

投稿類別：健康與護理類

篇名：

市售血氧濃度計的比較研究與技術應用

作者：

蕭宜絨。私立曉明女中。高二丙班

陳亭諭。私立曉明女中。高二戊班

蔡函恩。私立曉明女中。高二己班

指導老師：

官淑雲老師

壹、前言

一、研究動機

到醫院去探病，經常能看到諸多顯示生命訊息的儀表數據，例如：血壓、心率、血氧濃度等數值。其中血氧濃度是相較於其他數值來說比較不熟悉的，例如多少數值為合理範圍？測量的原理為何？目前有多少款式的血氧計？血氧濃度對於人體的重要性？這是大多數人都沒有把握完整回答的問題，希冀能藉此論文的研究，探究血氧濃度的測量原理與血氧濃度的相關運用。

二、研究目的

- (一) 了解血氧濃度的意義與作用。
- (二) 探討血氧濃度計的量測原理。
- (三) 不同血氧濃度計對應不同人體部位的交互量測比較。
- (四) 改變生理條件進行血氧濃度量測。
- (五) 熱像儀對於血氧濃度的研究應用。

貳、文獻探討

一、血氧濃度的意義

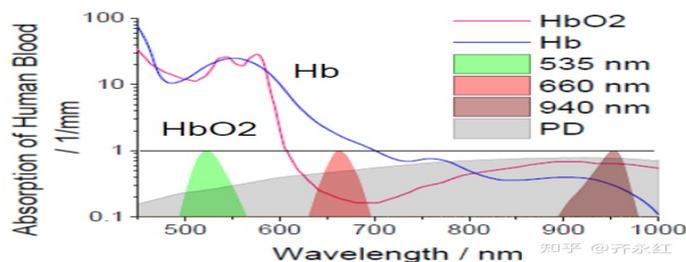
血氧飽和度 (Oxygen saturation)，又稱血氧濃度，即血中氧飽和血紅蛋白佔總血紅蛋白的比例。人體正常動脈的血氧濃度為 95–100%、靜脈的則為 68–77%，低於 90% 有可能是低氧血症。動脈血氧濃度低於 80% 可能會損害器官功能，持續的低氧水平可能導致呼吸或心臟驟停。目前在臨床上大多使用脈搏的脈衝血氧來測量人體的血氧濃度。

血液中含有血球，紅血球為其中之一，直徑約七微米 (μm) 呈雙凹圓盤狀的血球，大約占人體總血液 40%。紅血球含有血紅素，可以輸送氧氣，「**血紅素是由亞鐵離子和呈紅色的血球蛋白相結合而形成的，主要功能是将血循環中的氧輸送到身體的各個部位**」(葉力嘉，2021)，因此血紅素是影響血氧濃度的關鍵因素之一。所以一個健康的人體，在外表示呈現出面紅色潤的樣貌，自然能展現出健康與活力，患有貧血症狀的人體，比健康人體更加需要密切的關心血氧濃度的問題，尤其最近新冠病毒引發人體呼吸道系統的症狀，導致人體攜氧量低於標準值，引發「快樂血氧」的高危險值。可見提倡對血氧濃度的認識，對於維護人體健康有相當的幫助，也是本論文重要的研究目的之一。

葉國賢等 (2010) 使用德州儀器的產品測量，藉由在紅光 (660 nm) 區域內不帶氧血紅素的吸收係數較帶氧血紅素大，而在紅外光波段 (940 nm) 的結果恰好相反，利用此特性作為血氧濃度的測量，依據比爾蘭伯特定律可推導血氧濃度值與紅光和紅外光的反射強度之間的關係。但是血氧濃度測量差異還會因皮膚黑色素與血液中各種物質之成分濃度而有所差異。(蔡心怡等，2018) 研究所開發之皮膚血氧濃度 (SpO_2) 光學影像模型，以雙波段 (紅光 660 nm / 紅外光 890 nm) 光源激發，提出之技術具備非接觸式、高光穿透深度與高影像光強度與解析度等優點，並直接進行心跳與血流速度的估算，以減少多重生理特徵量測時間與程序。(張漢釗，2018) 研究實驗系統中使用了兩組環型燈源 (660/890 nm、660/940

nm) 來建構皮膚組織的血濃度影像，此檢測方法比過往檢測儀的單點數據資訊，可得出範圍較大的影像結果。(蔡心怡等，2018) 上述各文獻所提到的光源波長區段與圖一(血氧飽和與未飽和血紅蛋白與各波長光源的吸收率關係)所示的血氧吸收曲線關係圖，相當一致。

