

**Prototipo de ejercicio para
rehabilitación cardíaca basada en
ejercicios en pacientes con
insuficiencia cardíaca: estudio de
evaluación de usabilidad y
desarrollo de HEFMOB.**



Ana Sanz Rocher

Máster en Rendimiento Deportivo y Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche

Curso académico: 2023–2024

Tutor: Dr. José Manuel Sarabia Marín

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Método.....	4
2.1 Fase 1: Desarrollo del dispositivo.....	4
2.2 Fase 2: Evaluación de la usabilidad.....	7
2.3 Fase 3: Valoración del dispositivo.	8
3. Referencias	11



1. INTRODUCCIÓN

La insuficiencia cardíaca (IC) es un síndrome clínico caracterizado por una disfunción estructural o funcional del miocardio, que resulta en una ineficacia de la capacidad contráctil del corazón, bien sea sistólica, diastólica o ambas (McDonagh et al., 2021). A menudo, surge como una progresión de diversas patologías, como hipertensión arterial, enfermedades valvulares, miocardiopatías o enfermedades metabólicas entre otras. Además, conlleva diversas comorbilidades, como diabetes mellitus, hipertensión arterial, enfermedad renal crónica y enfermedad pulmonar obstructiva crónica, lo que complica su tratamiento y tiene un impacto negativo en el pronóstico.

Este síndrome, tiene una prevalencia de alrededor de 63 millones de personas en todo el mundo, y en las últimas décadas, con el envejecimiento de la población, se observa una tendencia positiva en el número de pacientes (Rosano et al., 2022). Esta enfermedad conlleva una carga económica considerable debido a las hospitalizaciones frecuentes, la atención médica continua, el coste de los tratamientos farmacológicos, los tratamientos invasivos y el manejo de comorbilidades.

La insuficiencia cardíaca es una enfermedad crónica que con frecuencia resulta en reingresos hospitalarios (Chen et al., 2018). Estos reingresos están asociados con un peor pronóstico y un mayor riesgo de mortalidad a corto y largo plazo. Después de la hospitalización, el pronóstico depende en gran medida de la calidad de la atención médica y el seguimiento posterior al alta, así como de la adherencia del paciente al tratamiento y las recomendaciones de estilo de vida. Esto destaca la necesidad de un control médico continuo a largo plazo, lo cual implica costos elevados para la sanidad pública y contribuye a la saturación del sistema sanitario (Bernocchi et al., 2016). Por lo tanto, es crucial implementar una intervención eficaz para mejorar la calidad de vida de los pacientes y reducir tanto los reingresos hospitalarios, que indican un peor pronóstico, como los costos económicos asociados para el sistema de salud pública.

La rehabilitación cardíaca se ha destacado como un componente crucial del tratamiento no farmacológico en el abordaje de la enfermedad cardiovascular (Astley et al., 2021). Este programa multidisciplinar organizado y supervisado, que requiere de la colaboración de diferentes especialidades, incluye intervenciones de ejercicio físico, asesoramiento dietético, modificaciones en los factores de riesgo, educación al paciente sobre la patología y apoyo emocional (Ambrosetti et al., 2021). Su objetivo primordial radica en mejorar la función del músculo cardíaco, fomentar hábitos de vida saludables y reducir la mortalidad asociada con la enfermedad cardiovascular (Montero, 2009). A través de la participación en estos programas, se busca la mejora de la calidad de vida de pacientes con insuficiencia cardíaca, mejorando la capacidad física y funcional, así como disminuir la necesidad de hospitalizaciones, mejorando el pronóstico a largo plazo (Chen et al., 2018).

En España, los programas de rehabilitación cardíaca actualmente constan de tres fases (Hernández et al., 2020). La fase I, o periodo hospitalario, comienza con la estabilización del paciente tras el ingreso. Esta etapa, que suele durar de 3 a 5 días, se centra en aspectos psicológicos y en una movilización temprana. La literatura respalda que la intervención precoz en estos pacientes mejora la capacidad funcional, reduce la duración de la estancia hospitalaria y disminuye los reingresos. Así como también, se asocia a estancias hospitalarias más cortas y a un menor número de reingresos (Fleming et al., 2018).

