

RECYT

Año 20 / N° 29 / 2018 / 71–78

Uso de la actividad muscular del trapecio para determinación de estrés: Una revisión de la literatura

Use of trapezius muscle activity for stress determination: A literature Review

Isabel M. Vega Rodríguez*, Mónica A. Vallejo Velásquez, Freddy Bolaños Martínez

Grupo de Automática, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Cr. 80

No. 65-223 Facultad de Minas, Medellín, Antioquia, Colombia.

* E-mail: imvega@unal.edu.co

Resumen

La electromiografía (EMG) es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica de los músculos-esqueléticos. La EMG superficial (sEMG) puede ser detectada por electrodos superficiales en la piel, y representa la suma o mezcla de las contribuciones eléctricas generadas por las unidades motoras de los músculos. Se han reportado estudios en los que se usa la sEMG del músculo trapecio para estimar niveles de estrés. En este artículo se presenta una revisión de diferentes investigaciones realizadas sobre la relación entre estrés y actividad eléctrica del músculo trapecio, bajo dos enfoques: multimodal y unimodal, considerando la actividad eléctrica muscular como único indicador fisiológico para estimar el estrés.

Palabras clave: Electromiografía superficial (sEMG); Estrés; Músculo trapecio; *Wearable*.

Abstract

Electromyography (EMG) is a technique for the evaluation and recording of electrical activity of skeletal muscles. Surface EMG (sEMG) can be detected by surface electrodes on the skin and represents the sum or mixture of the electrical contributions generated by the motor units of the muscles. Studies have been reported in which trapezius muscle sEMG is used to estimate stress levels. This article presents a review of different research papers on the relationship between stress and electrical activity of the trapezius muscle, under two approaches: multimodal and unimodal, considering muscular electrical activity as the only physiological indicator to estimate stress.

Keywords: Surface electromyography (sEMG); Stress; Trapezius muscle; *Wearable*.

Introducción

El estrés puede definirse como una “experiencia emocional negativa acompañada de cambios bioquímicos, fisiológicos y conductuales predecibles, dirigidos hacia la adaptación ya sea manipulando la situación para alterar el estímulo que causa el estrés o acomodando sus efectos” [1]. Un enfoque para detectar el estrés es a través de la medición de parámetros fisiológicos. La respuesta al estrés en el cuerpo humano está regulada esencialmente por dos ejes neuroendocrinos: el sistema simpático adrenal medular (SAM) con la secreción de las dos catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) y el sistema hipotálamo pituitario adrenocortical (HPA) con secreción de cortisol [2–7]. Estos sistemas interactúan mediante la liberación de hormonas y causan cambios fisiológicos que incluyen tonos vasomotores, variabilidad de la frecuencia cardíaca y presión arterial, producción de sudor en periféricos del cuerpo y activación muscular. Además del uso de marcadores neuroendocrinos, el estrés puede ser detectado a partir del

análisis de las características de las señales fisiológicas [8] tales como Electroencefalograma (EEG) [9], Electromiograma (EMG) [10], Electrocardiograma (ECG) [11], respuesta galvánica de la piel (GSR), temperatura de la piel (ST) [12,13], etc.

Una de las señales fisiológicas más usadas para estimar el estrés es la señal EMG [10,14-17]. El registro de esta señal no solo permite estimar niveles de estrés sino también puede traer beneficios en la prevención de trastornos músculo esqueléticos. En la mayoría de los estudios, para estimar el estrés a partir de EMG superficial (sEMG) se utiliza un enfoque multi-modal, en el cual se mide el estrés percibido y la tensión muscular (junto a los bio-marcadores de estrés más usuales como presión arterial, frecuencia cardíaca, secreción de catecolaminas y cortisol), bajo situaciones que corresponden a trabajos estresantes y/o tareas diseñadas para inducir el estrés, e incluso se comparan las respuestas de los diferentes indicadores fisiológicos durante estrés físico y mental. En adición, estos estudios describen el estrés y su rol en el

desarrollo de trastornos músculo-esquelético en sujetos asintomáticos [14,15,18-23] y en sujetos que presentan síntomas músculo-esqueléticos [16,24-27].