圖一：血氧飽和與未飽和血紅蛋白與各波長光源的吸收率關係



圖一資料來源：光明大神(無日期)。智能穿戴心率和血氧是怎麼測定的。2021年5月21日，取自 <https://zhuanlan.zhihu.com/p/80871271>

二、血氧濃度計的量測原理

(一) 量測原理

血氧濃度種類包含了：動脈血氧濃度 (Arterial Oxygen Saturation, SaO_2)、靜脈血氧濃度 (Venous Oxygen Saturation, SvO_2)、組織血氧濃度 (Tissue Oxygen Saturation, StO_2)、及脈衝式血氧濃度 (Saturation of Peripheral Oxygen, SpO_2)，其中脈衝式血氧濃度 (SpO_2) 被廣泛用於光學的脈衝式血氧濃度器。

脈衝式血氧濃度器，是利用血紅素 (Hemoglobin, Hb) 因吸收特定光譜而含氧量隨之改變的特性計算血氧濃度數值。(台大醫院醫學工程部儀器介紹，2021) 感應器模組包含一個光感測器和二個發光二極體，其中一個發光二極體為可發出約 805 nm 紅外光來當成血紅素與氧合血紅素 (Oxygenated Hemoglobin, HbO_2) 對光的吸收度的比較基準，另一個發光二極體則發出約 660 nm 的紅光測量含氧與非含氧血紅素對光吸收度的差別，而光感測器則是接收這兩道光穿透血液後的強度，經計算可得血氧濃度。(台大醫院醫學工程部儀器介紹，2021)

「當心臟收縮與舒張時，動脈血液對光的吸收率也會呈現週期的變化，因此一般脈衝式血氧濃度器也可量測出脈搏。」(台大醫院醫學工程部儀器介紹，2021) 人體中的手指或耳垂組織較薄且充滿微血管，這兩部位很適合作為量測點，另也有感應器設計成額頭式的貼片。

(二) 市售血氧濃度計

目前收集到的血氧濃度計有 3 種：Apple Watch Series 6、小米手環 6、夾指式血氧濃度計。茲介紹如下：

1.Apple Watch Series 6

Apple Watch Series 6 需平貼的狀態才能進行測量，量測時間需 15 秒，血氧濃度感測器是由四個 LED 叢集和四個光電二極體組成，如圖二所示。這個反射式感測器被整合至設計的水晶玻璃錶背中，能與「血氧濃度」程式搭配運作測量血氧濃度。綠色、紅色和紅外線 LED 發出光線照射手腕上的血管，並以光電二極體測量反射回來的光量，接著以先進的演算法來計算血液顏色，進而判斷血液的含氧量。流經皮膚的血流稱之皮膚灌注，在不同人身上會影響測量結果且顯著差異，也可能受到環境影響。永久或暫時的皮膚變化（例如：刺青）也可能會影響效能。每分鐘心跳次數超過 150 下，也無法順利測得血氧濃度。

2.小米手環 6

小米手環 6 在錶背配置如圖三的反射式感測器，通過光路設計和紅色光、紅外光等多光源融合，搭配專業的演算法即能獲得人體血氧濃度值。必須平貼於手腕才能開始量測，所需時間大約 25 秒，能夠同時顯示心率值。

3.夾指型血氧濃度計

夾指型血氧濃度計如圖四所示，採用穿透式感測器，與前面兩者的反射式不同，待測物在感測器的發射端、接收端的中間，反射式的發射端、接收端在同一邊。其實感測原理一致，差異在於感測光是否穿越待測物。因為人體手指厚度薄、感測光可以穿透，所以適合採用穿透式，目前醫院臨床儀器多採用夾指型穿透式血氧濃度計。

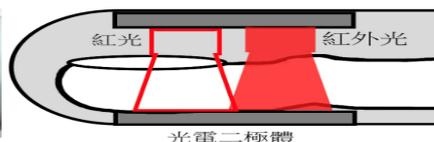
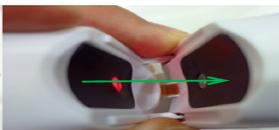
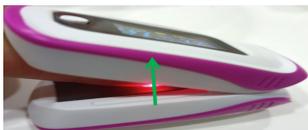
圖二：Apple Watch 6 的 LED 模組