A pesar de reconocer los beneficios potenciales que esta estrategia puede ofrecer, la realidad es que su implementación se enfrenta a limitaciones importantes. La escasez de

recursos económicos, la restricción de espacio en los centros sanitarios y la falta de equipos multidisciplinares adecuados entre otros, son factores que dificultan su implementación (SEC.R-EURCa II, 2016). Por ello, en España solo el 35% de los centros que llevan a cabo programas de RC implementan la fase I (Fleming et al., 2018).

Ante esta problemática, ha surgido un mayor interés en emplear nuevas tecnologías como posibles soluciones. Dentro de ellas, la convergencia de la arquitectura de Internet de las cosas (IoT) y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ofrece una perspectiva alentadora, al presentar una alternativa para abordar los crecientes desafíos de la atención médica (Thomas, 2024).

En los últimos años, han surgido programas centrados en el ejercicio, los cuales hacen uso de las TIC, como los videojuegos y la realidad virtual (RV), entre otros. Estos programas representan alternativas a los enfoques convencionales y proporcionan un método innovador para el aprendizaje, la participación en los procesos de rehabilitación, la provisión de atención personalizada y el compromiso del paciente (Aghdam et al., 2021). Los juegos de ejercicio físico a través de la RV se encuentran dentro de lo que consideraríamos *exergaming*, que son todos aquellos videojuegos que impliquen movimiento. Estos proporcionan una perspectiva más entretenida y atractiva, lo que contribuye a aumentar la adherencia y motivación hacia la práctica de actividad física (Fang et al., 2022). Se ha comprobado que estos juegos benefician la recuperación de la función motora, la destreza manual y la prevención de caídas en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular, aquellos con enfermedad de Parkinson y en adultos mayores (Nguyen et al., 2018).

Aunque los estudios sobre *exergaming* y RV han arrojado resultados prometedores, se han identificado varios aspectos y limitaciones importantes (Nguyen et al., 2018). En primer lugar, el coste de estos equipos puede suponer un obstáculo, ya que los equipos suelen tener precios elevados. En segundo lugar, los dispositivos pueden resultar complejos de manejar para ciertos pacientes y, en tercer lugar, algunos grupos de pacientes y etapas de rehabilitación pueden requerir supervisión y seguimiento in vivo de personal cualificado. Por último, mantener la motivación para realizar ejercicio puede representar un desafío persistente para los pacientes, y los juegos de ejercicio por sí solos pueden no ser suficientes para garantizar una adherencia a largo plazo.

En la actualidad, no existen soluciones efectivas que aborden todos los problemas asociados con la rehabilitación de pacientes con enfermedades cardiovasculares, especialmente durante la fase de movilización temprana en el hospital. Por ello, este trabajo tiene como objetivo diseñar, desarrollar y evaluar un prototipo de videojuego a través de RV con monitorización remota de parámetros biométricos y gestión autónoma. Este prototipo busca proporcionar una solución alternativa e innovadora que permita poner en marcha un programa de rehabilitación cardíaca basada en el ejercicio a la mayor brevedad y empezar en la habitación del hospital.

2. MÉTODO

2.1 Fase 1: Desarrollo del dispositivo

El dispositivo de *exergaming* fue desarrollado por un equipo multidisciplinario de ingenieros, médicos, enfermeros e investigadores en ciencias de la actividad física y del deporte. El sistema pasó por diversas fases de desarrollo, incorporando mejoras en cada etapa hasta obtener el consenso de todos los miembros del equipo. El prototipo final, denominado HEFMOB (prototipo de movilización para insuficiencia cardíaca), incluye la monitorización en tiempo real de variables biométricas como la frecuencia cardíaca (FC), el nivel de saturación de O₂ en sangre (SpO₂), los niveles de presión arterial tanto sistólica como diastólica, y un electrocardiograma. HEFMOB está específicamente diseñado para la movilización temprana de pacientes con insuficiencia cardíaca y está consolidado por los siguientes elementos esenciales: microcontroladores, dispositivos de medición de datos biométricos, un servidor web de administración con una interfaz de control web, tecnologías de comunicación de datos, un pedalier y gafas de realidad virtual (Figuras 1 y 2).

