



5G 結合 AIoMT 之隱形缺氧防疫應用

中華電信研究院資通技術整合處研究員 / 黃國恩
中華電信研究院資通技術整合處研究員 / 王彥傑
中華電信研究院資通技術整合處研究員 / 蔡明學
中華電信研究院資通技術整合處高級研究員 / 李彥良
國立陽明交通大學數位醫學暨智慧醫療推動中心主任 / 楊智傑

關鍵字：隱形缺氧、人工智慧、醫療物聯網、自動告警

摘要

新冠肺炎（COVID-19）自疫情爆發以來，從相關報告中得知會有約2~4成的感染者發生隱形缺氧，而此症狀最危險的表現就是因肺部結構慢慢被破壞，導致病患沒有呼吸困難的感覺，進而耽擱治療，最後病患發生猝死的狀況，因此，每位新冠肺炎的患者都是不能被輕忽的。

本文以5G開放網路通訊技術設備，藉由其高頻寬與移動特性，串聯遠端醫療資源，並結合大數據與人工智慧等資通訊科技，運用AI輔助分析之技術，協助醫護人員透過雲端平台即時遠端監控病患生理狀態並結合遠距視訊功能，以降低醫護人員人工紀錄負擔

並減少接觸感染風險。此外透過雲端人工智慧的判讀並結合平台告警機制，病患生理狀況一旦發生變化能及早進行處置，大幅提升防疫效率，降低憾事發生率。

相關成果已實際應用於兩家醫院進行臨床照護，照護期間透過平台的監控及告警機制，成功防範猝死等憾事發生。

一、前言

嚴重特殊傳染性肺炎（Coronavirus Disease 2019，COVID-19）疫情期間國內多次爆發群聚感染[1]，因此有許多民眾需要進行居家檢疫，隨著檢疫人數增加，確診者在家中、旅館或檢疫所猝死案例亦明顯增加，



專家直指隱形缺氧（Happy Hypoxia）是導致猝死的首要因素，患者在不自覺中血氧降低、病情急轉直下，而不幸往生。即使在醫院和檢疫所，監測隔離患者的生理變化也相當困難，第一線醫療人員往往不容易掌握病患的病情變化，傳統的床邊生理量測也增加護理人員的接觸風險，疫情嚴重時可能導致第一線醫療量能過載，從而讓疫情更加不可收拾。為了防止醫療系統崩潰，目前主要是透過分流的方式來降低醫療的負載，把染疫患者依情況從醫院病房分配到檢疫所、防疫旅館甚至居家。

應用先進數位科技技術來輔助防疫是IT世代的潮流，科技業紛紛運用自身專業領域，針對疫情趨勢迅速客製化相關應用。為了協助第一線醫護人員能夠更有效率、更即時地照護新冠肺炎患者，以及減少隱形缺氧造成的憾事，本文結合自身健康領域與雲端整合多年經驗並偕同醫療院所的專業知識，共同開發隱形缺氧防疫應用。平台以病人為中心，透過資訊技術改善傳統生理量測模式，達成即時監測與降低醫護人員接觸風險的目標。當患者血氧濃度低於94%或出現心率異常情形，系統將發出告警，提醒醫護人員注意。更重要的是，若發現血氧濃度低於90%或是AI判斷血氧呈現惡化趨勢等，系統能即時通報醫護人員處置，結合5G網路與AIoMT技術協助分流臨床人員的作業負擔，減緩醫療機構的急診壓力。

二、研究背景

（一）隱形缺氧

自COVID-19本土疫情的爆發以來，COVID-19確診者或檢疫者在家中、防疫旅館或集中檢疫所猝死案例明顯增加。依據國內外專家學者臨床研究指出[2]，不少患者症狀不明顯或無症狀，病情卻急速加劇導致猝死，可能與新冠肺炎引發的隱形缺氧/快樂缺氧（Happy Hypoxia）有關。