Si bien, los resultados de algunas investigaciones han arrojado un incremento de la actividad electromiográfica de los músculos del trapecio en situaciones estresantes (durante carga física y mental e incluso solo durante carga mental) tanto en sujetos patológicos y no patológicos, otros estudios no reportan la relación entre actividad sEMG y estrés [28-30], debido a que sus resultados no revelan diferencias significativas en la actividad del músculo del trapecio, al compararse condiciones iniciales (sin estrés) y condiciones de estrés. Esto ha generado controversia ya que no se conoce un consenso en los resultados y hallazgos reportados en la literatura. La falta de resultados consistentes puede ser explicada a partir de la variabilidad de los factores metodológicos introducida, al no existir una estandarización en relación al diseño experimental y la toma de datos. En contraste, estudios recientes analizan el estrés usando solo señales sEMG y ECG, donde la actividad sEMG es corregida por la actividad ECG [17,10], es decir, la varianza debido a la actividad de ECG se elimina de la variable EMG sin corregir, usando análisis de regresión; mientras que otros tratan de probar que la sEMG puede contribuir de forma independiente, al medir el estrés sin utilizar el enfoque multimodal [31]. Esto indica que las investigaciones apuntan a reducir el número de variables involucradas para medir el estrés y presentar la señal EMG como único indicador para estimar niveles de estrés.

El objetivo de este artículo es estudiar y compendiar la actividad sEMG y su relación con el estrés a partir de la revisión de diferentes investigaciones. Las principales contribuciones de este trabajo son las siguientes: (i) Exponer la relación entre actividad EMG y estrés bajo un enfoque multi-modal en sujetos no patológicos y patológicos; (ii) presentar las metodologías más utilizadas para inducir el estrés; y (iii) validar el uso de la señal EMG en la identificación de estrés. Una de las posibles utilidades de la revisión que se presenta en este trabajo, es la de ofrecer un conjunto de técnicas que permitan detectar el estrés, con el propósito de diseñar sistemas embebidos y prototipos orientados a mitigarlo. Dichos sistemas embebidos son conocidos como vestibles (traducción libre del inglés wearable), los cuales no solo tienen el potencial de disminuir costos en el tratamiento del estrés, sino que pueden ayudar a detectar trastornos músculo-esqueléticos.

I. Electromiografía

La electromiografía (EMG) es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por los músculos esqueléticos. Existen dos tipos: EMG intramuscular (iEMG por sus siglas en inglés) y EMG superficial (sEMG por sus siglas en inglés). La técnica iEMG requiere electrodos insertados en el tejido muscular

y proporciona información del comportamiento local de una fibra muscular, mientras que sEMG utiliza electrodos que se colocan en contacto con la piel y otorga un panorama general del estado instantáneo de los músculos debajo de los electrodos [32].

La información proporcionada por las señales EMG es utilizada en aplicaciones como: (1) la prevención y diagnóstico de trastornos músculo-esqueléticos [25,27,33]; (2) el campo de la medicina deportiva [34,35]; (3) en el ámbito laboral y de la ergonomía [36]; (4) el control de prótesis y dispositivos de asistencia en procesos de rehabilitación [37-41]; (5) el estudio funcional, diagnóstico, terapia protésica y de ortodoncia [42,43]; (6) identificación de la tensión muscular asociada con la carga de trabajo y el estrés mental [44,45]. Con respecto al tema del estrés, la sEMG es considerada una técnica adecuada para reconocer el estrés mental, porque garantiza comodidad, bienestar y libertad al realizar tareas, siendo no invasiva [46].

Un electromiograma de superficie representa la suma de las contribuciones eléctricas generadas por unidades motoras de los músculos, detectadas por electrodos ubicados en la superficie de la piel. Estas señales eléctricas son no-estacionarias y son analizadas frecuentemente en términos de amplitud y contenido de frecuencia [47]. Sin embargo, Almanji y Chang [48] incluyen otro parámetro que permite analizar la señal, el cual es la información de fase relativa para la señal de referencia.

