

Desarrollo de soluciones formativas innovadoras en el campo de la valoración funcional centrada en la actualización del currículo de las facultades de ciencias de la salud



MÓDULO DE BIOMECÁNICA: FUNDAMENTOS DE LA BIOMECÁNICA APLICADA AL SISTEMA LOCOMOTOR

Unidad didáctica E: Técnicas para el análisis instrumental de señales fisiológicas y parámetros antropométricos y morfométricos

E.2. ¿Cuáles son las aplicaciones del análisis de señales fisiológicas?



Índice

1. Contenido

1. OBJETIVOS	2
2. ¿CUÁLES SON LAS APLICACIONES MÁS COMUNES DE LAS SEÑALES BIOFISIOLÓGICAS ELEGIDAS?	3
Interpretación del ECG para la detección de patologías cardíacas.....	3
La señal de la VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA como resultado de la aplicación del procesamiento de señales ECG y PPG	4
Aplicaciones comunes de la medición mediante ECG	5
Aplicaciones comunes de la medición mediante EMG	6
Aplicaciones comunes de la medición mediante EDA.....	7
3. CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS REDES DE SENSORES CORPORALES CON BIOSENSORES MULTICANAL Y MULTIMODAL. ¿CÓMO PUEDEN PROPORCIONAR DATOS FISIOLÓGICOS DEL PACIENTE AL SISTEMA GLOBAL PARA EL ANÁLISIS Y RAZONAMIENTO REMOTOS?	9
Evaluación de la carga de trabajo mental mediante mediciones psicofisiológicas	10
Detección del estrés mediante aplicaciones complejas de redes de sensores corporales.....	10
4. IDEAS CLAVE	12
5. REFERENCIAS	13

1. Objetivos

- Conocer los campos de aplicación elegidos de la medición de las señales fisiológicas
- Comprender la idea, ilustrada en algunos ejemplos, de la extracción de características y nuevos conocimientos a partir de los datos brutos de las bioseñales.
- Ser capaz de utilizar los conocimientos adquiridos en la extracción de parámetros a partir de las señales fisiológicas registradas.

2. ¿Cuáles son las aplicaciones más comunes de las señales biofisiológicas elegidas?

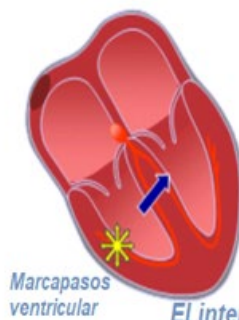
Señal de ECG para describir los parámetros de las funciones cardíacas mecánicas y eléctricas. Los parámetros del ciclo del ECG, tanto los picos como las ondas, reflejan el estado del corazón y su sistema de control.

Interpretación del ECG para la detección de patologías cardíacas

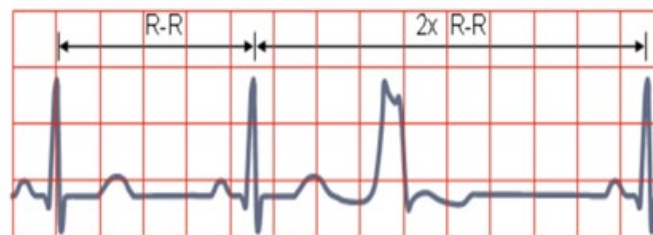
La forma, los patrones y otras características del ciclo del ECG reflejan un conjunto de patologías estandarizadas del sistema cardiovascular, por ejemplo:

CONTRACCIÓN VENTRICULAR PREMATURA

Se origina un solo impulso en el ventrículo derecho



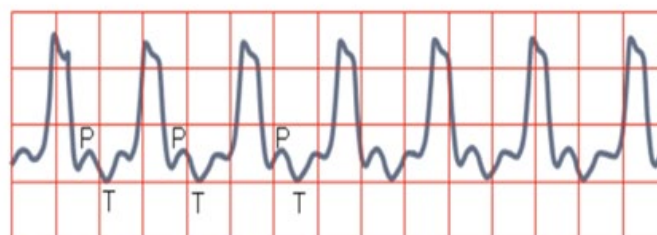
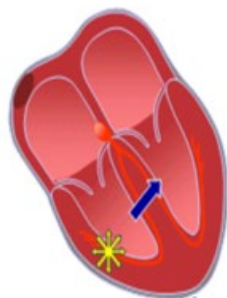
Marca pasos ventricular