隱形缺氧是本次疫情中醫護較難防範的隱形危險之一，它能让患者病情在短時間內急劇惡化卻毫無警覺，導致猝死、或延誤送醫。一般人正常血液含氧量應該在95%到100%之間，之所以感覺到缺氧，主要是因當身體在血氧濃度降低時會為了吸進更多氧氣，更用力地擴張/收縮肺部，而感覺到呼吸費力/困難。由於新冠病毒的攻擊特性是透過ACE2接受器（Angiotensin-Converting Enzyme 2）進到體內器官[3]，而肺部有較多的ACE2接受器，當病毒進到肺部後，會慢慢破壞肺部細胞、降低血管內血紅素及肺泡中新鮮氧氣的交換效率，形成低血氧。由於病毒是慢慢地破壞肺部，感染者不易察覺低血氧，加上病毒導致病患出現知覺障礙（常見如：嗅、味覺喪失）而讓有些人的身體查覺不到缺氧，導致有些患者血氧濃度甚至已經到75%至80%仍然毫無感覺，一直要到血氧濃度真的降到極低時，才開始感到喘不過



氣，而這時其肺部通常已經充滿黏液，大大增加病患風險與治療的困難。

國際上許多國家已經歷過數波變異株大流行，造成許多病患猝死的狀況，促使醫學界發現新冠肺炎隱形低血氧的可能性。在英國，公共衛生部門為了解決隱形低血氧造成的危害[4]，特別撥款採購指夾型血氧計，挨家挨戶發給有需要的民眾，並要求定期定時測量與紀錄血氧飽和度。即使不會操作電腦的民眾，也可以用紙筆紀錄並回報。透過這樣的公共衛生措施，英國確實有效的減少相關的猝死案例。

為了降低病患及急性缺氧的風險，血氧與生理監控是其中重要的一環，然而確診隔離患者卻不易進行生理監測，監測隔離患者的生理變化成為一個相當困難之問題，依照一般臨床生理量測又增加護理人員的接觸風險。因此本文結合5G與AIoMT（Artificial Intelligence of Medical Things）開發應用，使用數位化的方式打造零接觸生理監控，並有效防範因低血氧而猝死的發生率。

（二）血氧

維持人體細胞存活，氧氣是不可或缺的，人體透過口鼻呼吸進行將空氣吸入身體，經呼吸道到達肺泡進行氣體交換後，再靠心臟將帶氧血液送往全身，如果氧氣的傳供不足將可能導致組織缺氧、損傷。所以量

測血中氧氣濃度是很重要的，早期傳統臨床上是由醫療人員抽血來量測動脈的血紅素中，帶氧血紅素所占的百分比，相當直接、準確，但這樣的侵入式的行為除了過程比較麻煩外，也容易造成一些病患不適，而且無法持續量測。現行是利用帶氧血紅素和不帶氧血紅素的光吸收度不同的特性，以波長660 nm 和940 nm的近紅外光源來射過指尖的微血管，測定通過組織的光傳導強度，來計算血紅蛋白濃度及血氧飽和度。進一步利用這樣的原理，經由觀測每次心搏造成的動脈血液之光吸收率的變化，亦可得知脈搏的跳動。臨床上標準的血氧濃度計必須符合ISO 80601-2-61：2017[5]的性能規範，能夠區分70%~100%的血氧濃度。由於考量穿透性與膚色可能對光訊號的影響，一般最佳的配戴位置是指尖。

（三）傳輸方式

1. 藍牙

藍牙（Bluetooth），1994年由愛立信（Ericsson）發展出這個技術，希望為裝置間的通訊擬定統一規則，以解決使用者間互不相容的移動式設備。目前由藍牙技術聯盟（Special Interest Group，SIG）維護其技術標準，是一種短距離間資料交換的無線通訊技術標準，以形成個人區域網路（PAN），透過2.4至2.485 GHz的ISM頻段來進行通訊，主要提供手機、無線量測裝置等設備之間進行資料交換。

藍牙規格目前發展至第五代，自第四代起出現「傳統藍牙」、「高速藍牙」及「低功耗藍牙」[6]三種模式，傳統藍牙標準主要作為訊息傳遞、裝置連線，傳輸速度為1~3 Mbps；高速藍牙（Bluetooth HS）則主要作為數據交換與傳輸，速度最高可達24 Mbps，為傳統藍牙八倍；低功耗藍牙（Bluetooth Low Energy，BLE）相較於傳統藍牙，以低功耗方式快速搜尋與連接，多應用於各種常見的穿戴式裝置上，但傳輸速度較低。其中BLE的低功耗特點能更長時間的與IoT設備進行連接，此外低傳輸速率使其非常適合僅需要交換設備狀態與資料下再使用，使它成為物聯網最佳選擇之一，也和目前現有大部分手機、平板和電腦相容。

