



“Dispositivo de soporte en la rehabilitación de pacientes cardiopatas mediante el uso de biomarcadores vocales”

González-Gómez Karen

Universidad Modelo. Escuela de Ingeniería. Ingeniería Biomédica.

Carr. Mérida-Cholul , 200 m después del Periférico. CP 97305, Mérida, Yucatán. Tels.: (999) 930 19 00
15209522@modelo.edu.mx

Palabras clave: Biomarcadores vocales, Rehabilitación cardíaca, Dispositivo Médico, Escala de Borg

Resumen.

Se propone un enfoque innovador para la rehabilitación cardíaca, fundamental en un contexto donde las enfermedades cardiovasculares persisten como la principal causa de muerte en México. Se plantea el desarrollo de un sistema de asesoramiento de ejercicio físico personalizado basado en biomarcadores vocales, con el objetivo de mejorar la eficacia de la rehabilitación y superar las barreras financieras que limitan su acceso.

La metodología se centra en la recolección y procesamiento de muestras de audio de pacientes durante sesiones de prueba de esfuerzo máximo en programas de rehabilitación cardíaca en Mérida, Yucatán. Se utilizarán herramientas de reconocimiento de voz y análisis de señales para identificar momentos de disnea y evaluar la frecuencia y características vocales. Estos datos se utilizarán para establecer un sistema de asesoramiento de ejercicio físico personalizado, adaptado a los niveles individuales de capacidad cardíaca de cada paciente.

El diseño del dispositivo incluye una interfaz paciente-dispositivo mediante una pantalla táctil para interacción durante las sesiones de rehabilitación. Este sistema proporcionará retroalimentación en tiempo real al paciente, permitiendo ajustes personalizados durante el ejercicio.

El prototipo se someterá a pruebas con pacientes seleccionados inicialmente, corrigiendo errores y mejorando su funcionamiento. El objetivo final es desarrollar un dispositivo accesible y útil para el día a día de los pacientes, brindando una herramienta eficaz y personalizada para mejorar la rehabilitación cardíaca y la calidad de vida de los pacientes con enfermedades cardiovasculares.

Introducción. El trabajo científico se adentra en el campo crucial de la rehabilitación cardíaca, una faceta fundamental para asegurar que las personas con afecciones cardíacas puedan reintegrarse plenamente en la sociedad, no solo física sino también emocionalmente. A lo largo de cuatro décadas, la Organización Mundial de la Salud ha respaldado y promovido la inclusión de pacientes con enfermedades cardiovasculares (ECV) en programas de rehabilitación cardíaca (PRC). Sin embargo, con el progreso de la investigación y la comprensión de las enfermedades cardíacas, se ha expandido la inclusión de individuos con riesgo de desarrollar ECV, no limitándose únicamente a los casos avanzados o de personas mayores.

El proceso de rehabilitación cardíaca es intrínsecamente multidisciplinario, requiriendo la colaboración estrecha de diversos profesionales de la salud, desde médicos especialistas hasta personal de enfermería, fisioterapeutas, y profesionales en



psicología o terapia psicosocial. Este enfoque integral abarca desde la fase hospitalaria hasta la fase de mantenimiento en el hogar, ofreciendo terapias físicas supervisadas, terapias psicosociales y educación para la salud.

En el contexto mexicano, el registro nacional de programas de rehabilitación cardíaca destaca una desigual distribución entre centros privados y públicos, presentando barreras considerables como limitaciones financieras, falta de equipamiento y escasa referencia de pacientes a estos centros. La evaluación del gasto cardíaco durante las terapias se ha vuelto esencial, y métodos como la Escala de Borg la cual se observa en la Figura 1 extraída del estudio de *Asociación entre la Escala de Borg de esfuerzo percibido y parámetros fisiológicos en la intensidad del ejercicio* (Johannes, 2013) donde ha sido estudiada y emerge como herramienta precisa y asequible para monitorizar el ejercicio en la prevención de enfermedades cardiovasculares, haciendo más accesible la rehabilitación.