Merletti [49] establece que el rango de frecuencia de las señales sEMG está entre 5 Hz y 500 Hz, en relación a la banda de frecuencias típica de este tipo de señales. Por su parte De Luca *et al.* [50] se refieren a un rango de amplitud de las señales sEMG que va de μV a mV con la mayor parte de su energía situada entre 10 Hz y 450 Hz. Sarda [51] en su investigación expone que las frecuencias de interés para una señal EMG están entre 20 y 200 Hz, aunque pueden ser observadas frecuencias tan bajas como 1 Hz y hasta 1000 Hz; la amplitud generalmente va desde $1\mu\text{V}$ a 50 mV , sin embargo, dependiendo del tamaño del músculo y del grado de contracción de las fibras, las amplitudes pueden ser tan altas como $1000\mu\text{V}$. Por lo anterior, los rangos de interés pueden variar debido a que la amplitud de una señal EMGS depende del número, tamaño y tasa de disparo de las unidades motoras activas y el contenido de frecuencia depende de las características de las fibras musculares activas (tamaño, velocidad de conducción y tasa de disparo) [47].

La actividad electromiográfica superficial del músculo del trapecio es el objeto de estudio en este artículo de revisión, debido a que esta región muscular se ve muy afectada durante condiciones de estrés [16,17,27,31,52].

II. Análisis de señal electromiográfica

El análisis de señales EMG se basa en cuatro etapas: adquisición de datos EMG, pre-procesamiento, extracción

de características y clasificación [53].

A. Adquisición de datos EMG

La señal EMG se adquiere del músculo a través de un dispositivo de electromiografía. La señal EMG se encuentra afectada principalmente por tres factores: (1) factores causales (estructura y ubicación del electrodo, factores fisiológicos, anatómicos y bioquímicos); (2) factores intermedios (fenómenos físicos y fisiológicos influenciados por uno o más factores causales); (3) factores deterministas (número de unidades motoras activas, la velocidad de disparo de unidades motoras, interacción mecánica entre las fibras musculares. Amplitud, duración y forma del potencial de acción de la unidad motora) [54]. Esta dependencia genera problemas al caracterizar y analizar la señal, debido a que la señal adquiere ruido mientras viaja a través de los tejidos y existe la posibilidad de registrar señales procedentes de diferentes unidades motoras impidiendo tener una señal pura o precisa. Por lo anterior, al detectar y registrar la señal, la relación señal/ ruido y la distorsión de la señal son dos temas de interés porque influyen en la fidelidad de la señal [54].

B. Pre-procesamiento

Existen muchas maneras de agregar ruido a la señal EMG, por la piel, fallas en los electrodos, movimientos o actividades involuntarias e incluso interferencia por la fuente alimentación. Por lo anterior, en esta etapa se elimina el ruido no deseado usando técnicas de filtrado [55] y se normaliza la señal para tener un formato estándar. La actividad EMG normalizada permite comparar los niveles de actividad entre sujetos y ejercicios e indica como los músculos se activan en relación a sus capacidades máximas [56,57].

C. Extracción de características

En esta etapa se evidencia la información más importante de la señal pura. Típicamente se usan métodos como el Análisis de Componentes Principales (PCA) [58], Análisis de Componentes Independientes (ICA) y Patrón Espacial Común (CSP); y para el análisis de los datos en tiempo-frecuencia, se usan métodos como la Transformada de Fourier por intervalos (STFT), Transformada Wavelet (WT), Modelos autorregresivos (AR) y Filtro Adaptado (MF) con el mismo objetivo. Adicionalmente también se extraen las características de la señal utilizando Root Mean Square (RMS), Logarithm of Root Mean Square (logRMS), Centroid of Frequency y métodos de desviación estándar [59].