醫療領域中，越來越多的設備（如血氧計、心電圖、體溫計等）開始支援藍牙傳輸，市面上許多的無線穿戴式裝置也逐漸地融入日常生活中，並在醫療保健系統中發揮無可取代的功能。藍牙醫療裝置可以持續並精準的追蹤用戶生理狀況，並藉由智慧型手

機應用程式取得數據，提供醫生或是照護人員能夠安全地進行遠距醫療診斷、觀察、會診，達到有效防止病毒或疾病的傳播。

2. MQTT

訊息佇列遙測傳輸（Message Queuing Telemetry Transport，MQTT）[7]是ISO標準下基於發布與訂閱的訊息協定，主要用於設備處理器資源有限及低頻寬的網路中。MQTT的優點在於它是一種輕量化的協議，相較於HTTP，MQTT的標頭採用數字編碼模式，標頭長度僅占2位元組，有效降低標頭占的資源及較低的傳輸負擔。MQTT所需的網路資源、硬體資源都非常的低，因此非常適合用於低功耗和網路頻寬有限的IoT環境。

MQTT基於一種「發布/訂閱」的傳輸協定（圖1），其協議中共有三種身份，分別為發布者（Publisher）、代理人（Broker）及訂閱者（Subscriber）。其中發布者及訂閱者皆為客戶端，而代理人則為伺服器。發布者傳輸的訊息分為主題（Topic）、負



圖1 MQTT 傳輸協定



載 (Payload)，其中主題用途為分辨訊息類別，而負載則為訊息內容。最後依照協定內容，發布者僅需將資料搭配主題傳送至代理人，代理人即可依照主題傳送給所有訂閱該主題的客戶端。

隱形低血氧平台使用中華電信智慧聯網大平台的MQTT服務，並且透過訂閱智慧聯網大平台，取得使用者在智慧型手機上量測的資料，藉此降低隱形低血氧平台在多用戶同時上傳資料的壓力。

(四) 數據加密方式

除了傳輸層安全性協定 (Transport Layer Security, TLS) 能保障網路通訊安全及資料完整性，在無線通訊過程中為了確保傳輸資料的安全性，需針對傳輸資料進行加密，避免個人資料遭到竊取使用。目前有對稱式與非對稱式加密兩種加密方法，兩種方法有各自的優缺點，因此實作上會同時使用兩種方法，相互搭配彌補雙方不足並加強整體安全性。以下介紹對稱式加密-AES及非對稱式加密-RSA[8]：

1. 對稱式加密-AES

對稱加密算法運算速度快，並且需要較少的計算資源，但主要缺點是密鑰的分發。因為在加密和解密訊息時使用相同的密鑰，所以必須將該密鑰分發給需要取得數據的人，這也伴隨較大的安全風險。

進階加密標準 (Advanced Encryption Standard, AES)，此加密方式為美國聯邦政府所採用的區塊加密標準，因原本資料加密標準 (Data Encryption Standard, DES) 產生演算法理論上的弱點，因此逐漸地被AES所取代，至今AES已成為對稱金鑰加密中最流行的演算法之一。

2. 非對稱式加密-RSA

非對稱加密使用公鑰進行加密，私鑰進行解密，來解決密鑰分發的問題。然而與對稱式加密相比，由於它們的密鑰長度非常長，因此需要更多的計算資源，因此系統運行得非常緩慢。

RSA加密演算法是目前最有影響力的公鑰加密演算法，還沒有任何可靠攻擊RSA演算法的方式。只要其密鑰的長度足夠，用RSA加密的訊息實際上是不能被破解的。

(五) 人工智慧醫療物聯網 (AIoMT)