El intervalo de tiempo entre los picos R normales es múltiplo del intervalo R-R

TAQUICARDIA VENTRICULAR

Los impulsos se originan en el marcapasos ventricular



Complejos ventriculares anchos

La señal de la **VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA** como resultado de la aplicación del procesamiento de señales ECG y PPG

La frecuencia cardíaca es la cantidad de latidos cardíacos por minuto [lpm].

$$FC [lpm] = 60 / (\text{intervalo R-R [s]})$$

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es la fluctuación de los intervalos de tiempo entre latidos cardíacos consecutivos. La VFC indica la función neurocardíaca y se genera mediante interacciones corazón-cerebro y procesos dinámicos no lineales del sistema nervioso autónomo (SNA). La VFC es una propiedad que emerge de sistemas reguladores interdependientes que operan en diferentes escalas de tiempo para ayudarnos a adaptarnos a los desafíos del entorno y psicológicos. La VFC refleja la regulación del equilibrio autónomo, la presión sanguínea (PS), el intercambio de gases, el tono intestinal, del corazón y vascular, que se refiere al diámetro de los vasos sanguíneos que regulan la PS y posiblemente los músculos faciales.

El ECG es la base para calcular la **señal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)**, que refleja la influencia del sistema nervioso autónomo (SNA) en la modulación de la frecuencia cardíaca.

Aunque el corazón genera su propio latido, la frecuencia cardíaca (latidos por minuto o LPM) y la fuerza de contracción del corazón son modificadas por las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo.

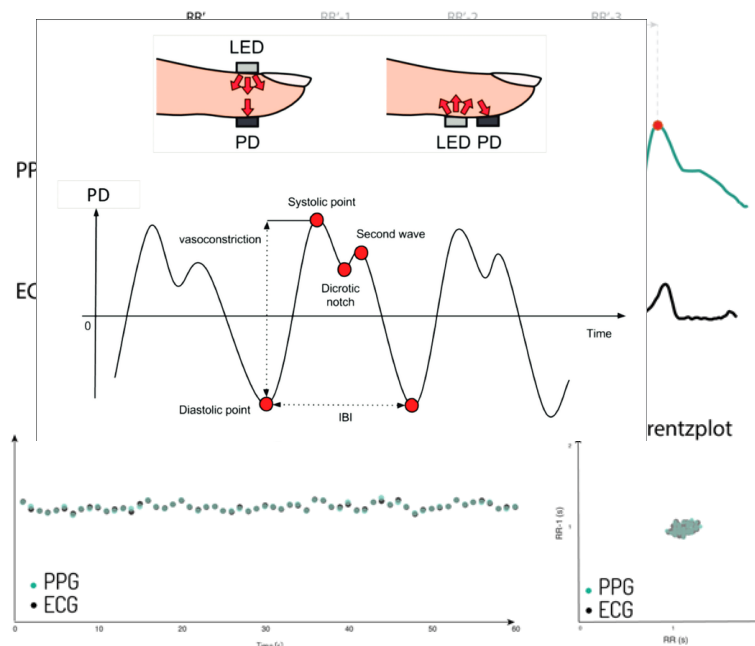
La **división simpática** aumenta la automaticidad y la excitabilidad del nódulo sinoauricular (SA), lo cual aumenta la frecuencia cardíaca. También aumenta la conductividad de los impulsos eléctricos a través del sistema de conducción auriculoventricular e incrementa la fuerza de contracción auriculoventricular.

La influencia simpática aumenta durante la inhalación.

La **división parasimpática** disminuye la automaticidad y la excitabilidad del nódulo SA, disminuyendo así la frecuencia cardíaca. También disminuye la conductividad de los impulsos eléctricos a través del sistema de conducción auriculoventricular y reduce la fuerza de contracción auriculoventricular.

