

Sistema de entrenamiento para el masaje cardiaco en la reanimación cardiopulmonar

D. Ruiz Fernández¹, D. Marcos Jorquera¹, A. de Ramón Fernández¹, V. Vives Boix¹, V. Gilart Iglesias¹, M. Moreno García de Dionisio²

¹ Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, Alicante, España, {druiz, dmarcos, aderamon, vvives, vgilart}@dtic.ua.es

² Servicio de Urgencias, Hospital Universitario de San Juan, San Juan, España, moreno_margara@gva.es

Resumen

La reanimación cardiopulmonar (RCP) es una maniobra de emergencia que incrementa sustancialmente las probabilidades de supervivencia ante una situación de paro cardiaco. El entrenamiento de la técnica es fundamental para su correcta ejecución. En este trabajo se propone un sistema de entrenamiento para el masaje cardiaco en la RCP basado en un dispositivo “wearable” cuyas principales características son la baja interferencia con el procedimiento, usabilidad, flexibilidad, bajo coste y portabilidad. Se ha propuesto un modelo funcional y una arquitectura que cubren el ciclo completo del entrenamiento, incluyendo tanto la instrucción como la evaluación. Por último, para validar la propuesta, se ha diseñado e implementado un prototipo funcional basado en la propuesta.

1. Motivación

La parada cardíaca es el cese de la actividad mecánica del corazón que pierde la capacidad para bombear sangre de forma eficaz fundamentalmente a cerebro. Es un diagnóstico clínico definido por ausencia de pulso detectable, inconsciencia y apnea (o respiración agónica o entrecortada). Solo en Estados Unidos suceden más de 350000 paros cardíacos extra hospitalarios y en el 90% de estos casos el resultado es la muerte de la persona que ha sufrido el paro cardíaco [1].

La reanimación cardiopulmonar (RCP) es un procedimiento de emergencia, utilizado ante una situación de paro cardíaco, que puede salvar la vida de una persona. Esta técnica combina respiración de rescate y compresiones torácicas, que tienen por objetivo mantener el flujo de sangre a órganos vitales como el cerebro. La realización de esta maniobra en los primeros minutos tras el paro cardíaco, puede duplicar o triplicar la probabilidad de supervivencia de una persona [1].

La RCP es una técnica que exige un entrenamiento previo y la exactitud en su ejecución es fundamental para que la maniobra pueda dar resultados positivos. Además, la necesidad de la técnica suele presentarse en ambientes no controlados y situaciones estresantes con lo que la posibilidad de error aumenta. Una buena formación realizada por especialistas en urgencias médicas es indispensable.

Es posible detectar varios problemas relacionados con la técnica, incluso para personal que ha recibido la formación

adecuada. La realización de la técnica es físicamente costosa lo que implica en la práctica que sea realizada por más de una persona que se vayan intercambiando; mucha gente no tiene la fuerza suficiente para realizar la técnica más de diez minutos.

La RCP se puede dividir en dos partes; por un lado una serie de compresiones rítmicas a la altura del esternón que van a ayudar a mantener el flujo de sangre a los diferentes órganos; por otro lado insuflaciones de aire para conservar la llegada de oxígeno a la sangre. El ritmo y el número de compresiones es un factor clave que a menudo se hace incorrectamente, incluso por personal sanitario. Expertos de la American Heart Association [1] recomiendan realizar de 100 a 120 compresiones por minuto para un paciente adulto, combinado con 2 insuflaciones cada 30 compresiones. La duración de las insuflaciones debe ser de un segundo teniendo la precaución de verificar que el esternón sube en cada insuflación (está entrando aire). En cuanto a las compresiones, estas deben hacer descender el esternón entre 5 y 6 centímetros en adultos.

Las recomendaciones anteriores ponen de relieve la importancia del entrenamiento del masaje cardíaco, máxime si se tiene en cuenta el grado de estrés con el que se realiza esta maniobra.

En esta propuesta se plantea un sistema basado en un dispositivo *smartwatch* para que pueda servir de ayuda en el entrenamiento del masaje cardíaco en la reanimación cardiopulmonar.