物聯網 (Internet of Things, IoT)，是指設備之間透過某種形式的無線連接以便進行通訊與數據共享，應用範圍包括運輸和物流、工業製造、健康醫療等[9]，藉由物聯網能提高流程自動化程度、提升資源使用效率並且能藉由這些龐大資料來做出最佳的決策。

隨著互聯式醫療器材日益普及與人工智



慧技術發展，因而崛起的智慧醫療物聯網（AIoMT）為醫療照護帶來轉變，實際應用與場域驗證也逐漸增廣。其中設備包含智慧床墊、體溫貼片、聲波雷達、與藍牙生理量測裝置、單導程ECG貼片、智慧衣等等。透過檢測、連接、數據交換與雲端平台，紀錄個人健康資訊和醫療診斷，進而提升醫療品質、有效分配醫療資源，例如遠距照護、慢性病追蹤、遠距醫療、疾病防護等等皆為其應用。

隨著國內高齡化社會的來臨，智慧醫療物聯網更是在照護產業扮演著重要角色，如何整合病患、數據、流程是其關鍵之處。近期COVID-19的疫情在全球蔓延，更是凸顯遠距醫療的重要性，使用數位化的方式可有效減少疫情時人力缺乏的窘境。

三、服務開發說明

中華健康雲與陽明交通大學數位醫學暨智慧醫療推動中心合作，共同開發隱形低血氧監測平台，提供病患配戴醫療級血氧設備及簡易操作的App，使醫護人員可透過平台即時遠端監控病患生理狀態，也能透過視訊進行關懷，以減少接觸感染風險。開發著重於以下特色：

1. 結合醫療級穿戴裝置，設計簡易的操作流程。
2. 提供定時點狀量測與連續監測機制，隨時

記錄個人健康狀況。

3. 運用AI分析即時預測血氧惡化趨勢
4. 監測異常數值，並即時告警通知。
5. 雙向視訊關懷，降低接觸感染風險。

（一）服務架構

本產品整合雲端平台與多方服務，中華健康雲主要負責開發血氧監控App、建置雲端平台及管理資料；陽明交通大學AI模組則是負責處理由平台傳過去的血氧資料進行分析並將預測結果即時回傳。以下（圖2）介紹本產品架構與整體服務流程：

1. 病患透過血氧監控 App 與智慧型血氧偵測設備進行藍牙連線配對後，即可開啟自動連續量測功能，系統將定時每分鐘進行資料加密上傳。此外，除了原有自動量測功能，也提供自主檢查與回報機制。
2. 加密資料將透過中華 IoT 大平台蒐集並轉拋至隱形低血氧平台進行資料儲存，此外也會將量測數值傳送至陽明交通大學 AI 平台進行分析。
3. 陽明交通大學 AI 平台主要負責分析從隱形低血氧平台傳送的血氧量測數據，藉由兩日內的量測數據來預測是否有惡化趨勢，並即時將結果回傳。
4. 隱形低血氧平台將會呈現血氧數值與 AI 分