Cabe destacar que el prototipo obtuvo la aprobación de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios para la realización de estudios clínicos, clasificándose como un producto clínico de clase IIa. Además, sus derechos de propiedad intelectual han sido registrados en la Oficina Española de Patentes y Marcas.

HEFMOB es un videojuego de realidad virtual diseñado específicamente para *Oculus Quest 2*, una plataforma de realidad virtual de última generación conocida por sus experiencias en realidad virtual. Este juego está completamente integrado en una arquitectura de IoT gestionada por una Raspberry Pi. Además, es compatible con dispositivos ESP32, que transmiten en tiempo real parámetros de salud críticos, como SpO₂, la presión arterial, ECG y FC. La transmisión de estos datos se realiza a través del protocolo de transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT), garantizando una monitorización continua y precisa de las condiciones del paciente.

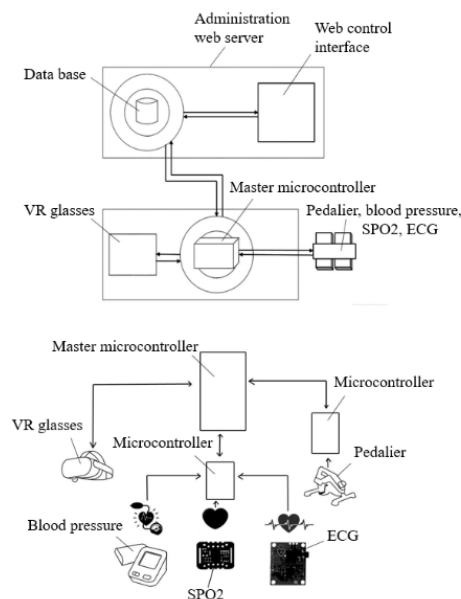


Fig. 1. Esquema del diseño y comunicaciones entre los diferentes elementos.

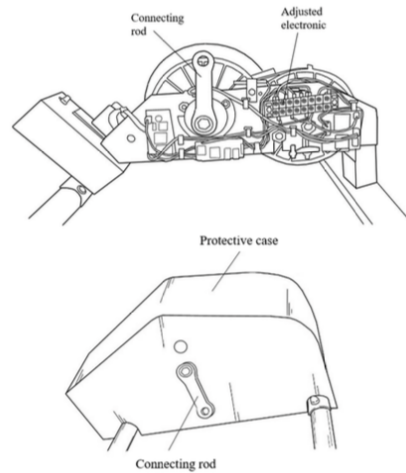


Fig. 2. Diseño del pedalier y el protector.

Todos los datos recopilados por el sistema se almacenan en una base de datos centralizada. Estos datos incluyen información sobre las distintas constantes registradas (Figura 3). A través de una interfaz de control accesible vía web, se puede monitorizar en tiempo real los datos del paciente mientras se lleva a cabo la sesión. Esto permite observar y analizar instantáneamente la respuesta del paciente al ejercicio, facilitando ajustes inmediatos y proporcionando una supervisión continua durante todo el proceso (Figura 4).

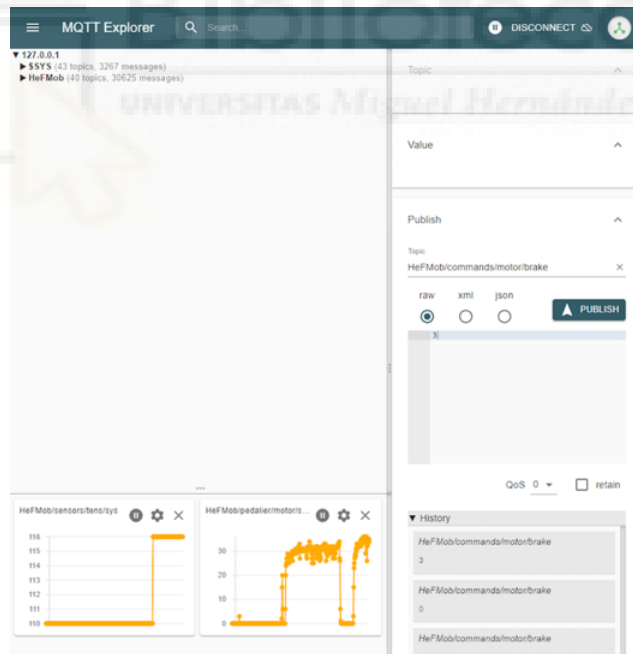


Fig. 3. Transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT).