La influencia parasimpática aumenta durante la exhalación.

Cálculo de la frecuencia cardíaca a partir de la señal de onda de pulso PPG, registrada de forma no invasiva.



Aplicaciones comunes de la medición mediante ECG

El ECG se utiliza en aplicaciones clínicas que determinan la salud del corazón examinando los diversos componentes del ECG en busca de actividad normal y anormal.

Fisiología del ejercicio

El ECG es muy valioso para el estudio de la fisiología del ejercicio (estudio de la respuesta del cuerpo a la actividad física), que también incorpora una amplia gama de parámetros físicos como la ventilación, consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono, presión arterial y datos sobre la temperatura central/superficial.

Psicofisiología

Registra y analiza varias señales fisiológicas de forma sincrónica mediante ECG, por ejemplo, la presión arterial, actividad electrodérmica (EDA), electromiografía (EMG), etc.

Formación en fisiología

El ECG es un componente importante de la formación en fisiológica.

Aplicaciones comunes de la medición mediante EMG

Biomecánica

La biomecánica es el estudio del movimiento en relación con los sistemas muscular y esquelético. La biomecánica del deporte y el ejercicio es el área de la ciencia que se ocupa del análisis de la mecánica del movimiento humano.

Análisis de la marcha

El análisis de la marcha es un método que evalúa la forma en que caminamos o corremos para detectar anomalías biomecánicas. El análisis de la marcha se centra principalmente en medir el grado de pronación. La pronación es el giro natural del pie hacia adentro cuando la parte externa del talón golpea el suelo. Este giro actúa como amortiguador de la pierna y el cuerpo, distribuyendo de manera óptima la fuerza del impacto del talón al golpear el suelo.

EMG facial

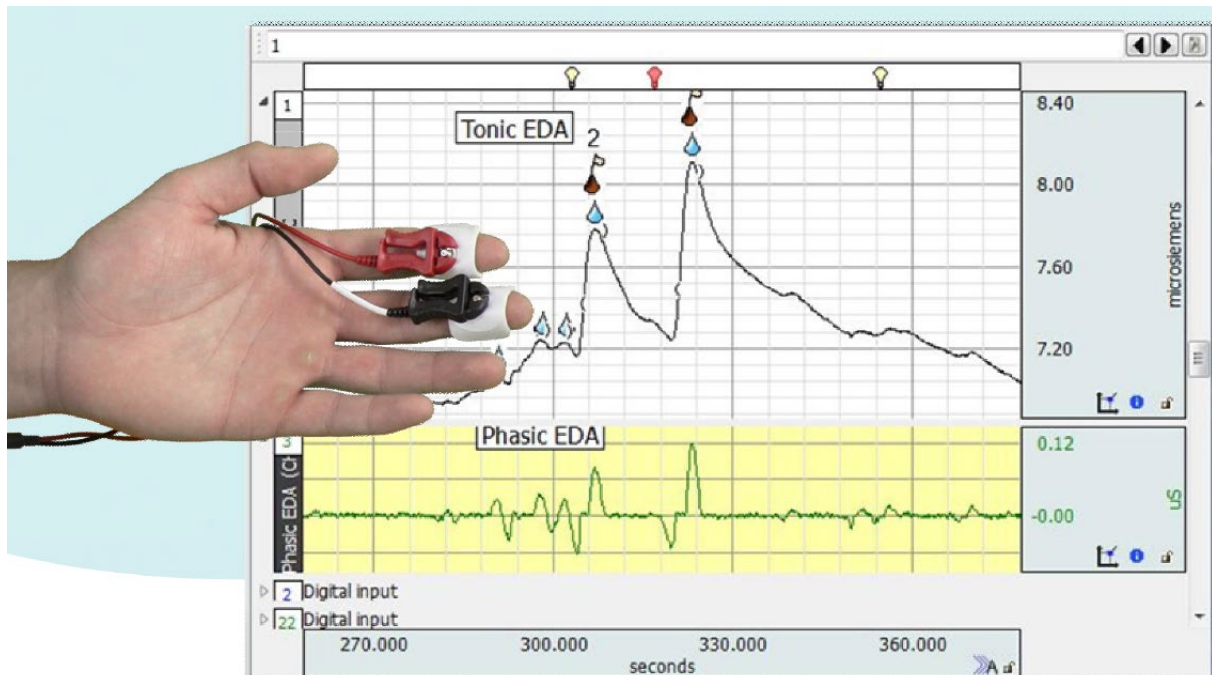
Las expresiones faciales humanas son de interés tanto para psicólogos como para psicofisiólogos. La electromiografía facial (EMG) es uno de los métodos para medir expresiones emocionales como miedo, sorpresa, felicidad, repulsión, tristeza y enfado. Existen diferencias individuales en el comportamiento facial basadas en la respuesta subjetiva.