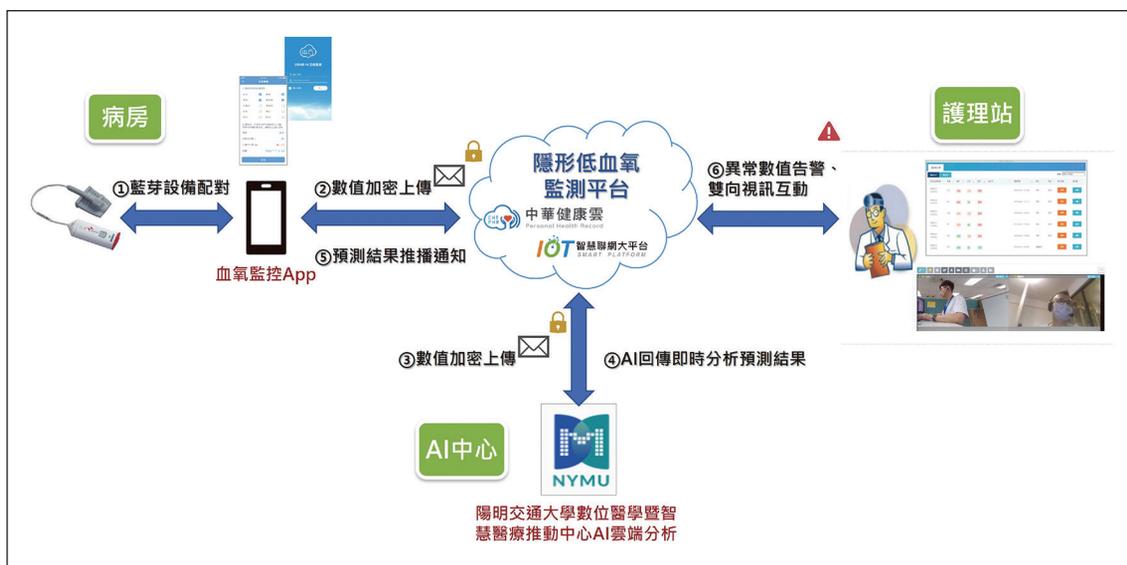


圖 2 產品架構與服務流程

析結果，提供護理站即時監測病患狀況，此外針對異常值會於平台上以不同顏色燈號呈現，並透過推播與簡訊即時通知醫療人員和病患。

5. 最後，隱形低血氧平台整合視訊功能，提供醫療人員可透過雙向視訊來進行關懷，降低接觸感染風險。

(二) 服務流程及說明

本產品搭配使用的血氧計為衛福部核准的藍牙智慧型血氧偵測設備，如血氧（SpO₂）與心律（RP）量測儀器的數據為基礎，並以指套式血氧計（圖3）搭配使用，主要是因為指套式可持續監測、重量輕、易穿帶及不易脫落的特性，因此非常適合長時間



圖 3 指套式血氧計

配戴在使用者手上。

在血氧監控App的UI/UX（圖4）設計上，希望於設備配對、操作與量測皆能簡單快速，提供使用者進行帳號登入與設備配對完成後，將手指放入血氧計上即可進行連續



圖 4 應用程式畫面

血氧量測。另外，因應監控時各種臨時狀況，除了原有的連續量測，使用者也可以進行自主檢查回報，App畫面上有提供早餐、午餐、晚餐、睡前等時段提供使用者選擇，如在使用期間發覺自身狀況不佳或是有異樣時，即可使用此功能進行回報。此外，為保護使用者的隱私，在上傳數據的同時也進行AES與RSA兩層加密，此加密方式僅有平台持有的RSA私鑰與對應解密流程才可完成解密並查看原始數據，因此，可有效保護使用

者的個資與隱私。

隱形低血氧平台（圖5、圖6）則是即時呈現病患量測數據，並依據不同條件規則以不同顏色燈號呈現並進行告警通知。血氧濃度94%以上為安全綠燈區，血氧濃度90%-94%為黃燈區，會在平台網頁上呈現黃燈告警。血氧濃度90%以下為紅燈區，將進行簡訊告警以及手機端和網頁端的聲音告警，達到即時警示的功能，使低血氧病患能早期發現進行處置。另外，平台結合陽明交通大學AI分析模組，將病患當前及過往兩日內的血氧數值進行AI分析後，將依照血氧數值筆數、血氧濃度趨勢及當前血氧濃度數值來判斷病患狀態，並將結果回傳至隱形低血氧平台。藉由AI分析來輔助判斷病患的血氧趨勢是否有惡化狀況，當AI回傳結果「血氧有惡化趨勢且血氧偏低」時將透過簡訊通知相關人員，達到即時預警。最後，平台也整合視訊功能，提供醫護人員能透過視訊功能來進行每日關懷。

（三）服務比較與差異分析

目前國內市場，其他平台與本技術平台相似與相異處如表1分析，本平台設計除了規劃在醫療院所使用外，也考慮到未來延伸居家使用的便利性，因此採用了較容易的手機門號與APP連線登入，如需要與醫療院所連線，在可使用手機通訊的情況下，使用者可與醫護人員進行交流互動，而在病患照護上