En algunos trabajos extraen algunas características del dominio del tiempo: Simple Square Integral (SSI), Integrated EMG (IEMG), Waveform Length (WL) y Difference

of Absolute Standard Deviation Value (DASDV) [26]. Sin embargo, aun es necesario solucionar diversos problemas de estos métodos, por lo que se requieren nuevas soluciones [60-62]. Parsaei, et.al. utilizaron dos métodos supervisados de extracción de características, el análisis discriminante de Fisher (FDA) y el análisis de componente principal supervisado (SPCA). Demostraron que esto puede mejorar los resultados de descomposición [63].

D. Clasificación

Finalmente, la clasificación permite predecir la señal basada en características extraídas. Algunos de los algoritmos de clasificación de patrones de señales electromiográficas más utilizados son: la Red Neuronal Artificial (ANN) [64], los clasificadores difusos [65], el análisis discriminante lineal (LDA), los mapas autoorganizados (Self-Organizing Map, SOM) [13,66] y las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) [67].

A pesar de que se tienen estudios en donde se exploran y comparan algunas metodologías para el análisis de señales EMG, incluso en términos de su rendimiento, es trabajo de los investigadores encontrar el método adecuado [66].

III. Metodologías más usadas para inducir el estrés

Generalmente en las investigaciones se contemplan factores de estrés físico y mental. Los factores de estrés físico se caracterizan por ser series de contracciones estandarizadas. Por otro lado, los factores de estrés mental o cognitivos más destacados son: Resolución de tareas de cálculo mental, donde el sujeto debe sumar y restar de acuerdo a ciertas reglas y mostrar el resultado final; Prueba de stroop, consiste en que el sujeto debe indicar el color de la tinta con la que está escrita una palabra que no coincide con su significado y en ciertos casos, esta prueba incluye una voz que nombra un tercer color y otra voz nombrando un número. Adicionalmente se tiene la prueba de frío que consiste en sumergir la mano hasta la muñeca en agua fría (4° C) por un minuto aproximadamente. Esta prueba implica estimulación física (frío) y mental (dolor).

En algunos casos, además de inducir el estrés a partir factores físicos y mentales por separado, combinan estos factores, lo cual ha permitido identificar que el estrés mental inducido influye en el aumento de la actividad del músculo [18,21]. Siendo consecuente con esto, Lundberg *et al.* [24] destacan que no solo las condiciones de trabajo físico sino también las condiciones psico-sociales inducen estrés fisiológico y aumentan la actividad EMG del músculo del trapecio [25]. Otras investigaciones, presentan pruebas mentales y estimulación combinada (física y mental) como el estudio de Krantz *et al.* [22], mientras que otros autores combinan directamente carga física y mental [19]. En otros casos, los sujetos se caracterizan por realizar trabajos u oficios que inducen estrés [16,24,26].

En ocasiones las pruebas son realizadas en un ambiente de trabajo estresante o se simula un contexto específico. Por ejemplo McLean y Urquhart [20] inducen estrés por ritmo de trabajo mientras se realizan tareas de mecanografía, Larsman *et al.* [14] inducen el estrés a partir de la simulación estandarizada del trabajo en computadoras, esto incluye mecanografía, edición, precisión y prueba de stroop. Por otro lado el trabajo experimental de Flodgren *et al.* contemplan trabajo repetitivo de carga baja y la superposición de la carga mental (prueba de stroop y test de cálculo mental) sobre dicho trabajo [23].

Otros autores inducen el estrés a través de pruebas no convencionales. Westgaard *et al.* [27] presentan una prueba que contiene contracciones máximas voluntarias, pruebas para el movimiento controlado del brazo, relajación, estrés mental (Prueba de stroop y prueba aritmética) y activación del sistema simpático. En cambio Shahidi *et al.* [15] simulan factores de estrés común encontrados en el lugar de trabajo. Para ello combinaron la concentración mental con un factor de estrés psicosocial. Contemplan una tarea psicomotora (Operation Span (OpSpan) test) en condiciones de estrés alto y bajo.

Otros investigadores, consideran que el estrés emocional se puede inducir a partir de la exposición continua de vídeo clips con emociones positivas y negativas [31]. Esta investigación utiliza un protocolo propuesto por Zheng *et al.* [11] para inducir el estrés a través de estímulos audiovisuales, donde la precisión en los resultados de clasificación permitió determinar que el protocolo es confiable en la inducción de estrés emocional.