2. Antecedentes

Últimamente, gracias a la prensa y a una cada vez mayor concienciación, la preocupación por las afecciones cardíacas ha aumentado y con ello el interés por conocer técnicas de reanimación que pueden salvar la vida de una persona en un momento crítico. Ante esta demanda de información, han surgido diferentes aplicaciones móviles orientadas a enseñar y guiar durante la maniobra de reanimación cardiopulmonar. Algunas de estas aplicaciones describen paso a paso la realización de la RCP como es el caso de la aplicación CPR11 [2], que describe en un conjunto de videos cortos una guía de acción para identificar un paro cardíaco y comenzar una RCP. Se trata de una aplicación únicamente de enseñanza que muestra los conocimientos teóricos relacionados con la RCP pero

que no puede comprobar si un usuario está actuando tal y como indica el video; esta limitación supone una desventaja ya que no se incorpora ningún tipo de *feedback* que pueda ayudar al usuario a mejorar su técnica durante el entrenamiento.

La realimentación sobre la corrección o no de la maniobra de RCP que se está llevando a cabo es imprescindible en un entorno de aprendizaje ya que sin esta realimentación, una persona que está aprendiendo y no tiene experiencia no sabe con seguridad si está realizando la RCP correctamente. Existen dispositivos que, junto con el uso de maniqués, puedan dar información de realimentación sobre la profundidad o el ritmo de las compresiones [3]. Algunos de estos dispositivos son móviles y se pueden situar debajo de las manos como el TrueCPR™ [4] pero se trata de incorporar un elemento extraño a la maniobra en sí y que, además, el usuario difícilmente lo tendrá a su alcance fuera de las sesiones de prácticas para poder entrenar en su casa o como ayuda en una situación real de emergencia.

Hay también aplicaciones móviles que ayudan en la formación de RCP incorporando algún tipo de realimentación. Un ejemplo es la aplicación desarrollada en [5] en la que el usuario sostiene el móvil entre las manos mientras realiza las compresiones; un pitido indica al usuario cuándo hacer las compresiones. Gracias al acelerómetro del dispositivo móvil, la aplicación detecta el ritmo de las compresiones y avisa al usuario con diferentes sonidos según lo esté realizando de forma correcta o no. Este sistema presenta el problema de tener que incorporar entre las manos un dispositivo ajeno a la maniobra en sí, lo que puede implicar que las manos no se coloquen correctamente o que no se ejerza la presión necesaria por miedo a dañar el teléfono móvil. Además, el usuario debe estar atento a los sonidos con lo que le puede ser útil en un entorno de entrenamiento, pero pierde utilidad en ambientes reales que pueden ser muy ruidosos.

Entre los sistemas que se utilizan para proporcionar una realimentación en el entrenamiento de RCP podemos encontrar dos grupos. Por un lado dispositivos como el que se ha comentado, el TrueCPR™, que están fabricados adhoc para asistir al usuario en el entrenamiento y, por otro lado, aplicaciones para el *Smartphone* que, si bien no es un dispositivo específico para el entrenamiento, tiene como ventaja que puede usarse también en entornos reales ya que se suelen llevar continuamente. Los dos grupos presentan como problema común que su uso no es transparente al usuario y que puede afectar negativamente a la realización de la maniobra al tener que usar durante la realización de la técnica un elemento que es ajeno a la misma.

3. Diseño de la propuesta

Una vez estudiados los distintos sistemas actuales orientados a la realización de la maniobra RCP, en este trabajo se propone el un novedoso sistema de entrenamiento y evaluación para el masaje cardiaco en la reanimación cardiopulmonar. En el diseño del sistema propuesto se han tenido en cuenta características de los sistemas actuales que pueden suponer una limitación a la

hora de realizar la maniobra de RCP. Por lo tanto, y según el análisis previo realizado, los objetivos que se plantean alcanzar con nuestro sistema son los siguientes.