量測項目數值										
血氧與心律 1		體溫 0								
匯出Excel		匯出CSV		搜尋: 請輸入關鍵字						
姓名(USER ID)	床號	血氧	心律	狀態	AI分析	量測時間	時段	附註	歷史紀錄	備註欄
(259139453) (收案中)	a802-1	94%	138	異常	血氧趨勢無異常且血氧正常	2021/07/19 10:52:00	連續資料			
(259139467) (收案中)	a813	96%	78	正常	血氧趨勢無異常且血氧正常	2021/07/19 06:37:00	早餐			
(259139421) (收案中)	a809-1	97%	62	正常	血氧趨勢無異常且血氧正常	2021/07/16 11:36:00	中餐			
(259138543) (收案中)		97%	100	正常	資料不足無法判斷	2021/06/15 21:38:00	連續資料			
(259138367) (收案中)	護理站	98%	98	正常	血氧趨勢無異常且血氧正常	2021/06/24 10:24:00	連續資料			
(259138375) (收案中)										

圖 5 隱形低血氧平台

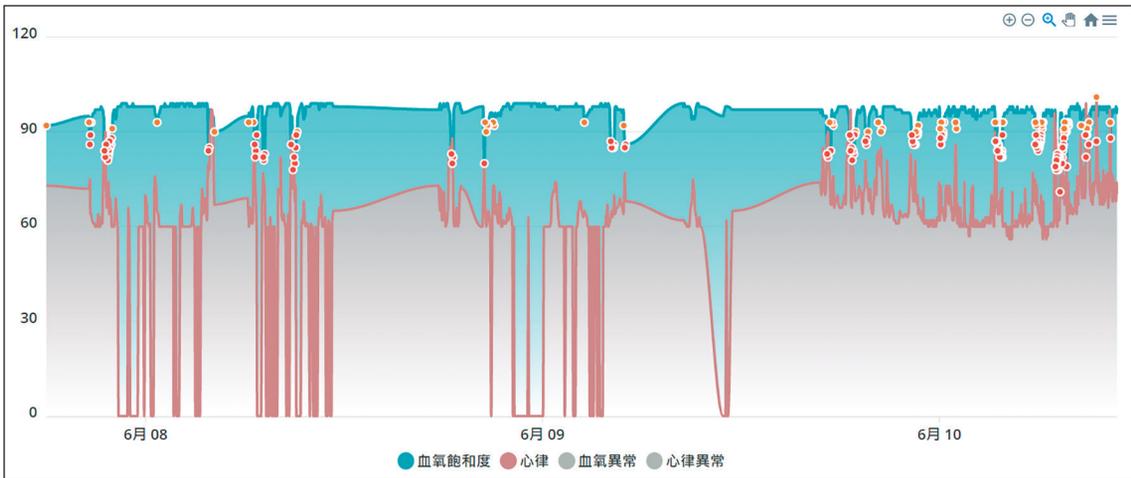


圖 6 血氧、心律記錄圖

表 1 產品比較

平台 \ 功能比較	穿戴式裝置	自主管理性	AI 預測趨勢	延伸居家整合	AR/VR	雙向視訊溝通	即時告警
本平台	●	●	●	●	○	●	●
其他平台	●	○	○	○	●	●	○



也增加了病患自主管理。這些功能設計目的是協助平台可獲取更多病患即時生理狀態回饋資訊，真正精準進行血氧監測。此外，本平台也介接陽明交通大學AI模組進行人工智慧醫療分析功能，協助醫護人員提早掌握血氧數值趨勢，充分達到預測與告警功能，並且整合雙向視訊功能，提供醫護人員進行每日關懷。

（四）服務未來發展及效益

本雲端平台和傳統生理量測最大差異在於減少醫護人員的接觸風險並能實時監測，其使用者介面也能讓病患容易接受檢測，不需要繁複的操作步驟，落實智慧醫療科技來自於人性的價值。

在2021年8月本土疫情緩解後，我們回顧了這個平台使用的過程和紀錄。新北聯醫三重院區總共紀錄了18,199筆數據，其中有6.84%的血氧異常事件。而陽明交大附設醫院總計紀錄5,468筆數據，其中有4.92%的血氧異常事件。這些異常事件看似比例不高，但從重症患者的血氧紀錄可以看到，新冠肺炎患者的血氧飽和度的變化，可以在半小時內從正常的血氧飽和度掉至60-70非常危險的範圍，而這時病患仍沒有明顯呼吸症狀，是典型的隱形低血氧症狀。透過雲端平台的即時監控以及簡訊發送。護理師能即使掌握病患血氧變化的問題，並做即時處置，成功挽回病患的生命。