Fig. 4. Interfaz de control accesible vía web.

En el juego de realidad virtual, los pacientes asumen el rol de un ciclista que se desplaza pedaleando en un tándem. Al comenzar, un avatar llamado Cori les guía sobre cómo interactuar con el sistema de manera autónoma y les proporciona consejos sobre el manejo de su patología a lo largo del recorrido. Mientras pedalean, los pacientes deben "recoger" diversas botellas de agua virtuales moviendo los brazos con un mando en cada mano. Además, durante el trayecto, se muestran vallas publicitarias con información educativa sobre la patología, diseñada para proporcionarles consejos sobre cómo manejar mejor su condición y promover hábitos saludables.

Es importante destacar que la velocidad de pedaleo y la intensidad del ejercicio se registran continuamente. Si el paciente no alcanza la frecuencia cardíaca objetivo establecida, el sistema incrementará gradualmente la intensidad del ejercicio hasta que se alcance la frecuencia cardíaca deseada. De la misma manera, si el paciente supera esta frecuencia, la intensidad se reducirá o el juego podría detenerse si alguno de los parámetros se considera no seguro, como una presión arterial o FC considerablemente baja o alta. Esto garantiza que el paciente trabaje dentro del rango óptimo para obtener los máximos beneficios del entrenamiento, asegurando siempre su seguridad.



Figura .5. Vista del usuario durante el juego. En la esquina superior derecha aparece Cori.

Durante toda la sesión, el paciente seguirá una rutina de intervalos de ejercicio de 5 minutos cada uno. Al finalizar cada intervalo, el paciente descansará durante 1 minuto y medio, durante el cual el videojuego medirá su presión arterial. Esta medición en los periodos de descanso permite monitorear de manera precisa la respuesta del paciente al ejercicio, asegurando un seguimiento continuo de su estado cardiovascular.

Al concluir la fase de ciclismo, los usuarios pasan a un minijuego de recolección de frutas (Figura 6). En esta etapa, frutas virtuales se dirigen hacia el usuario, que debe mover sus brazos para "recogerlas" siguiendo las trayectorias que estas describen en función del color de la fruta. La dificultad del juego se ajusta según la velocidad y la frecuencia con la que las frutas se aproximan, exigiendo a los pacientes a realizar movimientos coordinados de las extremidades superiores, lo que fomenta la mejora de su destreza y coordinación.



Fig. 6. Vista del paciente desde el minijuego de las frutas.

Después del minijuego, en la pantalla principal se muestra la escala Borg CR-10, y se pide a los pacientes que evalúen su esfuerzo percibido después de completar ambos segmentos de realidad virtual. Estos datos también son recopilados por el sistema de control.

2.2 Fase 2: Evaluación de la usabilidad.

El objetivo de la fase de evaluación de la usabilidad del dispositivo es asegurar que el sistema sea intuitivo, accesible y efectivo para los usuarios finales, en este caso, pacientes con IC. Esta evaluación es esencial para identificar posibles mejoras en el diseño y funcionamiento del prototipo, garantizando que cumpla con los estándares necesarios para su implementación clínica. Durante esta fase, se llevó a cabo un protocolo de simulación que evaluó a los usuarios, recopilando datos cualitativos y cuantitativos sobre la experiencia de uso, la facilidad de manejo y la efectividad del dispositivo en un entorno realista.