Es claro que existen muchas maneras de inducir el estrés, pero no está definido el método más apropiado o la manera correcta de hacerlo. En los resultados obtenidos por Choi *et al.*, se evidencia la dificultad en términos de diseño de protocolos de inducción de estrés y de relajación [68]. Bajo este contexto, Karthikeyan *et al.* [52] consideraron que existen limitaciones para medir el estrés en tiempo real entre las que se destacan la dificultad para recoger los datos fisiológicos en un ambiente estresante, variación entre los sujetos sobre el estrés y la dificultad para estimar niveles de estrés. Los autores realizaron una revisión sobre la medición del estrés en un laboratorio, con el objetivo de encontrar los estímulos más apropiados para inducir el estrés, las señales fisiológicas y el método estadístico para evaluar eficazmente el estrés humano. Como conclusión, la prueba de stroop y la tarea aritmética mental son considerados los métodos más potentes, además son simples y fáciles de implementar. A pesar de esto, no existe un método absoluto debido a que el nivel de inducir el estrés depende de varios factores como la edad, sexo, condiciones de vida, la cultura, la experiencia subjetiva, capacidad mental individual etc.

Por su parte Luijckx *et al.* [17] contemplan que el estrés posee tres dimensiones: biológica, psicológica y social. Para incluir estas dimensiones en la medida del estrés

consideran que se deben incorporar medidas subjetivas (cuestionarios de auto-informes) y medidas psicofisiológicas. Los autores identificaron que en la mayoría de las investigaciones el procedimiento para inducir el estrés no está bajo un control experimental adecuado, debido a que existen muchas posibilidades para inducir el estrés y esto puede influir en que algunos estudios reporten la relación entre el estrés y la tensión muscular, mientras otros no. Además, la mayoría de paradigmas contemplan un factor de estrés físico o cognitivo y muy pocas investigaciones presentan los dos tipos de factores estresantes. Por lo anterior, el objetivo de los autores fue desarrollar y validar un paradigma experimental de estrés, según los siguientes principios: (1) El paradigma debe presentar un factor de estrés físico y cognitivo distinto; (2) Debe incluir elementos de incontrolabilidad e imprevisibilidad; (3) Deben ser fáciles de administrar. Para desarrollar este paradigma se incorpora la inducción del estrés de forma dual en donde se incluye el anuncio de una descarga eléctrica incontrolable e impredecible (induce fase de estrés anticipatoria cognitiva) y un estímulo nociceptivo. Los resultados sugieren que el paradigma propuesto es una prueba válida para cuantificar las diferencias individuales en susceptibilidades al estrés. Los autores consideran que se requieren estudios adicionales con este paradigma para demostrar su uso potencial en estudios clínicos mecanicistas.

Por otra parte, Wijsman *et al.* [10] proponen un protocolo para inducir el estrés debido a que las pruebas más comunes como la prueba de stroop y otras de cálculo mental son estresantes pero no simulan situaciones que se encuentran en la vida real. Las personas fueron expuestas a 3 situaciones de estrés (prueba Norinder, tareas mentales desafiantes y tarea de memoria). Dicho protocolo mostró incrementos estadísticamente significativos en los niveles de estrés.

A partir de la revisión anterior, se puede deducir que los distintos métodos para inducir estrés muestran resultados diferentes, de decir, distintos tipos de estrés inducido, generan distintas respuestas. Sin embargo, si el interés es utilizar el EMG para detectar nivel de estrés en participantes, se sugiere inducir el estrés presentando un factor de estrés cognitivo e incluyendo elementos no controlables e imprevisibles, fáciles de administrar, no invasivos y que no causen dolor; de tal forma que dicho estrés sea similar a las condiciones en las que naturalmente se da el estrés real. En conclusión, el método apropiado para inducir el estrés dependerá del objetivo del estudio.