不論在新北聯醫以及陽明交大附設醫院，隱形低血氧平台的建置，都獲得醫護人員以及病患的良好回饋，並成功的防止猝死的情形，也減少重症發生的機會。這樣的設計，在當時的媒體報導引起很大的迴響，也促使後續很多國內業界的發展和應用。

中華電信與陽明交大團隊合作研發的成果榮獲2021年第十八屆國家新創獎獲獎，在本土疫情嚴重爆發時，眾志成城的完成救人的任務，並創新地將醫療物聯網落實於臨床場域，防止猝死並減少重症的發生，實是科技防疫的一個重要典範。

本雲端平台除了搭配血氧計外，未來也會持續整合國內外的穿戴式裝置，如：體溫貼片、智慧手錶、12導程ECG等等穿戴式設備，進而符合隱形缺氧以外的情境，另外在雙向視訊功能上，也會陸續開發更多功能，如視訊錄影/下載、介接USB外接設備等，期望可以提升用戶與醫療人員的使用體驗。

四、結論

隱形低血氧平台整合智慧型藍牙穿戴式裝置與血氧趨勢人工智慧技術進行雲端生理訊號監測與提供即時的低血氧分析與告警，於COVID-19疫情肆虐的環境下，傳統內科病房或隔離病房僅能由護理師進行傳統床邊生理監測，除了耗時費力以外，還有感染COVID-19的風險。



目前有在新北市立聯合醫院與陽明交大附設醫院進行平台建置與驗證，經過初步驗證，本平台確實能夠提早監測到COVID-19病患的血氧變化與即早施以治療，並在此期間也成功達到病患零猝死的目標，因此不論技術需求以及可行性皆能達到預期的效益。

於後疫情時代，隱形低血氧平台將會是建置內科病房重要的工具，主要原因是傳統的內科病房因建置成本，導致其內部生理監測設備不像加護病房一樣充足，因此往往無法即時掌握病患的生理狀況變化。因此，利用隱形低血氧平台的技術，將能夠精準掌握內科病房病患的生理狀態，減少病患輕症轉為重症的風險。

參考文獻

1. 王郁雯、楊政達“臺灣防疫的下一哩路—科技防疫與社會價值觀的省思”人文與社會科學簡訊，22卷2期，110年3月
2. Sebastiaan Dhont, Eric Derom, Eva Van Braeckel, Pieter Depuydt & Bart N. Lambrecht ” The pathophysiology of ‘happy’ hypoxemia in COVID-19” Respiratory Research volume 21, Article number: 198 (2020)
3. 鄧桂芬, “「隱形缺氧」年輕人也難逃！3徵兆自我檢測，走路6分鐘會喘就要當心”，健康 for a better life，available on web: June, 15, 2021. <https://www.commonhealth.com.tw/article/84430>
4. “COVID Oximetry @home” NHS, available on web. <https://www.england.nhs.uk/nhs-at-home/covid-oximetry-at-home/>
5. ISO 80601-2-61:2017 Medical electrical equipment — Part 2-61: Particular requirements for basic safety and essential performance of pulse oximeter equipment, available on web. <https://www.iso.org/standard/67963.html>
6. Joe Decuir “Bluetooth 4.0: Low Energy” Standards Architect, gy CSR Technology Councilor, Bluetooth Architecture Review Board IEEE Region 6 Northwest Area chair.
7. Urs Hunkeler, Hong Linh Truong, Andy Stanford-Clark, “MQTT-S – A Publish/Subscribe Protocol For Wireless Sensor Networks” 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops. (COMSWARE '08)
8. G. Singh and Supriya, “A study of encryption algorithms (RSA, DES, 3DES and AES) for information security,” International Journal of Computer Applications, vol.67, pp. 33-38, April 2013.
9. Alexander S. Gillis, “What is the internet of things (IoT)?” TechTarget Network, IoTAgenda, March 2022.