Los criterios de inclusión para la fase de evaluación de la usabilidad del dispositivo fueron los siguientes: pacientes masculinos y femeninos diagnosticados con IC, de más de 50 y menos de 75 años, con una fracción de eyección ventricular izquierda ligeramente reducida (40 - 50%) o reducida (< 40%), y sin limitaciones cognitivas y físicas que contraindicasen la actividad física. Los criterios de exclusión incluyeron angina de pecho inestable, IC descompensada, haber sufrido un evento en los últimos seis meses, diabetes mellitus, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y arritmias ventriculares complejas. Estos pacientes fueron citados desde el Hospital Universitario General Dr. Balmis de Alicante y esta parte del estudio se llevó a cabo en el laboratorio de simulación clínica e innovación de Alicante (SIMIA). La evaluación de la

usabilidad se llevó a cabo en dos etapas, siguiendo estudios previos (28): (a) métodos expertos y (b) métodos de usuario (es decir, pacientes con insuficiencia cardíaca). En la primera etapa, siete miembros del equipo de investigación, incluidos cardiólogos (n = 2), enfermeras (n = 2), graduados en ciencias del deporte (n = 2) e ingenieros (n = 1), interactuaron directamente con el prototipo. Basándose en sus observaciones y comentarios, se realizaron las modificaciones necesarias para mejorar la funcionalidad y la usabilidad del prototipo. Posteriormente, se llevó a cabo la evaluación de usabilidad del prototipo con los pacientes.

La evaluación con pacientes se realizó con diez individuos con insuficiencia cardíaca crónica (n = 10), compuestos por seis hombres y cuatro mujeres. El protocolo de la sesión incluyó tres bloques de ejercicio de 5 minutos, intercalados con descansos pasivos, sumando aproximadamente 30 minutos en total. La intensidad del ejercicio se fijó entre el 60 y el 70% de la frecuencia cardíaca máxima teórica. Durante los periodos de descanso, se midió la presión arterial de los pacientes. Al finalizar la ruta con el cicloergómetro, los pacientes también se sometieron a la prueba de recolección de frutas mencionada anteriormente.

Para evaluar la usabilidad, se utilizaron dos enfoques metodológicos. Primero, se llevaron a cabo análisis observacionales mientras los usuarios interactuaban con el sistema. Durante esta fase, se instruyó a los pacientes a verbalizar aquello que opinaban sobre el dispositivo y la coherencia de este durante la interacción con las distintas acciones, y sus sesiones fueron grabadas en vídeo y audio (Figura 6). Luego, dos miembros del equipo de investigación revisaron las grabaciones de manera independiente y documentaron los eventos relacionados con el juego y la usabilidad utilizando la herramienta *Serious Game Usability Evaluator* (Moreno-Ger et al., 2012), donde cualquier desacuerdo entre los dos evaluadores fue resuelto mediante consenso. Además, se emplearon métodos basados en encuestas para complementar la evaluación. Inmediatamente después de la sesión, los pacientes completaron la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), una escala Likert de 10 ítems con cinco niveles de respuesta que van desde "totalmente en desacuerdo" hasta "totalmente de acuerdo" (Brooke, 1996). La puntuación del SUS se interpretó en las siguientes categorías: mala usabilidad (≤ 39), necesidad de mejora (40-49), usabilidad aceptable (50-59), buena usabilidad (60-69) y excelente usabilidad (≥ 70) (Brooke, 2013). Además, los pacientes respondieron a la subescala de interés y disfrute de 5 ítems del Inventario de Motivación Intrínseca (IMI) (McAuley et al., 1989). La puntuación del IMI se interpretó como sigue: muy bajo disfrute (5-9), bajo disfrute (10-14), disfrute moderado (15-19), alto disfrute (20-24) y muy alto disfrute (25-35) (Ryan & Deci, 2000). Se reportaron tanto la media como la desviación estándar (SD) de las puntuaciones.

2.2 Fase 3: Validación del dispositivo.

La fase de validación del dispositivo buscaba confirmar la efectividad y seguridad del sistema en un entorno clínico real. Esta etapa es crucial para asegurar que el dispositivo cumple con los estándares médicos y técnicos necesarios para su implementación en la práctica clínica diaria. Durante la fase, se incluyeron pruebas con pacientes para recopilar datos sobre la experiencia de uso y la satisfacción, garantizando que el dispositivo no solo funcione correctamente, sino que también sea viable y aceptado por los usuarios finales.