- **Baja interferencia física en el procedimiento de RCP.** Es deseable que la interferencia en la ejecución de la maniobra sea lo mínimo posible o incluso que no haya interferencia alguna, es decir, que la realimentación provenga de algún sistema que, de forma natural y poco intrusiva, esté presente en la maniobra.
- **Usabilidad.** La realización de la maniobra de RCP exige una concentración máxima lo que limita el uso de interfaces visuales y sonoras. La comunicación entre el sistema y el usuario tiene que ser lo más desatendida posible, utilizando mecanismos que no distraigan de la ejecución de la técnica.
- **Bajo coste.** El sistema debe de estar basado en componentes de bajo coste que facilite su implantación en los centros educativos.
- **Portabilidad.** La posibilidad de transportar el sistema de entrenamiento a diversos lugares aportaría a los estudiantes flexibilidad a la hora de realizar las prácticas, pudiendo hacerlo incluso en casa.
- **Flexibilidad.** El sistema debe de ser capaz de adaptarse a diferentes escenarios, en función de las características del proceso realizado o de los usuarios que lo llevan a cabo.

Además, se contempla que funcionalmente el sistema cubra el proceso completo de aprendizaje de la maniobra RCP, incluyendo tanto el asesoramiento al usuario en la *fase de entrenamiento*, como su posterior análisis y valoración en la *fase de evaluación*.

Teniendo en cuenta estos requerimientos nuestra propuesta consiste en un sistema basado en un dispositivo *wearable* como puede ser una *smartband* o un *smartwatch*. Estos dispositivos, al situarse en la muñeca del usuario, pueden detectar el movimiento que estos realizan durante la técnica del RCP sin interferir en el proceso, con lo que se puede alcanzar el objetivo de baja interferencia. Además, y debido a la alta aceptación de estos dispositivos en la actualidad, existen multitud de modelos en el mercado con costes relativamente bajos si los comparamos con otros sistemas. Por último, su reducidas dimensiones y capacidad de programación permiten satisfacer los objetivos de portabilidad y flexibilidad.

Para la comunicación entre el sistema y el usuario durante el proceso de entrenamiento, proponemos como mecanismo principal de interacción el uso de vibraciones en el dispositivo que permitan asesorar en la cadencia de las compresiones. Las vibraciones son mensajes sencillos y poco intrusivos que evitan distracciones en el proceso a realizar, incidiendo satisfactoriamente en el objetivo de usabilidad propuesto. Adicionalmente, el dispositivo se puede configurar para utilizar mensajes sonoros y visuales que fortalezcan la comunicación en caso de que sea necesario.

Para garantizar la correcta realización de la técnica, el dispositivo registrará los movimientos realizados por el

usuario para posteriormente realizar un análisis cualitativo de los mismos. Para ello el dispositivo deberá, o bien mostrar esta información (si dispone de una pantalla lo suficientemente grande para esta tarea), o bien permitir la comunicación de esta información (recomendablemente de forma inalámbrica) a otro dispositivo donde realizar el análisis. Este segundo dispositivo podrá ser un smartphone, una tableta o un ordenador personal, donde el análisis se podrá realizar de forma más cómoda y eficiente.



Figura 1. Modelo funcional de la propuesta

Adicionalmente, desde el dispositivo de análisis se podrá configurar el dispositivo de captación, incluyendo parámetros de comunicación, cadencia objetivo, sensibilidad de la monitorización, nivel de la vibración o tipos de mensajes para el usuario. Cabe destacar que se podrá configurar un modo silencioso, donde el dispositivo de captación no asesora al usuario en la ejecución, modo muy útil para la evaluación de la técnica realizada por el usuario.

En la figura 1 se puede observar el modelo funcional propuesto.

4. Arquitectura del sistema

Una vez definidos los objetivos y los requisitos funcionales de la propuesta a continuación se plantea una arquitectura que haga viable el modelo funcional.

Los requerimientos que debe cumplir el dispositivo de captación son los siguientes.

- **Obligatoriamente**, capacidad de ser programado para incluir el sistema propuesto, un sensor de movimiento, como puede ser un acelerómetro para obtener la cadencia durante el proceso y la capacidad de vibrar para asistir al usuario en la frecuencia.
- **Recomendablemente**, conexión inalámbrica para ofertar la información y configurar el dispositivo de forma remota.
- **Opcionalmente**, un conjunto de botones o un panel táctil para interactuar con el dispositivo, una pantalla para mostrar información complementaria y un altavoz para asesorar al usuario con mensajes de audio.

En la Figura 2 se puede observar la arquitectura resultante para el dispositivo de captación. En ella se muestran los distintos módulos hardware identificados, así como los módulos software necesarios para llevar a cabo los requerimientos propuestos.