La EMG facial distingue en función de la actividad de músculos faciales específicos. La actividad del músculo cigomático mayor tiende a corresponderse con emociones positivas (felicidad, sorpresa), mientras que el músculo superciliar tiende a relacionarse con emociones negativas (enfado, miedo, repulsión).

Biofeedback muscular

El *biofeedback* es una forma de autorregulación en la que una persona recibe información en forma de *feedback* sensorial sobre una condición o función biológica a fin de controlar dicha función biológica. El *biofeedback* se suele utilizar como herramienta terapéutica mediante la cual terapeutas, profesionales de la medicina deportiva/rehabilitación, neurofisiólogos y psicofisiólogos emplean instrumentación electrofisiológica para medir, procesar y proporcionar *feedback* a la persona (cliente, paciente, deportista) sobre la información registrada.

Aplicaciones comunes de la medición mediante EDA



Investigación psicológica

Los estudios psicológicos utilizan la EDA (actividad electro-dérmica o respuesta galvánica de la piel GSR) para identificar la respuesta emocional de los humanos ante diversos estímulos. Los estímulos sensoriales (vista, oído, equilibrio, gusto, olfato) también tienen efecto sobre el estado emocional de la persona. Curiosamente (aunque de forma muy subjetiva), la percepción del color también puede provocar cambios en el tono autónomo, que a su vez afectan el estado de ánimo y el comportamiento de la persona. Los colores cálidos como el rojo, el naranja y el amarillo evocan emociones de calidez y comodidad en algunas personas, sentimientos de enfado y hostilidad en otras. Los colores fríos como el verde, el rosa y el azul evocan sentimientos que van desde la envidia, la tranquilidad a la tristeza o la indiferencia. Expresiones como "ponerse rojo" o estar "verde de envidia" reflejan estas asociaciones.

Psicoterapia

La EDA se utiliza a menudo en el tratamiento y evaluación de pacientes que padecen diversas fobias, trastorno de estrés postraumático (TEPT) y otros problemas emocionales. Al monitorear la EDA, la excitación fisiológica del paciente puede ser un barómetro útil para evaluar la gravedad de la afección, así como el éxito de medidas terapéuticas posteriores.

Formación en fisiología

La EDA es un componente importante de la formación en fisiología y una de las muchas señales fisiológicas, incluidos los estudios de polígrafo y *biofeedback*.

Investigación en neuromarketing y medios audiovisuales

La EDA se puede utilizar para detectar la excitación emocional que provoca la exposición a productos, anuncios, tráilers y programas de televisión durante estudios mercado. Muchas preferencias de compra y entretenimiento audiovisual se basan en procesos subconscientes. Los datos de la EDA pueden ser útiles para valorar las preferencias de los clientes a un nivel subliminal y proporcionar a los investigadores *feedback* objetivo.