圖三：小米手環 6 的 LED 模組



圖四：夾指型血氧濃度計的穿透式感測器



圖二、圖三、圖四資料來源：作者拍攝與繪製

參、研究方法

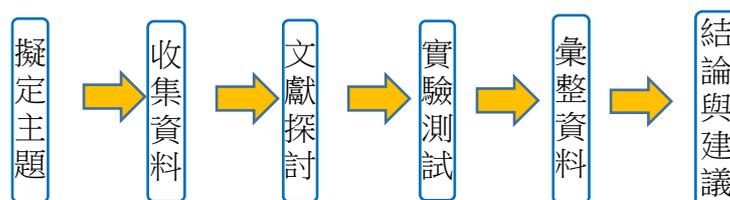
一、研究方法

首先搜尋血氧濃度相關的研究論文，正確了解血氧濃度計的感測原理，接著募集市售可以量測血氧濃度的儀器：Apple Watch Series 6、小米手環 6、夾指式血氧濃度計。深入的研究這些儀器的量測技術與原理，再藉由市售不同的血氧濃度計來量測不同的對象及不同的部位，甚至藉由憋氣、飲食來改變生理條件，來量測對人體血氧濃度的影響程度。最後租借了熱像儀，拍攝不同人、不同生理條件下的眼球虹膜熱影像照片，進行比對研究與分析。依據上面的研究紀錄數值，進行討論研究，進一步彙整出結論。茲將研究方法、架構、流程如下：

- (一)、文獻分析法：收集相關國內論文與國際期刊論文，造訪各大醫學中心網頁的醫學知識站，將所有文獻整理、詳細閱讀、整合比較。
- (二)、實驗法：準備 3 種可以量測血氧濃度的設備，分別以不同設備量測同一個人的同一位再以依序更換成不同部位來量測。再調整三位作者的生理條件：有無喝雞精一星期喝不同種類的雞精、不同秒數憋氣後的血氧濃度狀態，紀錄數據整理並分析之。
- (三)、SWOT 分析法：根據 3 種設備的功能特性，對照實驗相關數據與分析結果，探討前售常見的血氧濃度量測設備的優勢 (Strength)、劣勢 (Weakness)、機會 (Opportunity)、威脅 (Threat)。
- (四)、定量分析法：使用夾指式血氧濃度計進行固定手指、不同人體的條件，連續定量間下量測血氧濃度值並記錄數據，觀察數值的變化趨勢並分析探討。

