



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

PROYECTO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDIDA DEL
RELLENO CAPILAR EN CUIDADOS INTENSIVOS**

CLARA AIBAR ÁLVAREZ

Dirigido por

D. JOSÉ LUIS LAFUENTE CARRASCO

CURSO 2023-2024

TÍTULO: DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDIDA DEL RELLENO CAPILAR EN CUIDADOS INTENSIVOS.

AUTOR: CLARA AIBAR ÁLVAREZ

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

DIRECTOR DEL PROYECTO: D. JOSÉ LUIS LAFUENTE CARRASCO

FECHA: MAYO DE 2024

RESUMEN

El TRC ha surgido como un parámetro crucial en las UCI para evaluar la perfusión periférica y la respuesta hemodinámica en pacientes críticos. Aunque su medición manual es simple y de bajo coste, presenta limitaciones significativas como la variabilidad interobservador y la influencia de factores externos, lo que afecta su precisión y objetividad. A pesar de los avances en dispositivos automatizados para medir el TRC presentes en la literatura científica, la medición manual sigue siendo prevalente debido a las limitaciones de estos dispositivos, como la falta de automatización completa y la portabilidad limitada.

Para superar esta problemática, se ha diseñado un prototipo que no requiere un entorno de medición complejo y presenta un formato portable, adecuado para su uso en UCI. Se ha implementado un sistema de sensorización que permite la medición precisa del TRC y la fuerza aplicada en el dedo durante el procedimiento. Además, se ha diseñado un sistema de compresión para aplicar la fuerza durante el procedimiento, ofreciendo una solución versátil que permite realizar evaluaciones para un futuro sistema automatizado. El prototipo también incluye un algoritmo desarrollado en base a la parametrización obtenida de los sensores.

El prototipo diseñado ofrece una solución integral y portable, siendo el primer acercamiento en la literatura científica a un dispositivo de medición de TRC adaptado específicamente al entorno de la UCI. Este desarrollo inicial establece un punto de partida para futuras investigaciones y mejoras, con el objetivo de ofrecer una herramienta completamente automatizada para la evaluación hemodinámica en pacientes críticos.

Palabras clave: tiempo de relleno capilar, perfusión periférica, Unidad de Cuidados Intensivos, dispositivo de monitorización portable, sensores, SolidWorks.

ABSTRACT

CRT has emerged as a crucial parameter in ICUs for evaluating peripheral perfusion and hemodynamic response in critically ill patients. Although its manual measurement is simple and low-cost, it presents significant limitations such as interobserver variability and the influence of external factors, affecting its precision and objectivity. Despite advancements in automated devices for measuring CRT presented in scientific literature, manual measurement remains prevalent due to the limitations of these devices, such as the lack of complete automation and limited portability.

To address this issue, a prototype has been designed that does not require a complex measurement environment and features a portable format suitable for ICU use. A sensor system has been implemented to enable precise measurement of CRT and the force applied to the finger during the procedure. Additionally, a compression system has been designed to apply the force during the procedure, offering a versatile solution that allows for evaluations for a future automated system. The prototype also includes an algorithm developed based on the parameterization obtained from the sensors.

The designed prototype offers an integral and portable solution, being the first approach in the scientific literature to a CRT measurement device specifically adapted to the ICU environment. This initial development establishes a foundation for future research and improvements, aiming to provide a fully automated tool for hemodynamic evaluation in critically ill patients.

Keywords: capillary refill time, peripheral circulation, Intensive Care Unit, portable monitoring device, sensors, SolidWorks.

Clara Aibar Álvarez

Gracias a mi tutor, José Luis Lafuente, así como a Iván Iglesias y al resto del equipo de IASalud por su valiosa ayuda y orientación.

Clara Aibar Álvarez

Y gracias a mi familia por su apoyo incondicional y por ser mi fuente de inspiración en este camino.

Capítulo 1. RESUMEN DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta un resumen de los aspectos más relevantes del trabajo. Se incluyen el contexto y la justificación del estudio, el planteamiento del problema abordado, los objetivos del proyecto, los resultados obtenidos y la estructura detallada de la memoria que sigue a continuación.

1.1 Contexto y justificación

El presente trabajo se sitúa dentro del marco de investigación del grupo IASalud enfocado en la monitorización de pacientes críticos. Dentro de este contexto, se ha identificado una línea de investigación prometedora relacionada con la medición del tiempo de relleno capilar (TRC).

El TRC ha sido reconocido por parte del equipo clínico del grupo IASalud como un parámetro clínico crucial en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), ofreciendo una herramienta valiosa para evaluar la perfusión periférica y la respuesta hemodinámica en pacientes críticos. Sin embargo, también se ha identificado que su medición manual, la cual consiste en observar visualmente el retorno del color de la piel tras la aplicación de presión en una zona específica, presenta limitaciones significativas que comprometen su utilidad y precisión. Factores como la variabilidad interobservador, la influencia de factores externos como la luz y la temperatura, así como la dependencia de la experiencia del personal clínico, afectan la objetividad de la evaluación.