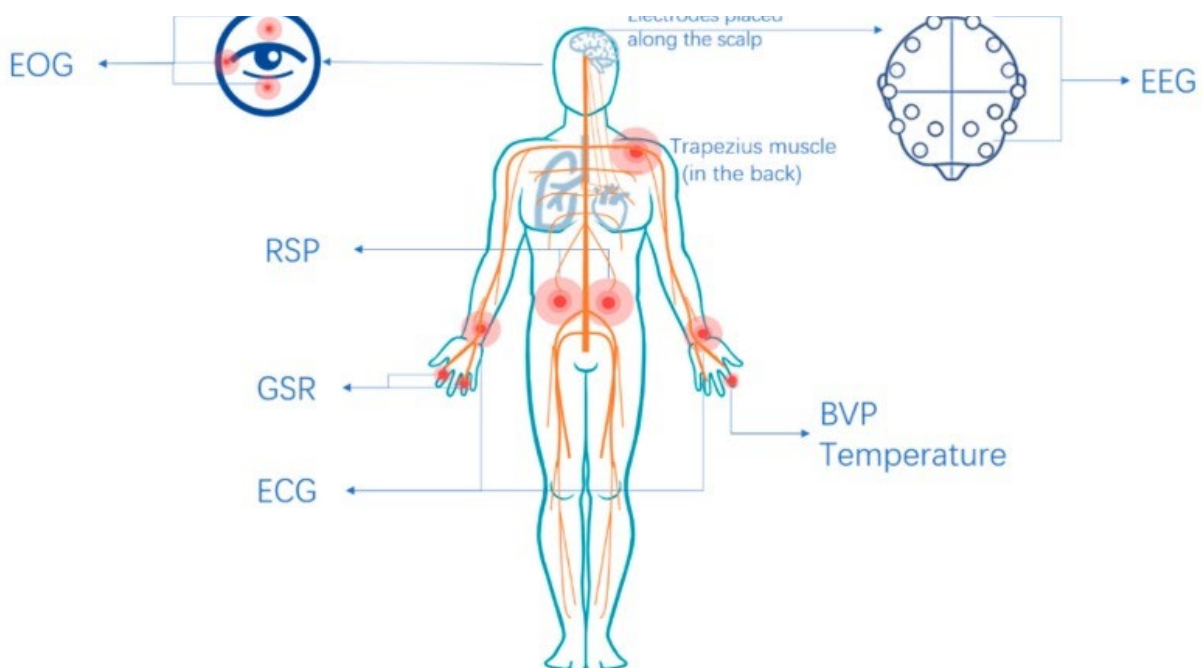
Pruebas de usabilidad de software y experiencia del usuario

El EDA se suele utilizar como barómetro cuando se prueba la facilidad de uso del software y otras aplicaciones interactivas que pueden incluir la presentación de estímulos, vídeo y realidad virtual. Si un participante se siente confuso o frustrado, los datos de la EDA son un buen indicador de este tipo de respuestas emocionales y en qué momento de la experiencia se producen dichas respuestas.

3. Campo de aplicación de las redes de sensores corporales con biosensores multicanal y multimodal. ¿Cómo pueden proporcionar datos fisiológicos del paciente al sistema global para el análisis y razonamiento remotos?

Con el desarrollo de sensores fisiológicos, circuitos integrados de baja potencia y tecnologías de comunicación inalámbrica, las redes de sensores corporales (BSN) se han convertido en parte indispensable de los servicios médicos inteligentes que monitorean el estado de los usuarios en tiempo real. Estos sistemas también se denominan red de área corporal (BAN), red de área corporal inalámbrica (WBAN) o red de área corporal médica (MBAN).

El campo de las redes de área corporal es un ámbito interdisciplinar que puede permitir una monitorización de la salud continua y económica con actualizaciones en tiempo real de los historiales médicos a través de internet. Se pueden integrar varios sensores fisiológicos inteligentes en una red de área corporal inalámbrica *wearable* que se puede utilizar para la rehabilitación asistida por ordenador o la detección temprana de problemas médicos. Esta área se basa en la viabilidad de implantar biosensores muy pequeños dentro del cuerpo humano que sean cómodos y que no afecten a las actividades normales. Los sensores implantados en el cuerpo humano recopilan diversos cambios fisiológicos para monitorear el estado de salud del paciente sin importar su ubicación. La información se transmite de forma inalámbrica a una unidad de procesamiento externa que a su vez transmite instantáneamente toda la información en tiempo real a cualquier médico del mundo. Si se detecta una emergencia, los médicos informarán inmediatamente al paciente a través del sistema informático enviando los mensajes o alarmas correspondientes.