二、研究流程

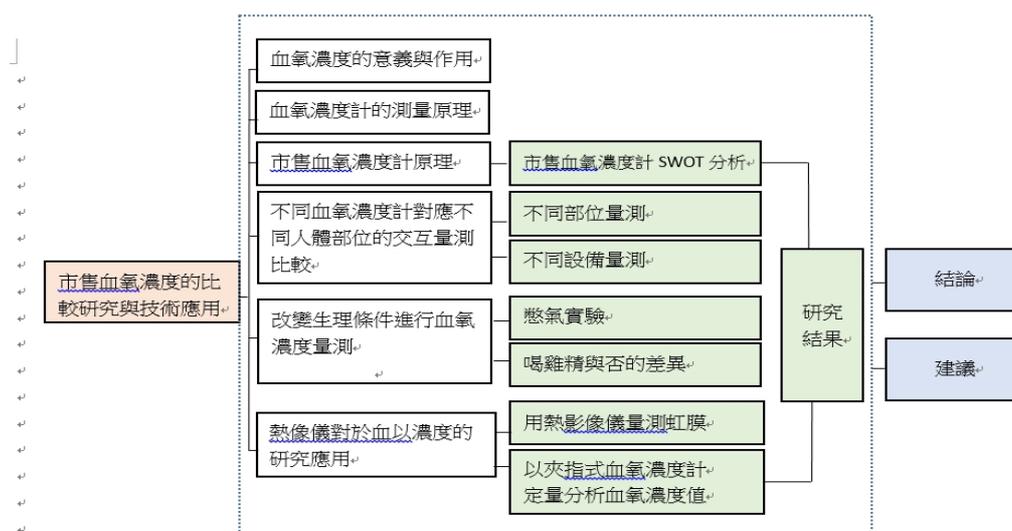
圖五：研究流程圖



圖五資料來源：研究者繪製

三、研究架構圖

圖六：研究架構圖



圖六資料來源：研究者繪製

肆、研究分析與結果

一、SWOT 分析

針對募集三種市售的血氧濃度計，茲將各項主要規格、特色、型式與使用方式的內容整理成 SWOT 分析表，如表一所示。藉此了解市售血氧濃度計的比較研究結果及應用技術的實用性。夾指型的價格最為低廉，量測時間卻是最快速又最準確，主要原因可能是因為單一專用性質，所以能以最佳化的穿透型感測設計，但是也因價格低廉，所以外觀最為陽春、功能最為簡單。

表一：三種市售血氧濃度計的 SWOT 分析表

種類	小米手環 6	Apple Watch 6	夾指型
價格 / 測量	約 1200 元 / 25 秒	約 1.2 萬元 / 15 秒	約 660 元 / 0.25~6 秒
感測 / 型式	1 對 / 反射型	2 對 / 反射型	1 對 / 穿透型
優勢(S)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 市場有高的知名度 2. 價格低，在市場上具有優勢和較易普及 3. 搭配 App 可定期長期偵測、續航力佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用觀感、產品形象較佳 2. 能測得部位較多 3. 自動定期檢測血氧濃度可追蹤數據 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 測量快、準確度高 2. 多功能同時顯示 3. 屏蔽環境對測量干擾 4. 耗電量低
劣勢(W)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 測量時間較長 2. 使用觀感較不佳 3. 測量易受到外在條件影響 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 價格昂貴 2. 測量易受到外在條件影響，如：錶帶鬆、準確度受質疑 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 只限於測量手指 2. 無法追蹤前數據 3. 市場上相同產品多造成消費者選擇困難
機會(O)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因疫情升溫，血氧濃度儀需求量增加 2. 產品口碑良好 3. 體積小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 品牌形象高、具形象識別意義 2. 準確度較高 3. 周邊附加功能大 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 連續測量不中斷 2. 價格低廉易普及 3. 疫情升溫市場供應大
威脅(T)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 他牌智能手錶較完善 2. 他牌在國際市場較有競爭優勢 3. 產品位階定位不高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 偏向經營高端客層 2. 價格較他牌貴 3. 功能較不齊全 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 市面流量大，劣質品率提高 2. 專用型侷限功能 3. 其他產品選擇性提高

表一資料來源：研究者自製

二、不同血氧濃度計對應不同人體部位的交互量測比較

(一) 不同部位量測

使用 Apple Watch Series 6 的血氧濃度計，測量不同部位，是否會因為不同部位皮膚的因素影響，導致測得血氧濃度數值的偏差。三位作者依序擔任測試者一、測試者二、測試者三，如圖七所示依不同部位量測，探討所測部位與測得血氧濃度之相關性，實驗結果如表二。結果發現以左手腕背部的平均值（100%）、穩定度最高，可見手錶的佩帶位置是專有的設計目標，因此不適合用來量測其他的部位，否則將可能發生不正確或不準確的現象。

圖七：不同部位上使用 Apple Watch 量測血氧濃度



圖七資料來源：作者拍攝

表二：以 Apple Watch 6 測量不同部位的記錄值

血氧濃度值(%)	測試者一	測試者二	測試者三
頸部右內側	無法測得	92	96/100
左肘內側	98	無法測得	100
右肘內側	100	99	99
左腕背部	100	100	99
右腕背部	97	98	99
手指腹	94	92	95

表二資料來源：作者經實驗記錄後自製

(二) 不同設備量測

本實驗如圖八，想了解市售三種血氧濃度計的量測值是否存在差異量，藉以分析準確度與可信度。實驗時均以原廠標準使用方式，實驗數據記錄於表三，結果顯示 Apple watch 6 對於不同測試者的差異值最小，可能是因為感測器模組的元件數較多與感測面積較大有關，可以進行較精密的比較與計算。同一位測試者使用不同設備下，得到差異值在 1.67%以下，可見市售三種血氧濃度計均具有優異的穩定度與可信度，最小為 0.67%。