En esta fase del estudio, se incluyeron veinte pacientes, de los cuales finalmente solo catorce completaron todo el programa (n=14). Entre estos, había diez hombres (n=10) y cuatro mujeres (n=4), todos diagnosticados con insuficiencia cardíaca. Los participantes tenían edades comprendidas entre 50 y 75 años y presentaban una fracción de eyección ventricular izquierda ligeramente reducida (40-50%) o reducida (<40%). Además, ninguno de los pacientes tenía limitaciones cognitivas o físicas que contraindiquen la actividad física. Los criterios de exclusión

abarcaron angina de pecho inestable, insuficiencia cardíaca descompensada, infarto de miocardio en los últimos seis meses, diabetes mellitus, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y arritmias ventriculares complejas.

El protocolo de entrenamiento consistió en dos sesiones semanales durante cuatro semanas, con una progresión gradual en la carga, tanto en intensidad como en duración. Las sesiones comenzaron con 20 minutos de entrenamiento, divididos en cuatro bloques de cinco minutos, y se incrementaron gradualmente hasta alcanzar cinco bloques de cinco minutos cada uno. Entre cada intervalo, había una pausa de aproximadamente un minuto y medio para medir la presión arterial.

Además de la altura y del peso, se llevaron a cabo una serie de pruebas antes y después del programa, con el objetivo de evaluar el estado general de salud del paciente. Estas pruebas incluyeron variables antropométricas, la capacidad funcional y riesgo de fragilidad, la capacidad cardiorrespiratoria y un cuestionario para conocer la percepción y conocimiento de la patología.

Capacidad funcional y riesgo de fragilidad

Se realizaron algunas pruebas del *Senior Fitness Test* (SFT, por sus siglas en inglés) (Rikli & Jones, 2013), un instrumento que evalúa aspectos de la fuerza, movilidad, potencia y flexibilidad. Para este estudio, seleccionamos las pruebas de fuerza del tren inferior y superior, así como el test de potencia.

En primer lugar, la fuerza del tren inferior se evaluó mediante el *Chair Stand Test* (Jones et al., 1999), el cual consiste en levantarse de la silla tantas veces como sea posible durante 30 segundos. Los participantes realizaron esta prueba con los brazos cruzados, tratando de completar las repeticiones lo más rápidamente posible.

En segundo lugar, para evaluar la fuerza del tren superior se empleó el *Arm Curl Test*, este es una prueba que se realiza con el participante sentado en una silla, utilizando una mancuerna ligera (5 lbs para mujeres y 8 lbs para hombres). Para ejecutar el test, el participante dobla el codo, llevando la mancuerna hacia el hombro, y luego extiende el brazo nuevamente. Este movimiento de flexión y extensión se repite tantas veces como sea posible durante 30 segundos (James, 1999).

Por último, el test *Up and Go* se utilizó para evaluar la movilidad, el equilibrio y la agilidad de los pacientes. Es una prueba comúnmente empleada en entornos clínicos para identificar problemas de movilidad que podrían aumentar el riesgo de caídas, especialmente en adultos mayores y pacientes con diversas condiciones médicas (Beauchet et al., 2011). Al comenzar la prueba, se le pide que se levante de la silla, camine una distancia de tres metros, dé la vuelta y regrese a la silla para sentarse nuevamente. Todo el proceso se cronometra, y el tiempo que tarda en completar la secuencia se utiliza como un indicador de su movilidad funcional.

Capacidad cardiorrespiratoria

Para conocer la capacidad cardiorrespiratoria, se realizó una ergoespirometría antes y después de las 4 semanas de entrenamiento.

La ergoespirometría, también conocida como prueba de esfuerzo cardiopulmonar, es una evaluación diagnóstica avanzada que se utiliza para medir la respuesta del corazón, los

pulmones y los músculos durante el ejercicio. Esta prueba se realiza mediante un protocolo de ejercicio incremental, combinado con mediciones de respiración por respiración y análisis del intercambio de gases.