Para almacenar, tanto el histórico de la cadencia detectada como de la configuración actual, se propone el uso de un **sistema de almacenamiento** donde registrar esta información de forma persistente.

Un **módulo de reconocimiento** permite al sistema, a partir de los datos aportados por el acelerómetro, identificar las compresiones realizadas por el usuario. La salida de este módulo será por tanto la cadencia de compresión.

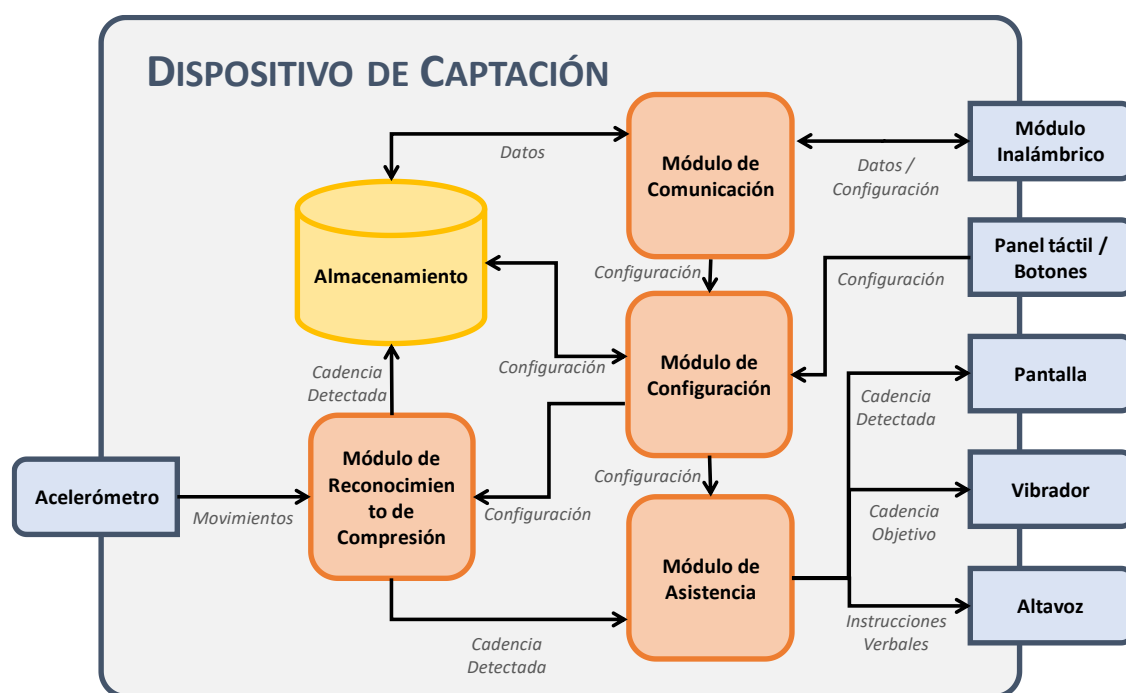


Figura 2. Arquitectura del dispositivo propuesto

El **módulo de asistencia** es responsable de instruir al usuario en la correcta ejecución de la técnica. Para ello, informará al usuario mediante vibraciones de la cadencia objetivo establecida previamente, aportando una asistencia poco intrusiva y altamente usable. En caso de contar con altavoz o pantalla, se podrá complementar la información aportada con mensajes que indiquen al usuario si por ejemplo debe incrementar o disminuir la cadencia de compresiones.

Para alcanzar flexibilidad en la propuesta, los distintos módulos que lo conforman estarán parametrizados. La gestión de esta parametrización será realizada por el **módulo de configuración**. La entrada de este módulo será la información establecida bien mediante una interfaz física del dispositivo de captura (botones o paneles táctiles) o bien mediante una configuración remota a través de un canal inalámbrico.

Para centralizar las comunicaciones, se propone el uso de un **módulo de comunicación** que recoge tanto las operaciones de configuración remota como las solicitudes de información sobre la ejecución de la técnica para su posterior evaluación.

5. Prototipo

Para validar tanto el modelo funcional como la arquitectura propuesta, se ha desarrollado un prototipo basado en ella.