Evaluación de la carga de trabajo mental mediante mediciones psicofisiológicas

Un estudio relevante de Bailey et al. [17] desarrolla mediciones psicofisiológicas para evaluar el efecto de las interrupciones en el rendimiento de la persona que realiza una tarea. Establece que la interrupción conlleva efectos negativos considerables, como el aumento del tiempo para finalizar la tarea, mayor número de errores, esfuerzos adicionales en la toma de decisiones y cambios de humor por el aumento de la frustración y ansiedad.

La carga de trabajo mental de tareas básicas como la resolución de problemas en un monitor, la percepción visual o la velocidad cognitiva se puede medir mediante los componentes de redes de sensores corporales como, por ejemplo, dispositivos de seguimiento ocular, EEG, ECG, EDA, flujo de calor y mediciones de la frecuencia cardíaca. Como resultado, encontraron que el ECG y el flujo de calor juntos diferencian entre tareas de alta y de baja demanda cognitiva con un 80% de precisión.

Detección del estrés mediante aplicaciones complejas de redes de sensores corporales

El estrés es un factor importante en varias enfermedades. Todo el mundo puede experimentar estrés en algún momento de su vida debido a las enormes demandas psicofisiológicas que implican las actividades diarias. El estrés humano es un estado fluctuante controlable, que puede contrarrestarse utilizando técnicas adecuadas de relajación y gestión en el momento apropiado. Varios estudios indican que el estrés es un factor común en la patogénesis, además de exacerbar el impacto de muchas enfermedades, desde un resfriado común hasta una enfermedad cardiovascular grave. Las señales fisiológicas y las muestras bioquímicas son métodos avanzados para medir los niveles de estrés. La orina, saliva y sangre son las medidas principales de las muestras bioquímicas para identificar los efectos del estrés en el cuerpo humano. Sin embargo, estas muestras bioquímicas suelen tomarse en varios intervalos de tiempo en comparación con el muestreo continuo de señales fisiológicas. Resulta invasivo e incómodo, lo cual limita gravemente su eficacia para evaluar el estrés en tiempo real. Por el contrario, las señales fisiológicas (ECG, respuesta galvánica de la piel (GSR), electromiograma (EMG), electroencefalograma (EEG), presión sanguínea (PS), temperatura de la piel (TP), frecuencia respiratoria (FR) y pulso del volumen sanguíneo (BVP)) han atraído un gran interés en la investigación dirigida a desarrollar metodologías más nuevas y eficaces para medir el estrés.

Entre los diversos tipos de señales fisiológicas, las señales específicas del ECG sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) juegan un papel vital en la investigación sobre evaluación del estrés. Aunque esta señal es una consideración importante, existen inconvenientes como la validez de las señales de la VFC a corto plazo, la optimización de las características relevantes para el estrés, la selección de la banda de frecuencia y la mejora de la tasa de detección del estrés en los análisis independientes del sujeto en una población grande. La mayoría de los experimentos sobre la evaluación del estado afectivo, como la emoción y el estrés, según consta en la literatura, se han medido a través de señales fisiológicas en intervalos de tiempo más cortos (menos de 60 s). La Sociedad Europea de Cardiología ha sugerido que una duración mínima de 5 minutos es esencial para medir la

frecuencia cardíaca (FC) a partir de las señales del ECG, y que cualquier duración inferior a 5 minutos tiene un valor dudoso.

