到醫院抽血，就能及時清楚自身是否面臨缺氧的危機（血氧≤92%），出現問題即可盡快就醫。

參考資料

ESP32 專題(一) 智慧生醫 – 心率血氧機. (2022 年 8 月 24 日).

Aaron H. (2021 年 5 月 25 日). COVID – 19 患者的隱形殺手：快樂缺氧。為什麼會發生？
該如何預防？

Aaron H. (2021 年 6 月 8 日). 血氧機如何監測血氧？穿戴裝置的測量準確嗎？——關於血
氧檢測的二三事

陳致中. (2021 年 7 月 26 日). 新北市高級中等學校血氧偵測雲端校園版教師研習心得分享

尤濬哲. (2022 年 5 月 26 日). 血氧偵測 使用 ESP32 及 Blocklyduino 吉哥積木

高雄醫學大學產業營運處. (2020). 血氧濃度評估

Onyx® Vantage 9590 指式血氧檢測儀中文說明書.