Como dispositivo de captación se ha utilizado un *Samsung Gear S3 frontier*. Se trata de un *smartwatch* comercial basado en la plataforma *Tizen* que cuenta con acelerómetro, vibrador, pantalla táctil y altavoz, por lo que permite testear todos los requerimientos funcionales de la propuesta. Para el desarrollo de la aplicación se ha utilizado un modelo de programación soportado por la plataforma que utiliza tecnologías web y basado en los estándares HTML, CSS y JavaScript, lo cual ha permitido un desarrollo ágil y flexible.

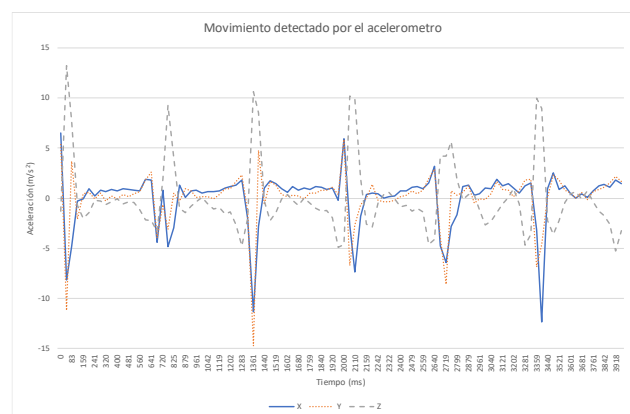


Figura 3. Fragmento de captación del movimiento mediante acelerómetro

Para detectar la cadencia llevada durante la ejecución de la técnica, se ha utilizado los eventos de movimiento aportados por el dispositivo. Este movimiento es codificado en aceleraciones en los tres ejes (series X, Y y Z

de la Figura 3) que son analizados mediante una técnica de máximos locales para identificar en qué instante se realiza cada compresión.

Como dispositivo de análisis se ha utilizado un smartphone modelo *Samsung J5 2017* con plataforma *Android 7.0*. Para la implementación de la aplicación móvil también se ha utilizado tecnología Web, en este caso mediante la plataforma *Apache Cordova*.

Para la comunicación entre ambas aplicaciones se utilizó la tecnología *Bluetooth*, soportado tanto por los dispositivos como por las plataformas de desarrollo utilizadas.

El prototipo fue utilizado satisfactoriamente por estudiantes de la Universidad de Alicante, lo cual permitió validar su adecuación para los objetivos planteados en este estudio.

6. Conclusiones

En este trabajo se propone un sistema de entrenamiento y evaluación para el masaje cardiaco en la reanimación cardiopulmonar basado en un dispositivo *wearable* que, a diferencia de otras propuestas, aporta un bajo nivel de interferencia en la realización de maniobra.

Se ha propuesto un modelo funcional y una arquitectura que cubren el ciclo completo del entrenamiento, incluyendo tanto la instrucción como la evaluación.

Finalmente, el diseño e implementación de un prototipo ha permitido evaluar la adecuación de la propuesta.

Agradecimientos

Este trabajo está subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España (ref. TIN2014-53067-C3-1-R) y cofinanciado por FEDER.

Referencias

- [1] America Heart Association: CPR Facts and Stats. URL: www.heart.org. (Consultada: septiembre de 2017).
- [2] Serratos, L.J., Kramer, E.B., Pereira, H.D., Dvorak, J., Ripoll, P.L.: CPR 11: a mobile application that can help in saving lives (Mobile App User Guide). *British Journal of Sports Medicine* 50(13), 2016, pp 823-824.
- [3] Truszcwski, Z., Szarpak, L., Kurowski, A., Evrin, T., Zasko, P., Bogdanski, L., Czyzewski, L., Randomized trial of the chest compressions effectiveness comparing 3 feedback CPR devices and standard basic life support by nurses, *The American Journal of Emergency Medicine*, Volume 34, Issue 3, 2016, pp 381-385 (ISSN 0735-6757) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajem.2015.11.003>.
- [4] Página web de la empresa Physiocontrol. URL: <http://www.physio-control.com/TrueCPR/>. (Consultada: septiembre de 2017)
- [5] Srither, D.E., Lateef, F.: A novel CPR training method using a smartphone app. *Journal of Acute Disease* 5(6), 2016, pp. 517-520