圖八：使用三種不同血氧濃度計量測



圖八資料來源：作者拍攝

表三：三種血氧濃度計量測三位測試者的記錄值

血氧濃度值(%)	測試者一	測試者二	測試者三	平均值	最大差異值
小米手環 6	96	100	96	97.33	2.67
Apple watch 6	96	99	95	96.67	2.33
夾指型	99	99	95	97.67	2.67
平均值	97.33	99.33	95.67		
最大差異值	1.67	0.67	0.67		

表三資料來源：作者經實驗記錄後自製

三、改變生理條件進行血氧濃度量測

(一) 憋氣實驗

血氧濃度值與人體呼吸有密切的關係，因為呼吸空氣吸入肺部的肺泡中與微血管做氣、廢氣的交換，以維持血液能持續運送足夠的氧氣到全身各部位。所以研究者想藉由憋氣實驗來了解停止呼吸與恢復呼吸時，血氧濃度值的反應狀態。先依測試者的憋氣秒數能力進行實驗，初步了解短時間內是否有明顯差異。實驗結果如表四所示，在憋氣 50 秒以下的下降數值單位 1%、80 秒以下的下降數值單位 2%。

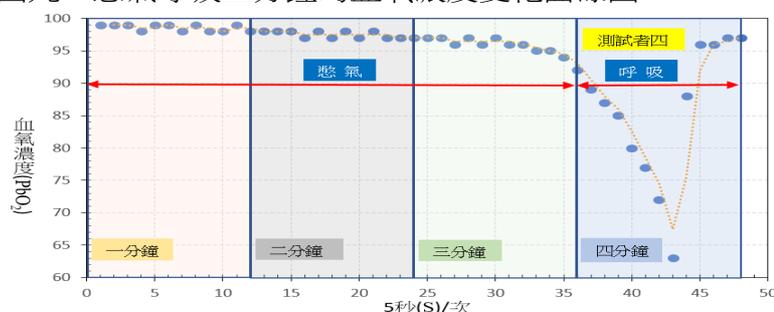
表四：各測試者不同憋氣秒數下的血氧濃度變化記錄

血氧濃度值(%)	測試者一	測試者二	測試者三	測試者四
原始數值	99	97	98	97
測試後	98	96	97	95
個人秒數	44	45	10	80

表四資料來源：作者經實驗記錄後自製，測試者四具有長期運動基礎

為求能有更加明顯的實驗成效，經小組成員討論後，考量測試者四的體能健康狀態許可下，進行先高度深度呼吸 3 分鐘，接著憋氣 3 分鐘後恢復正常呼吸，期間以夾指型血氧濃度計持續量測濃度值，將實驗數值記錄後繪製出曲線圖如圖九所示。結果顯示測試者四經過深度呼吸三分鐘，數值從 97 上升至 99，憋氣三分鐘期間數值由 99 下降至 92，恢復呼吸後 35 秒的數值下降至最低 63，40 秒時恢復至 88、45 秒時至 96。

圖九：憋氣呼吸三分鐘的血氧濃度變化曲線圖



圖九資料來源：作者經實驗記錄後自製

(二) 喝雞精與否對血氧濃度造成影響的差異

血氧濃度是指血液中的氧飽和血紅蛋白佔總血紅蛋白的比例，因此若能增加人體的血紅素，血氧量便會隨之增加。我們連續七天依序以喝四物雞精、烏骨雞精和沒喝雞精後進行血氧濃度值的量測，數值記錄如表五所示。結果顯示沒喝雞精的平均數值最低，有喝的較高，喝烏骨雞精的較喝四物雞精還高。

表五：有無喝雞精的血氧濃度比較表

血氧濃度	四物雞精	烏骨雞精	沒喝雞精
小米手環 6	97	100	97
Apple watch 6	96	99	95
夾指型	99	99	95
平均值	97.33	99.33	95.67

表五資料來源：作者經實驗記錄後自製

四、熱像儀對於血氧濃度的研究應用

延伸喝雞精與否的研究關聯，因研究者推測，經血氧濃度升高體溫亦會上升，為確認推測是否正確，研究員租借了熱影像儀（FLUK YTO2）設備，以非接觸式的熱影像分析血氧濃度提升的差異度。如圖十以熱影像儀輪流拍攝三位測試者的虹膜熱影像，並紀錄如表六所示，整理紅外線強中弱的熱影像溫度值如表七所示，顯示有喝雞精的兩位測試者的紅外線溫度平均值明顯高於沒有喝雞精的測試者約 0.5~1.5°C。