ESFUERZO PERCIBIDO

- 01
- 02
- 03 EXCESIVAMENTE LIVIANO
- 04
- 05 LIVIANÍSIMO
- 06
- 07 MUY LIVIANO
- 08
- 09 LIVIANO
- 10
- 11 NI LIVIANO NI PESADO
- 12
- 13 PESADO
- 14
- 15 MUY PESADO
- 16
- 17 PESADÍSIMO
- 18
- 19 EXCESIVAMENTE PESADO
- 20

Mediante estas herramientas se destaca el potencial innovador de los biomarcadores vocales en el ámbito médico para la rehabilitación cardíaca no supervisada y el diagnóstico temprano. Aunque prometedores, estos avances tecnológicos enfrentan desafíos técnicos y de privacidad en la implementación práctica de acuerdo con los resultados de *Voz para la Salud: El uso de biomarcadores vocales de la investigación a la práctica clínica* (Fagherazzi y et. al. 2021). La calidad de las bases de datos clínicas y las regulaciones de privacidad, que identifican la voz como un tipo de dato no anónimo, plantean preocupaciones sobre la privacidad de los pacientes.

Dentro de este contexto, se han llevado a cabo estudios como *Voz acústica y biomarcadores vocales del estado del tratamiento durante la hospitalización por insuficiencia cardíaca aguda descompensada* (Murton y et. al., 2023), que exploran el potencial de los biomarcadores vocales en la predicción de la frecuencia de admisión y alta hospitalaria como se observa en la Figura 2. Estos estudios han identificado características específicas del habla, como la duración de frases, el tiempo de fonación y la prominencia del pico cepstral, relacionadas con el estado del paciente y su progreso en el tratamiento de insuficiencia cardíaca.

Fig. 1 Rangos del esfuerzo percibido mediante la Escala de Borg.

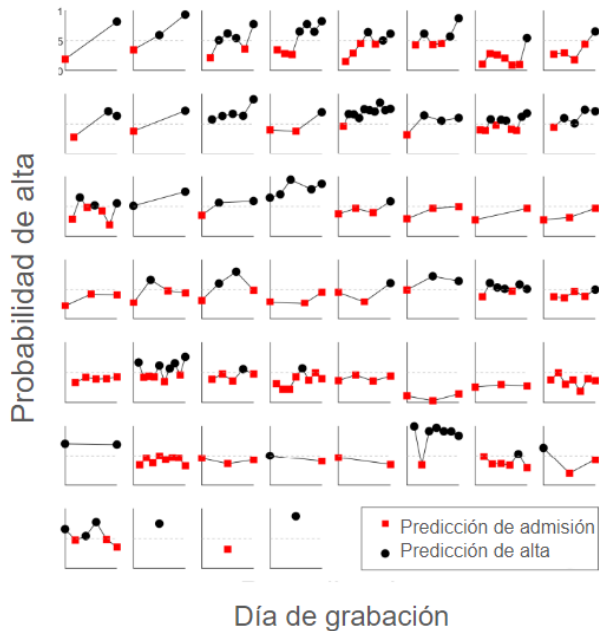


Fig. 2 Resultados de la predicción de alta y admisión después del procesamiento de su habla en varias etapas de su hospitalización

Planteamiento del problema y justificación.

El problema fundamental se centra en las enfermedades cardiovasculares, la principal causa de muerte en México incluso después de la crisis de COVID-19 en 2021. Esto ha aumentado el número de personas en riesgo y sobrevivientes de eventos cardiovasculares. Para abordar esta situación, se plantea la necesidad de rehabilitación cardíaca, crucial para mejorar la calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, los programas actuales enfrentan barreras financieras que limitan su alcance, especialmente en centros públicos.

Ante este panorama, se propone explorar programas de rehabilitación no supervisados mediante la telemedicina, enfocados en el análisis de biomarcadores vocales basados en la voz del paciente. A pesar del avance tecnológico, el uso de

inteligencia artificial en estas investigaciones no considera la personalización de las sesiones de rehabilitación, lo que podría representar un riesgo en entornos clínicamente críticos. Adaptar estos algoritmos es esencial para garantizar la seguridad y eficacia de estas aplicaciones en la atención individualizada de los pacientes.