4. Ideas clave

- En cualquier señal fisiológica registrada, la clave es cómo convertir los datos brutos medidos en conocimiento basado en algoritmos de extracción de características.
- Un excelente ejemplo de aplicación del análisis de señales fisiológicas es la señal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), que es el resultado de un registro no invasivo mediante ECG o el procesamiento de ondas de pulso sanguíneo. La VFC medida de una forma tan cómoda permite obtener información sobre el estado y la actividad del sistema nervioso autónomo.
- Las redes de sensores corporales, que actualmente se están desarrollando de manera tan dinámica gracias a la combinación de las tecnologías de sensores y la informática, son el ejemplo final y más extenso de las aplicaciones de las mediciones fisiológicas.

5. Referencias

- [1] Billman, G. E. (2011). Heart rate variability – a historical perspective. *Front. Physiol.* 2:86. doi: 10.3389/fphys.2011.00086
- [2] Billman, G. E. (2013a). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Front. Physiol.* 4:26. doi: 10.3389/fphys.2013.00026
- [3] Billman, G. E. (2013b). The effect of heart rate on the heart rate variability response to autonomic interventions. *Front. Physiol.* 4:222. doi: 10.3389/fphys.2013.00222
- [4] Bravi, A., Green, G., Herry, C., Wright, H. E., Longtin, A., Kenny, G. P., et al. (2013). Do physiological and pathological stresses produce different changes in heart rate variability? *Front. Physiol.* 4:197. doi: 10.3389/fphys.2013.00197
- [5] Carter, R. III, Hinojosa-Laborde, C., and Convertino, V. A. (2014). Heart rate variability in patients being treated for dengue viral infection: new insights from mathematical correction of heart rate. *Front. Physiol.* 5:46. doi: 10.3389/fphys.2014.00046
- [6] Glass, L., Lerma, C., and Shrier, A. (2011). New methods for the analysis of heartbeat behavior in risk stratification. *Front. Physiol.* 2:88. doi: 10.3389/fphys.2011.00088
- [7] Grant, C. C., Murray, C., Janse van Rensburg, D. C., and Fletcher, L. (2013). A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Front. Physiol.* 4:337. doi: 10.3389/fphys.2013.00337
- [8] Heathers, J. A. (2014). Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Front. Physiol.* 5:177. doi: 10.3389/fphys.201400177
- [9] Hinojosa-Laborde, C., Rickards, C. A., Ryan, K. L., and Convertino, V. A. (2011). Heart rate variability during simulated hemorrhage with lower body negative pressure in high and low tolerant subjects. *Front. Physiol.* 2:85. doi: 10.3389/fphys.2011.00085
- [10] Huikuri, H. V., and Stein, P. K. (2012). Clinical application of heart rate variability after acute myocardial infarction. *Front. Physiol.* 3:41. doi: 10.3389/fphys.2012.00041
- [11] Jelinek, H. F., Huang, Z. Q., Khandoker, A. H., Chang, D., and Kiat, H. (2013). Cardiac rehabilitation outcomes following a 6-week program of PCI and CABG patients. *Front. Physiol.* 4:302. doi: 10.3389/fphys.2013.00302
- [12] Lombardi, F., and Stein, P. K. (2011). Origin of heart rate variability and turbulence: an appraisal of autonomic modulation of cardiovascular function. *Front. Physiol.* 2:95. doi: 10.3389/fphys.2011.00095
- [13] Fritz, T.; Begel, A.; Müller, S.C.; Yigit-Elliott, S.; Züger, M. Using Psycho-physiological Measures to Assess Task Difficulty in Software Development. In *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, Hyderabad, India, 31 May–7 June 2014*; pp. 402–413.
- [14] Haapalainen, E.; Kim, S.; Forlizzi, J.F.; Dey, A.K. Psychophysiological measures for assessing cognitive load. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing, Copenhagen, Denmark, 26–29 September 2010*; pp. 301–310.
- [15] Ikehara, C.S.; Crosby, M.E. Assessing Cognitive Load with Physiological Sensors. In *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, HI, USA, 6 January 2005*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2010; p. 295a.
- [16] Hogervorst, M.A.; Brouwer, A.-M.; van Erp, J.B.F. Combining and comparing EEG, peripheral physiology and eye-related measures for the assessment of mental workload. *Front. Neurosci.* 2014, 8, 322.



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