圖十：使用熱影像儀進行個測試者的虹膜影像拍攝



圖十資料來源：研究者拍攝

表六：三位測試者的熱影像紀錄表

	半臉照	單右眼	弱紅外線	中紅外線	強紅外線
測試者一 四物雞精	39.0°C $\epsilon=0.95$ 	38.7°C $\epsilon=0.95$ 	39.0°C $\epsilon=0.95$ 	38.5°C $\epsilon=0.95$ 	38.9°C $\epsilon=0.95$
測試者二 烏骨雞精	37.7°C $\epsilon=0.95$ 	37.1°C $\epsilon=0.95$ 	37.7°C $\epsilon=0.95$ 	37.8°C $\epsilon=0.95$ 	37.9°C $\epsilon=0.95$
測試者三 沒喝雞精	38.6°C $\epsilon=0.95$ 	37.5°C $\epsilon=0.95$ 	36.7°C $\epsilon=0.95$ 	37.5°C $\epsilon=0.95$ 	37.7°C $\epsilon=0.95$

表六資料來源：作者經實驗記錄後自製

表七：三位測試者的熱影像溫度值整理表

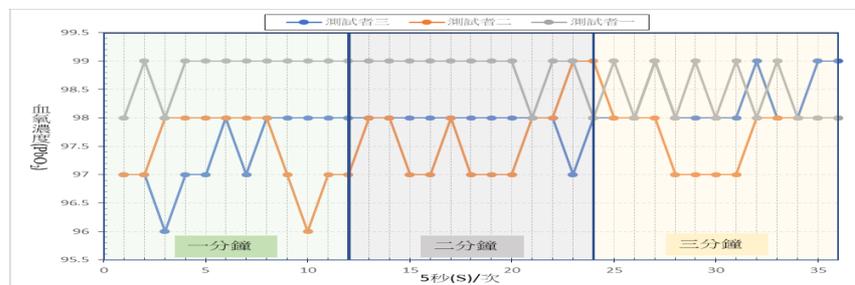
攝氏溫度 (°C)	弱紅外線	中紅外線	強紅外線	平均值
測試者一	39.0	38.5	38.9	38.8
測試者二	37.7	37.8	37.9	37.8
測試者三	36.7	37.5	37.7	37.3

表七資料來源：作者經實驗記錄後自製

五、定量分析

影響血氧濃度的因素很多，研究者以夾指型血氧濃度計持續三分鐘量測各測試者的血氧濃度值，藉此了解人體血氧濃度在一段時間內的變化趨勢與幅度。將實驗數值記錄後繪製成曲線圖如圖十一所示，結果三分鐘內最大變動量為 3%，超過一分鐘才會超過 3% 的變動量。測試者一的平均值為 98.7%，測試者二的平均值為 97.6%，測試者三的平均值為 97.9 %。

圖十一：人體定時間內定量血氧濃度值的記錄表



圖十一資料來源：作者經實驗記錄後繪製

六、研究結果

經文獻研究及實驗分析得知，血氧濃度是運用紅色光 (660 nm) 與紅外光 (890、940 nm) 兩種光源照射血液，因血紅素對這兩種光的吸收程度不同且差異較大，最適合量測與計算。同時能從脈衝血氧變化取得脈搏每分鐘速率。不同人體部位需要專門設計的量測裝置，手錶與手環專為了配戴在手腕，適合這部位皮膚的脂肪血管分布狀態，不適合其他部位使用，例如夾指型不可用在手腕。不同的設備以正確的使用方式量測可以獲得 1.67% 以下的最大差異量，可見市售血氧濃度計的信度與效度都很高。憋氣三分半過後量測可以測得最低血氧濃度值約 63，且於恢復呼吸後 45 秒恢復至正常值。有喝雞精相較於沒喝雞精的血氧濃度值高出許多，並可以熱像儀拍攝虹膜的紅外線溫度值印證之。藉由定量分析法可以得知人體的血氧濃度在一分半內的波動並不大，三分鐘大約在 3% 左右。以 SWOT 分析法建立研究比較表，可供作選用血氧濃度計的詳細參考。三種血氧濃度計各有極大的差異點，夾指型最為經濟、快速準確，但是功能單一侷限；小米手環 6 價格平易適中，功能與體積居中、速度最慢；Apple Watch 6 較具質感，功能豐富、感測準確、速度適中，惟價格過於高貴。