Materiales y métodos. La metodología propuesta para el estudio involucra varios pasos clave:

Selección de pacientes. Cinco pacientes pertenecientes a programas de rehabilitación cardíaca en Mérida, Yucatán, serán seleccionados por especialistas en rehabilitación cardíaca, considerando sus padecimientos.

Recolección de muestras de audio. Durante una sesión de prueba de esfuerzo máximo, se grabarán muestras de audio de los pacientes utilizando el módulo de reconocimiento de voz V3. Se tomarán observaciones sobre la frecuencia cardíaca, nivel de disnea, respuesta de los rehabilitadores y se grabará desde el inicio hasta el máximo esfuerzo del paciente.

Procesamiento del audio. Los archivos de audio se analizarán utilizando software como Praat y MatLab para aislar momentos de voz y evaluar la frecuencia y características durante la disnea. Se aplicarán filtros para eliminar el ruido de fondo y se analizarán las señales obtenidas en términos de frecuencia.

Análisis de datos recolectados. Utilizando software como PSoC Creator y Arduino Uno, se aplicarán los filtros diseñados en MatLab para contar los momentos de disnea por minuto. Estos datos se



utilizarán para establecer un sistema de asesoramiento de ejercicio físico personalizado.

Diseño de plataforma paciente-dispositivo. Se programará una pantalla digital táctil utilizando IDE Arduino para interactuar con el paciente durante las sesiones. La pantalla mostrará la escala de Borg y permitirá al paciente responder preguntas para recibir retroalimentación sobre su estado y ejercicio físico.

Fase inicial del prototipo con hardware integrado. Se integrarán los componentes de procesamiento de voz, retroalimentación y adquisición de datos en una placa PCB para verificar su correcto funcionamiento. Pruebas con pacientes y corrección de errores. Se realizarán pruebas con supervisión inicial, observando posibles fallos para corregirlos y mejorar el dispositivo.

Fase final del prototipo. Se ensamblarán todas las partes del dispositivo en una placa PCB final, considerando las correcciones realizadas, y se procurará que sea fácilmente utilizable en el día a día, alimentado por baterías para una mayor accesibilidad.

Resultados previos. Mediante la encuesta al médico especialista en rehabilitación cardíaca se estableció como protocolo para el diseño de la interfaz paciente-dispositivo preguntar cada tres minutos la escala de Borg que percibe el paciente, observar la frecuencia cardíaca y pedirle que diga su nombre tres veces con una bocanada de aire. De forma inicial para el análisis de la voz se muestrearon las sesiones de dos pacientes, un masculino de 51 años en su prueba de esfuerzo

máxima inicial para el ingreso a un PRC posterior a un evento cardiovascular por obstrucción arterocoronaria y se logró seccionar las fases donde respondía las preguntas realizadas por el médico rehabilitador en las que se encontraba en 5 secciones de su escala de Borg. Y a una femenina de 48 años de igual forma con insuficiencia cardíaca por obstrucción arterocoronaria pero en su segunda sesión de terapia física, es decir se muestreó su voz en la escala de Borg segura para estar en la fase efectiva del entrenamiento.

Conclusiones y perspectivas.

El estudio aborda la necesidad crucial de mejorar la rehabilitación cardíaca para pacientes con enfermedades cardiovasculares en México. La persistencia de barreras financieras en los programas tradicionales ha impulsado la búsqueda de un enfoque innovador basado en biomarcadores vocales para ofrecer asesoramiento personalizado durante la rehabilitación. La metodología propuesta, que involucra la recolección y análisis de muestras de voz durante sesiones de prueba de esfuerzo, busca adaptar el ejercicio físico a las capacidades individuales de cada paciente. Las limitaciones por las que no se logró el término de la fase hasta donde se planeó fue la falta de cooperación de algunos pacientes en el área pública del proyecto, sin embargo, en la sección privada hubo una cooperación plena. La interfaz paciente-dispositivo que se va a desarrollar permitirá una retroalimentación en tiempo real, mejorando la participación y el seguimiento durante la rehabilitación y así, reemplazará el papel del



rehabilitador para mantener a los pacientes en una zona segura durante su terapia física en casa. Este enfoque representa un paso significativo hacia una rehabilitación cardíaca más accesible y eficaz, ofreciendo un sistema adaptable y útil para mejorar la calidad de vida de los pacientes con enfermedades cardiovasculares.