En pacientes con insuficiencia cardíaca, la ergoespirometría se utiliza ampliamente para medir el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx), que se define como el límite fisiológico de la utilización de oxígeno por el organismo. El VO₂ máx es un indicador crucial y se considera un fuerte predictor de mortalidad en estos pacientes. Además, es un factor pronóstico importante en la insuficiencia cardíaca avanzada y actualmente se utiliza como criterio clave para la selección de candidatos para el trasplante de corazón, específicamente aquellos con un VO₂ máx de $\leq 14 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Manresa-Rocamora et al., 2023).

La prueba de esfuerzo cardiopulmonar también es fundamental para identificar los umbrales ventilatorios, que son puntos específicos durante el ejercicio en los que se producen cambios significativos en la respiración y el metabolismo. Conocer estos umbrales es esencial para evaluar la capacidad aeróbica de un paciente y para planificar programas de ejercicio individualizados y adaptados a sus necesidades específicas (Manresa-Rocamora et al., 2023).

La prueba se realizó en un ergómetro de ciclo con freno electromagnético (SanaBike 500 easy, Truchtelingen, Alemania). Antes del inicio de la prueba, se registraron cinco minutos en reposo, seguidos de un calentamiento de cinco minutos a 10 W con una cadencia de 50 revoluciones por minuto (rpm). La prueba continuó hasta que el paciente alcanzó el agotamiento voluntario o no pudo mantener una cadencia de al menos 45 rpm. Durante todo el protocolo, el intercambio de gases se registró utilizando un analizador de gas Metalyzer 3B (CORTEX Biophysik, Leipzig, Alemania), y la frecuencia cardíaca se monitoreó con un electrocardiógrafo de 12 derivaciones.

Se instruyó a los pacientes a ayunar durante al menos tres horas antes de la prueba, así como a abstenerse de actividad física extenuante (24 horas antes), y de consumir alcohol y tabaco (tres horas antes).

Conocimiento de la patología

En último lugar, para evaluar la efectividad de los mensajes educativos que aparecían durante el recorrido en bicicleta en el videojuego, se realizó un análisis del conocimiento de los pacientes sobre su patología. Esta evaluación se llevó a cabo antes y después de las cuatro semanas de entrenamiento. Los pacientes completaron el cuestionario "Atlanta Heart Failure Knowledge Test" (AHFKTREF-V2) (Reilly et al., 2009) diseñado específicamente para medir su comprensión y conocimiento del manejo de la IC. Esta metodología permitió determinar si la información proporcionada a través del videojuego había logrado mejorar la educación del paciente sobre su condición mientras realizaban ejercicio físico.

