

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN PRIMER PROTOTIPO DE UN SENSOR CAPACITIVO PARA SU UTILIZACIÓN EN LA MONITORIZACIÓN DEL RITMO RESPIRATORIO EN PACIENTES CON EPOC

E. Márquez-Martín^{1,3}, D. Naranjo-Hernández², L. M. Roa², F. Ortega-Ruiz^{1,3}.

¹Unidad Médico-Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias, Hospital Universitario Virgen del Rocío, Sevilla, España. Instituto de Biomedicina de Sevilla (IBIS). Universidad de Sevilla.

²Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla y CIBER-BBN, Sevilla, España.

³CIBER de Enfermedades Respiratorias.

Proyecto financiado con Beca Fundación Neumosur 06/2012

Los sistemas de e-Salud junto con los sensores biomédicos para la monitorización remota de variables fisiológicas se consideran un enfoque prometedor para la prevención y tratamiento de enfermedades respiratorias como la EPOC.

El entrenamiento es una intervención basada en la práctica de ejercicios individualizados que ha sido posiblemente la intervención no farmacológica más eficaz en la mejora de la tolerancia al esfuerzo, los síntomas y el estado de salud en pacientes con EPOC^{1,2}.

Existe la necesidad de abordar soluciones innovadoras capaces no sólo de ofrecer una solución potencial para el éxito de los programas de entrenamiento de mantenimiento, sino también la difusión de estos programas a una mayor cantidad de pacientes. En este sentido, los sistemas de e-Salud con la base tecnológica de las TIC (Tecnología de Información y Comunicación), junto con los sensores inteligentes que permitan la supervisión en tiempo real de los parámetros clínicos relevantes se consideran como un enfoque prometedor para la prevención y tratamiento de las enfermedades respiratorias^{3,4}, motivar a los pacientes a adoptar habilidades de auto-tratamiento, mejorando así su calidad de vida y por lo tanto minimizando las exacerbaciones recurrentes y las tasas de reingreso⁵⁻⁸.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar una primera aproximación y evaluación de un primer prototipo de sensor biomédico basado en la tecnología de sensado capacitiva que pueda ser empleado en la monitorización no intrusiva del ritmo respiratorio de pacientes con EPOC.

Para esto hemos diseñado un sensor capacitivo para la monitorización no invasiva del ritmo

respiratorio y posteriormente se ha realizado la validación del dispositivo. El dispositivo propuesto se considera un sensor inteligente porque además de capacidades de sensado está dotado con capacidades de procesado y transmisión inalámbrica de la información adquirida.

Durante la respiración, los cambios en el volumen de los pulmones y el correspondiente movimiento del diafragma dan lugar a la expansión-contracción del torso y el abdomen.

En el sistema propuesto, dos electrodos metálicos están situados a cada lado del torso sin estar en contacto directo con él. Dichos electrodos están integrados en una prenda elástica de forma que la capacidad eléctrica que se crea estará afectada por los cambios de volumen en el tórax, producidos al respirar. Así con este dispositivo podemos medir el ritmo respiratorio del sujeto de forma continua.

Para la validación del sensor se ha realizado un estudio cuasi-experimental emulando las condiciones en las que el dispositivo será finalmente empleado sobre pacientes con EPOC. El funcionamiento del dispositivo fue contrastado con un sistema clínico comercial portable e inalámbrico para la realización de pruebas de esfuerzo cardiopulmonar (Oxicon de CareFusion) basado en un cicloergómetro, cuyo software, Oxycon Mobile, incluye funciones de espirometría el cual fue empleado como estándar de referencia. A modo de ejemplo se aporta los resultados de uno de los sujetos del estudio (figura 1). Se analizó la reproducibilidad de los cambios dinámicos del patrón respiratorio comparando los resultados registrados por el sensor con los registrados en la ergometría.

Para realizar el análisis comparativo de las medidas del sensor capacitivo respecto del

Recibido: 03.07.2018. Aceptado: 03.09.2019

Eduardo Márquez Martín
eduardomarquezmartin@neumosur.net

dispositivo de referencia se utilizó la concordancia entre los dos dispositivos evaluada mediante un diagrama de Bland-Altman, calculando la diferencia media entre las 2 mediciones y la correspondiente desviación estándar.

En el estudio de evaluación del sensor participaron 9 pacientes con EPOC incluidos en el programa de Rehabilitación Respiratoria del Hospital Universitario Virgen del Rocío, previa autorización por parte del CEIC. En concreto fueron 6 hombres y 3 mujeres, de edad media 64 años y un índice de masa corporal de 29. El registro de las señales respiratorias fue realizado de forma simultánea por el sensor capacitivo y el estándar de referencia en una pausa de dos minutos de duración aproximada entre ejercicios del programa de rehabilitación de estos pacientes, para de esta forma promover una mayor variación en la frecuencia respiratoria y una mayor extensión del rango de valores evaluados.

La Figura 2 muestra el diagrama de Bland-Altman de las estimaciones realizadas con los dos dispositivos, con un error medio de -0,14 rpm (del sensor capacitivo respecto al de referencia) y una desviación estándar de 0,28 rpm. El límite inferior del intervalo de confianza del 95% está en -0,68 rpm y el límite superior en 0,4 rpm.

El presente trabajo ha mostrado una descripción de una primera aproximación al diseño de un sensor inteligente para la monitorización del ritmo respiratorio y la primera validación del dispositivo sobre la base de un estudio cuasi-experimental en pacientes con EPOC.