Referencias.

Bezerra, L., Ronto, R., Chau, J., Chow, C. & Laranjo, L. (2022) Use of Mobile Apps in Heart Failure Self-Management: Qualitative Study Exploring the Patient and Primary Care Clinician Perspective. *Journal of Medical Internet Research*. Vol. 6. <https://cardio.jmir.org/2022/1/e33992#app1>
doi:10.2196/33992

Fagherazzi, G., Fischer, A., Ismael, M. & Despotovic, V. (2021) *Voice for Health: The Use of Vocal Biomarkers from Research to Clinical Practice*. Karger Publishers Vol. 5
<https://karger.com/dib/article-pdf/5/1/78/2576243/000515346.pdf> DOI: 10.1159/000515346

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2023) *MÓDULO DE PRÁCTICA DEPORTIVA Y EJERCICIO FÍSICO (MOPRADEF)* Inegi: México
<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/mopradef/mopradef2022.pdf>

Jaskanwal, S., Orbelo, D., Elad, M., Lerman, L. O. & Lerman, A. (2023) Guess What We Can Hear – Novel Voice Biomarkers for the Remote Detection of

Disease. *Mayo Clinic Proceedings*. Vol. 98.
<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2023.03.007>

Lieshout, P. V. (2017) PRAAT: Short Tutorial. University of Toronto, Department of Speech-Language Pathology, Faculty of Medicine, Oral Dynamics Lab.
https://www.researchgate.net/publication/270819326_PRAAT_-_Short_Tutorial_-_An_introduction

Lara-Vargas, J. A., Ilárraza-Lomelí, H., García-Saldivia, M., Pineda-García, A. D., Leyva-Valadez, E. A., Justiniano-Cordero, S., Sahagún-Olmos, R., Zavala-Ramírez, J., Cassaigne-Guasco, M. E., Sánchez-Limón, E., Castañeda-López, J., Cerón-Enríquez, N., Ku-González, A., Arteaga-Martínez, R., Hinojosa-López, T., Vergara-Guzmán, J., Pérez-Vázquez, D. I., Gasca-Zamudio, P. D., Aranda-Ayala, Z., Rius-Suárez, M. (2023). Tercer Registro Nacional de Programas de Rehabilitación Cardíaca en México (RENAPREC III-2022). *Archivos de cardiología de México*, 93(4).
<https://doi.org/10.24875/acm.22000235>

Murton, O. M., Dec, G. W., Hillman, R. E., Dajmudar, M., Steiner, J., Gutttag, J. & Mehta, D. (2023) Acoustic Voice and Speech Biomarkers of Treatment Status during Hospitalization for Acute Decompensated Heart Failure. *Appl. Sci*. Vol. 13.
<https://doi.org/10.3390/app13031827>

Ravindra, N. & Kao, D. P. (2022) Extracting Vocal Biomarkers for Pulmonary Congestion With a



Smartphone App. Journal of the American College of
Cardiology. Vol. 10.

<https://www.jacc.org/doi/epdf/10.1016/j.jchf.2021.10.007>

Tal, T. (2023) How voice biomarker AI can transform early disease diagnoses. Med Tech Innovation News. AI in Healthcare Insights. <https://www.med-technews.com/medtech-insights/ai-in-healthcare-insights/how-voice-biomarker-ai-can-transform-early-disease-diagnoses/>

Tracey, B., Patel, S., Zhang, Y., Chappie, K., Volfson, D., Parisi, F., Adans-Dester, C., Bertacchi, F., Bonato, P. & Wacnik (2022) Voice Biomarkers of Recovery from Acute Respiratory Illness. Institute of Electrical and Electronics Engineers Journal of Biomedical and Health Informatics. Vol. 26. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9658158>

Burkhalter, N. (1996) Evaluación de la escala de Borg de esfuerzo percibida en la rehabilitación cardiaca. Revista Latinoamericana Enfermagem. Vol. 4. DOI:10.1590/S0104-11691996000300006