伍、研究結論與建議

一、結論

脈衝式血氧濃度 (SpO₂) 為最常見的血氧濃度數值，量測人體動脈，正常值在 95-100 %，

數值可以作為人體含氧值的健康基準。在探討血氧濃度計的量測原理時，藉由在紅光（660 nm）區域內不帶氧血紅素的吸收係數較大，在紅外光（890/940 nm）波段內帶氧血紅素的吸收係數較大，利用此特性作為血氧濃度的測量，再以特定演算法來計算出血氧濃度值。又利用不同血氧濃度計對應不同人體部位的交互量測比較時發現不同人體部位需要專門設計的量測裝置，手錶與手環專為了配戴在手腕，適合該部位皮膚的脂肪、血管分布狀態，不適合其他部位使用。而在改變生理條件進行血氧濃度量測時也發現缺氧三分鐘過後人體血氧濃度會大幅下降，恢復氧氣後人體在半分鐘後會恢復至正常值範圍。持續喝雞精一週對於人體血氧濃度值有明顯的提升。最後透過熱像儀對於血氧濃度的研究應用得知熱像儀對於血氧濃度值的鑑別度無法像血氧濃度計那樣精準，僅能以紅外線色溫輔助表達其正向的意涵。

二、建議

建議居家常備血氧濃度計，在做此研究期間正值台灣新冠肺炎疫情三級警戒之時，肺炎影響呼吸氧氣交換效率，剛好血氧濃度值因此被關注，穿戴式 3C 產品經本研究比較分析，可信度及效度均良好，建議民眾可以依據喜好、習慣等條件，居家常備血氧濃度計。並善用儀器替健康把關，血氧濃度值、心率、血壓等是人體生命健康重要的參考數值，使用科技產品若能深入地去瞭解產生數值的相關原理，不僅增長知識，甚至能夠有效善用這些儀器替自己的健康把關。也可以利用科技資訊整合的便利，穿戴現代科技的產品，結合程式軟體可以檢測人們的睡眠品質、壓力指數、呼吸情形，若能了解並善用這些資訊，將能進一步改善人體的健康狀態，因為這些都是很方便的科技應用技術。此外，虹膜非侵入診斷也相當具有潛力，目前對於虹膜提供的訊息認知太少，其實虹膜若能藉由攝影來拍攝細部影像，結合醫學科技的研究，很有可能再研發出新的穿戴式 3C 眼罩等相關產品，可以非侵入式、非接觸式的診斷人體的各項問題，因為虹膜的晶瑩剔透，比皮膚更具有方便擷取身體的訊息，期盼未來能有更多這方面的研究發展。

陸、參考文獻

葉力嘉（無日期）。檢查結果解讀。2021 年 5 月 21 日，取自

<http://web.skh.org.tw/blood/test2.html>

葉國賢、黃寶震、陳怡良（2010）。非侵入式血氧濃度量測。第九屆離島資訊技術與應用研討會論文集。Conference on Information Technology and Applications in Outlying Islands

光明大神（無日期）。智能穿戴心率和血氧是怎麼測定的。2021 年 5 月 21 日，取自

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/80871271>

蔡心怡、黃國政、葉哲良（2018 年 3 月 31 日）。非接觸式皮膚血氧濃度影像系統之應用。科儀新知 214 期，長照與生醫工程專題。

<https://www.tiri.narl.org.tw/Files/Doc/Publication/InstTdy/214/02140470.pdf>

蔡心怡、黃國政、張漢釗、張中興（2018 年 03 月 09 日）。應用於人體血氧濃度分析的皮膚影像檢測法。國科會 NSC 101-2622-E-492-004-CC3 計畫所補助，第 13 屆全國 AOI 論壇與展覽。

台大醫院醫學工程部儀器介紹（無日期）。血掌型血氧飽和濃度計。2021 年 5 月 21 日，取自

<https://www.ntuh.gov.tw/BMED/Fpage.action?muid=3902&fid=3684>