Los resultados obtenidos para el análisis comparativo de parámetros respiratorios (tiempo de inspiración, tiempo de espiración y ritmo respiratorio) estimados por el sensor capacitivo respecto del dispositivo de referencia han puesto de manifiesto la viabilidad técnica y funcional del prototipo propuesto. Además, en las condiciones del estudio realizado, el sensor propuesto ha mostrado en algunos casos mejores prestaciones respecto al sistema de referencia. Finalmente, los resultados obtenidos han servido para mostrar una validación preliminar del dispositivo en la monitorización de la frecuencia respiratoria de pacientes con EPOC. Los errores asumidos por el intervalo de confianza del 95% mostrado en el diagrama de Bland-Altman de la Figura 2 se consideran clínicamente aceptables. El número de medidas fuera del intervalo de confianza es muy reducido, y sus valores están muy próximos a los límites.

Nuestro dispositivo será empleado en una aplicación para la monitorización del ritmo

respiratorio de pacientes con EPOC cuando realizan los ejercicios de rehabilitación en su propio domicilio. Los requisitos de diseño de dicho sensor han sido un bajo coste, una alta sensibilidad y un uso sencillo y no intrusivo para el paciente.

Nuestro sistema propone el uso de tecnologías no intrusivas, de bajo coste y con alta sensibilidad de detección, mediante los principios de sensado capacitivo⁹.

Otro aspecto a destacar de los resultados obtenidos en este estudio preliminar ha sido la estabilidad de las estimaciones. Como valor añadido respecto del dispositivo de referencia, el sistema propuesto permite ofrecer una estimación en tiempo real del patrón respiratorio y su intensidad en cada momento. Dicha información podría resultar de interés clínico en la evaluación instantánea del proceso respiratorio¹⁰.

A pesar del tamaño de la muestra analizada, las prestaciones obtenidas por el dispositivo propuesto nos animan a seguir investigando y desarrollando la tecnología propuesta para su aplicación en la monitorización remota del ritmo respiratorio de pacientes con EPOC cuando realizan los ejercicios de rehabilitación en sus domicilios.

Fig. 1. Ejemplo de correlación de medidas en un paciente.

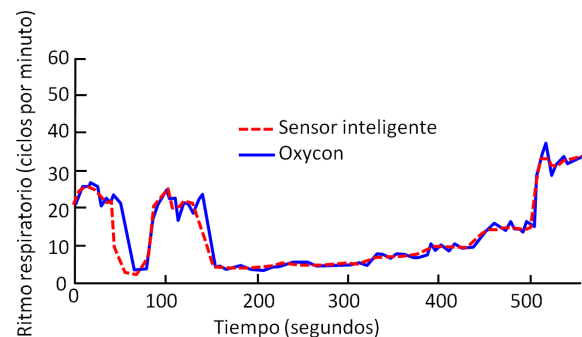
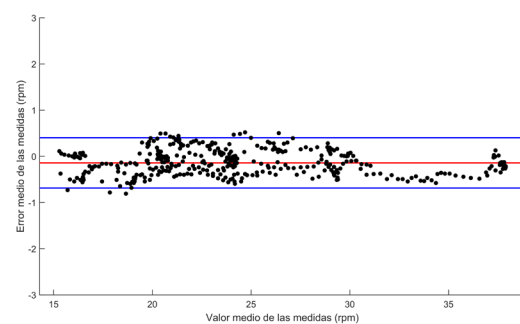


Fig. 2. Diagrama de Bland-Altman de las estimaciones realizadas con los dos dispositivos en el estudio sobre pacientes con EPOC.



Bibliografía

1. Nici L, Donner C, Wouters E et al. ATS/ERS Pulmonary Rehabilitation Writing Committee. American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006; 173: 1390–413.
2. Ries AL, Bauldoff GS, Carlin BW et al. Pulmonary Rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR Evidence-Based clinical practice guidelines. *Chest*. 2007; 131: 4–42.
3. Dinesen B, Grann O, Nielsen C et al. Telerehabilitation across sectors: The experiences of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients and healthcare professionals. *Proc 2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology*. 2011: 1–4.
4. Ambrosino N, Makhabah D, Sutanto Y. Tele-medicine in respiratory diseases. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*. 2017; 12(9).
5. Cao Z, Zhu R, Que RY. A wireless portable system with microsensors for monitoring respiratory diseases. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2012; 59(11).
6. Shah SA, Velardo C, Gibson OJ, Rutter H, Farmer A, Tarassenko L. Personalized alerts for patients with COPD using pulse oximetry and symptom scores. *36th Annual International Conference of the IEEE in Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. 2014: 3164-3167.
7. Patel S, Mancinelli C, Bonato P et al. Using Wearable Sensors to Monitor Physical Activities of Patients with COPD: A Comparison of Classifier Performance. *Proc Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*. 2009: 234–9.
8. Heneghan C, de Chazal P, Ryan S et al. Electrocardiogram recording as a screening tool for sleep disordered breathing. *J Clin Sleep Med*. 2008: 223–8.
9. White NM, Ash J, Wei Y, Akerman H. A planar respiration sensor based on a capaciflector structure. *IEEE Sensors Letters*. 2017; 1: 1–4.
10. Luis JA, Roa Romero LM, Gómez-Galán JA et al. Design and implementation of a smart sensor for respiratory rate monitoring. *Sensors (Switzerland)*. 2014; 14: 3019-3032.