En este sentido, el equipo clínico de IASalud ha constatado la importancia de desarrollar una solución automatizada y precisa que permita superar estas limitaciones. La necesidad de tener un dispositivo que mejore la medición del TRC se fundamenta en la urgencia de optimizar la evaluación de este parámetro clínico en pacientes críticos, lo cual podría conducir a una detección temprana de complicaciones y a la toma de decisiones clínicas más rápidas y precisas. Por lo tanto, este trabajo se centra en la investigación y desarrollo de un dispositivo innovador que pueda proporcionar mediciones objetivas y consistentes del TRC, contribuyendo así a mejorar la atención y el manejo de pacientes críticos en entornos de cuidados intensivos.

1.2 Planteamiento del problema

A pesar de los avances presentes en la literatura científica respecto al desarrollo de dispositivos para medir el TRC, la medición manual sigue siendo prevalente en entornos hospitalarios debido a las limitaciones de los dispositivos automatizados existentes. Muchos de estos no satisfacen las necesidades clínicas debido a la falta de automatización completa, portabilidad limitada y dependencia de entornos de medición complejos. Esta falta de soluciones que cumplan con los requisitos clínicos para la medición automatizada y precisa del TRC representa un problema persistente en la práctica clínica. Se requiere un enfoque innovador que supere estas limitaciones y proporcione una herramienta fiable y eficaz para la evaluación hemodinámica en pacientes críticos.

1.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este trabajo consiste investigar y diseñar un prototipo inicial de un dispositivo para la medición del TRC que supere las limitaciones asociadas con la medición manual y los dispositivos actuales disponibles en la literatura científica, contribuyendo así a mejorar la atención de pacientes críticos en entornos de UCI. Es importante destacar que el prototipo servirá como un acercamiento inicial para parametrizar los aspectos clave necesarios

para realizar mediciones del TRC con un sistema preciso, portable y automatizado. Su desarrollo se beneficiará del respaldo y la validación por parte del personal clínico de dicho grupo. Este proyecto sienta las bases para futuros desarrollos, siendo el primero en la literatura científica con estas características, con el objetivo de crear un dispositivo avanzado y completamente automatizado en el futuro.

1.4 Resultados obtenidos

Durante el proyecto, se llevó a cabo un análisis del estado del arte de los dispositivos de medición del TRC, lo que permitió establecer una base sólida para el diseño del dispositivo. Este análisis representó una contribución significativa al campo al abordar un vacío de conocimiento identificado en la literatura científica.

El sistema de sensorización implementado se basa en un sensor de color y otro de fuerza, los cuales permiten la medición de la señal del TRC y de la fuerza ejercida durante el procedimiento, siendo ambos parámetros clave para la medición del TRC. Además, se caracterizaron los valores de fuerza realizando pruebas en varios individuos con el fin de obtener datos estadísticos sobre su comportamiento, los cuales resultaron imprescindibles para el diseño del resto de componentes del dispositivo.

Por otro lado, se diseñó un sistema de compresión con el cual aplicar la fuerza necesaria en el dedo durante el procedimiento de medición, utilizando datos experimentales de fuerza para respaldar los componentes y dimensiones del sistema.

Todos estos elementos fueron integrados en el diseño de un dispositivo portable, lo que representa un avance importante en la investigación del TRC y sienta las bases para futuras evaluaciones del correcto funcionamiento del sistema completo. Finalmente, se desarrolló un algoritmo para cuantificar el TRC, basado en la parametrización realizada de este parámetro.

Los resultados obtenidos representan un avance innovador al presentar la base de un dispositivo de medición del TRC diseñado específicamente para su uso en UCI, marcando así un acercamiento inicial hacia un desarrollo avanzado en el futuro.

1.5 Estructura de la memoria

La memoria se estructura en diez capítulos. En el Capítulo 1, se presenta un resumen detallado que incluye el contexto general, la justificación y el planteamiento del problema que motiva la investigación. Además, se delinean los objetivos específicos del proyecto y se describen los resultados esperados.

En el Capítulo 2, se profundiza en el contexto y los antecedentes del estudio, analizando el papel fundamental que desempeña el TRC en UCI. Se realiza una revisión del estado del arte para situar el estudio en el contexto adecuado y justificar la importancia de la investigación.

Los objetivos específicos del proyecto se detallan en el Capítulo 3, donde se establecen tanto el objetivo general como los específicos, junto a los beneficios del trabajo. El Capítulo 4 se centra en el marco teórico, explorando los fundamentos teóricos y tecnológicos esenciales para comprender el desarrollo del proyecto, incluyendo una revisión detallada del estado actual del conocimiento en el campo. Además, también se presentan los elementos de hardware y software escogidos para el desarrollo del proyecto y su justificación.

En el Capítulo 5 se aborda el desarrollo del proyecto, describiendo su planificación, los recursos utilizados, el análisis de viabilidad, el presupuesto y los resultados obtenidos durante la ejecución. El Capítulo 6 se presenta al diseño del dispositivo propuesto, donde se describe en

detalle su estructura y los procesos de prueba y validación realizados para garantizar su funcionalidad y eficacia.

La discusión derivada de los resultados se expone en el Capítulo 7, donde se discuten los hallazgos logrados. En el Capítulo 8 se presentan las conclusiones, tanto del propio trabajo como las personales. Después, en el Capítulo 9, se exponen las futuras líneas de trabajo correspondientes con la evolución de la línea de investigación. Por último, en el Capítulo 10 se muestra la lista completa de referencias bibliográficas utilizadas y citadas a lo largo de la memoria.