IV. Actividad muscular y estrés bajo un enfoque multimodal

En la mayoría de los estudios, para estimar el estrés a partir de EMG superficial (sEMG) se utiliza un enfoque multi-modal, donde se mide la tensión muscular junto a los bio-marcadores de estrés más usuales como presión

arterial, frecuencia cardíaca, secreción de catecolaminas y cortisol. Además, en ocasiones se incluye la medida del estrés percibido a través de auto-reportes.

A. Sujetos no patológicos

En relación a la respuesta de la actividad EMG asociada al estrés en sujetos sanos, Lundberg *et al.* [18] consideran que aunque se asume que el estrés induce tensión muscular, los datos experimentales de su investigación, no han sido concluyentes. Argumentan que esta situación es debido a muestras muy pequeñas de sujetos en los experimentos, la utilización de un solo tipo de estimulación y la falta de mediciones objetivas (fisiológicas) documentando las propiedades inductoras del estrés. Los autores investigaron los efectos del estrés mental y la carga física en las respuestas de estrés fisiológico y la tensión muscular en la porción superior del trapecio. La sesión de estrés contempla pruebas con factores estresantes mentales (cálculo mental, Stroop Color Word Test (CWT)), cargas físicas estandarizadas (prueba de contracciones (TCs)) y la combinación del componente mental con el componente físico (prueba de frío, CWT se combina con una TC), las cuales fueron aplicadas individualmente a 62 mujeres (42 trabajan como operadoras de cajas registradoras y 20 estudiantes). En este trabajo, la actividad sEMG junto a la presión arterial sistólica y diastólica, la frecuencia cardíaca, la catecolaminas urinarias, el cortisol salival y self-reported stress, aumentaron significativamente después de ser inducido el estrés. Los resultados permitieron demostrar que la combinación de estrés mental y carga física incrementa la actividad sEMG. El aspecto a resaltar en este trabajo es al aumento representativo de la tensión del músculo del trapecio a partir de la inducción de estrés mental. Esto es congruente con la hipótesis de que el estrés mental aumenta la tensión muscular en situaciones de trabajo de carga baja y en ausencia de carga física.

De forma similar, Krantz *et al.* [22] compararon las respuestas de estrés fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, secreción de catecolaminas y cortisol) y la actividad del músculo del trapecio de 10 hombres y 11 mujeres, todos universitarios, durante la exposición a estrés físico y mental. La prueba experimental contempló mediciones de exposición (factores estresantes mentales y prueba física) y mediciones de línea de base (nivel de reposo). Como factores estresantes mentales se utilizó la prueba de stroop y pruebas de cálculo mental (prueba de Norinder y contar hacia atrás). Adicionalmente se realizó la prueba de frío por un minuto. De los resultados se obtuvo un aumento significativo en la activación simpática y la actividad muscular, excepto para el cortisol cuyo aumento no fue significativo, lo que implica que la actividad simpática es más sensible a la exposición de estrés de intensidad moderada que la actividad adrenocortical pituitaria (cortisol). Por otro lado, los hombres responden al estrés con mayor

salida de epinefrina que las mujeres. Con respecto a las correlaciones entre los indicadores de activación simpática se hacen necesarias varias mediciones fisiológicas con el fin de obtener una medida fiable de dicha actividad, debido a que las correlaciones a pesar de ser altas, presentan considerables diferencias inter e intra individuos en los patrones de respuesta y diferentes marcos de tiempo. En este estudio no se realizó ninguna medida de la percepción del estrés.

Por su parte, Flodgren *et al.* [23] investigaron los efectos del trabajo repetitivo de carga baja (solo y con una carga mental) en la concentración de la noradrenalina intersticial, la actividad muscular y la oxigenación, teniendo como objeto de estudio el trapecio de 15 mujeres sanas sin trastornos músculo-esqueléticos. El diseño experimental contempla períodos de estabilización, línea de base, trabajo repetitivo y recuperación. Se utilizó la prueba de stroop y test de cálculo mental como carga mental. Durante la prueba, adicionalmente se midió la presión arterial, la frecuencia cardíaca y valoraciones subjetivas. De los resultados se tiene que la concentración de noradrenalina aumentó significativamente junto a la actividad muscular durante el trabajo repetitivo, pero no aumentó aun más con el trabajo repetitivo con carga mental. La oxigenación disminuyó significativamente durante el trabajo sin importar las condiciones. En general la carga mental superpuesta (en periodos de tiempo corto) no provoca aumentos adicionales ni tampoco influyeron en la concentración de la noradrenalina ni en la actividad muscular ni en la oxigenación.