3. REFERENCIAS

- Aghdam, Z. N., Rahmani, A. M., & Hosseinzadeh, M. (2021). The role of the Internet of Things in healthcare: Future trends and challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 199, 105903.
- Ambrosetti, M., Abreu, A., Corrà, U., Davos, C. H., Hansen, D., Frederix, I., Iliou, M. C., Pedretti, R. F. E., Schmid, J.-P., & Vigorito, C. (2021). Secondary prevention through comprehensive cardiovascular rehabilitation: From knowledge to implementation. 2020 update. A position paper from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *European Journal of Preventive Cardiology*, 28(5), 460–495.
- Astley, C. M., Clarke, R. A., Cartledge, S., Beleigoli, A., Du, H., Gallagher, C., Millington, S., & Hendriks, J. M. (2021). Remote cardiac rehabilitation services and the digital divide: Implications for elderly populations during the COVID19 pandemic. In *European Journal of Cardiovascular Nursing* (Vol. 20, Issue 6, pp. 521–523). Oxford University Press.
- Beauchet, O., Fantino, B., Allali, G., Muir, S. W., Montero-Odasso, M., & Annweiler, C. (2011). Timed Up and Go test and risk of falls in older adults: a systematic review. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 15, 933–938.
- Bernocchi, P., Scalvini, S., Galli, T., Paneroni, M., Baratti, D., Turla, O., La Rovere, M. T., Volterrani, M., & Vitacca, M. (2016). A multidisciplinary telehealth program in patients with combined chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 17, 1–10.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194), 4–7.
- Brooke, J. (2013). SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.
- Chen, Y.-W., Wang, C.-Y., Lai, Y.-H., Liao, Y.-C., Wen, Y.-K., Chang, S.-T., Huang, J.-L., & Wu, T.-J. (2018). Home-based cardiac rehabilitation improves quality of life, aerobic capacity, and readmission rates in patients with chronic heart failure. *Medicine*, 97(4).
- Fang, Z., Wu, T., Lv, M., Chen, M., Zeng, Z., Qian, J., Chen, W., Jiang, S., & Zhang, J. (2022). Effect of traditional plus virtual reality rehabilitation on prognosis of stroke survivors: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 101(3), 217–228.
- Fleming, L. M., Zhao, X., DeVore, A. D., Heidenreich, P. A., Yancy, C. W., Fonarow, G. C., Hernandez, A. F., & Kociol, R. D. (2018). Early ambulation among hospitalized heart failure patients is associated with reduced length of stay and 30-day readmissions. *Circulation: Heart Failure*, 11(4), e004634.
- Hernández, P. G., Carbonell, M. R., Redondo, C. F., Sastre, V. F., Leira, C. N., & García, J. M. (2020). Categorización de los programas de prevención y rehabilitación cardiaca en España. *Enfermería En Cardiología: Revista Científica e Informativa de La Asociación Española de Enfermería En Cardiología*, 81, 12–20.
- James, T. W. (1999). *The 30-second arm curl test as an indicator of upper body strength in older adults*. California State University, Fullerton.
- Jones, C. J., Rikli, R. E., & Beam, W. C. (1999). A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(2), 113–119.
- Manresa-Rocamora, A., Fuertes-Kenneally, L., Blasco-Peris, C., Sempere-Ruiz, N., Sarabia, J. M., & Climent-Paya, V. (2023). Is the Verification Phase a Suitable Criterion for the Determination of Maximum Oxygen Uptake in Patients with Heart Failure and Reduced Ejection Fraction? A Validation Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 2764.

- McAuley, E., Duncan, T., & Tammen, V. V. (1989). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60(1), 48–58.
- McDonagh, T. A., Metra, M., Adamo, M., Gardner, R. S., Baumbach, A., Böhm, M., Burri, H., Butler, J., Čelutkienė, J., & Chioncel, O. (2021). 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *European Heart Journal*, 42(36), 3599–3726.
- Montero, J. M. M. (2009). Capítulo 6. Manejo práctico de la obesidad en la enfermedad cardiovascular. In *Rehabilitación Cardíaca* (pp. 67–90). Sociedad Española de Cardiología Madrid, España.
- Moreno-Ger, P., Torrente, J., Hsieh, Y. G., & Lester, W. T. (2012). Usability testing for serious games: Making informed design decisions with user data. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2012, 4.
- Nguyen, A.-V., Ong, Y.-L. A., Luo, C. X., Thuraisingam, T., Rubino, M., Levin, M. F., Kaizer, F., & Archambault, P. S. (2018). Virtual reality exergaming as adjunctive therapy in a sub-acute stroke rehabilitation setting: facilitators and barriers. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
- Reilly, C. M., Higgins, M., Smith, A., Gary, R. A., Robinson, J., Clark, P. C., McCarty, F., & Dunbar, S. B. (2009). Development, psychometric testing, and revision of the Atlanta Heart Failure Knowledge Test. *Journal of Cardiovascular Nursing*, 24(6), 500–509.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2013). *Senior fitness test manual*. Human kinetics.
- Rosano, G. M. C., Seferovic, P., Savarese, G., Spoleitini, I., Lopatin, Y., Gustafsson, F., Bayes-Genis, A., Jaarsma, T., Abdelhamid, M., & Miqueo, A. G. (2022). Impact analysis of heart failure across European countries: an ESC-HFA position paper. *ESC Heart Failure*, 9(5), 2767–2778.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67.
- SEC. Registro Nacional de Unidades de Rehabilitación Cardíaca R-EURECa II 2016. (<https://secardiologia.es/multimedia/cardiotv/8088-registro-nacional-de-unidades-de-rehabilitacion-cardiaca-r-eureca-ii>) Acceso 08/05/24.
- Thomas, R. J. (2024). Cardiac Rehabilitation—Challenges, Advances, and the Road Ahead. *New England Journal of Medicine*, 390(9), 830–841.