Por otro lado, Larsson *et al.* [19] estudiaron los efectos del estrés psicofisiológico en el flujo sanguíneo muscular y en la EMG en la parte superior del trapecio. El estrés fue inducido a partir de contracciones estáticas fatigantes la prueba de stroop a un grupo de 20 mujeres sanas. Adicionalmente utilizaron el flujo sanguíneo de la piel a partir de Flujoimetría Láser Doppler (LDF) y el ritmo cardíaco como indicadores de estrés. Los resultados demuestran que el flujo sanguíneo muscular y la tensión en el músculo del trapecio durante un trabajo isométrico aumentan tras la exposición de estrés mental.

En tanto que McLean y Urquhart [20], investigaron cómo el estrés psicológico afecta la actividad muscular del trapecio y el elevador escápula, en tareas de mecanografía. Diez voluntarios sanos (6 mujeres y 4 hombres) fueron expuestos a 3 tipos de situaciones, las cuales contemplan no estrés, estrés inducido por un ritmo de trabajo recompensado y estrés inducido por un ritmo de trabajo recompensado que incluye irritación y distracción. El análisis de los resultados revela que la amplitud de la señal asociada a la actividad muscular es capaz de detectar cambios de activación debido al estrés por distracción.

Mientras que Shahidi *et al.* [15] tienen como objetivo comparar la actividad muscular cervical y la postura de 70 trabajadores de oficina asintomáticos al realizar una tarea de concentración mental (con o sin un factor de estrés psicossocial). La tarea psico-motora corresponde a una versión

computarizada de la prueba Operation Span (OpSpan). Esta tarea se realizó bajo condiciones de estrés bajo y alto, separadas por un descanso de 15 minutos. Se realizó un registro sEMG del trapecio alto, el extensor cervical y el esternocleidomastoideo. Adicionalmente se midió la presión arterial, la frecuencia cardíaca y la ansiedad percibida. De los resultados se tiene que la actividad del músculo del trapecio aumenta al combinarse una tarea de concentración mental con un factor de estrés psico-social. Este estudio revela que la activación selectiva del trapecio en condiciones de estrés no depende de cambios en la concentración o la postura.

Por otra parte Larsman *et al.* [14], investigaron la relación entre la percepción de estrés asociado al trabajo y la sEMG en el trapecio en mujeres sanas mayores de 45 años a partir de la simulación estandarizada del trabajo en computadoras. Los resultados muestran relaciones entre el estrés, la actividad y el descanso del músculo sobretodo en mujeres que informaron síntomas en cuello y hombro.

B. Sujetos patológicos

Se han llevado a cabo estudios con el fin de explorar la asociación entre tensión muscular, estrés y trastornos músculo-esqueléticos. En algunos casos se comparan sujetos no patológicos y patológicos.

El objetivo del trabajo de Lundberg *et al.* [24] fue relacionar el estrés psicofisiológico, la tensión muscular y los síntomas músculo-esqueléticos. Se realizó inicialmente un examen a las 72 mujeres cajeras de supermercados para determinar problemas de mialgia en el trapecio. Para medir la respuesta del estrés se hicieron mediciones psico-fisiológicas en períodos de trabajo y de descanso en el lugar de trabajo, con el fin de proporcionar datos de referencia fisiológica para cada individuo. Además se realizaron mediciones en el hogar de cada mujer, después de la jornada de trabajo y en un día libre, para evaluar el tiempo que se tarda en relajarse después del trabajo y los niveles de estrés normales un día no laborable. Al comparar los grupos de mujeres con y sin síntomas se evidencia que la actividad sEMG de las mujeres con síntomas en cuello y hombro fue mayor que en las mujeres sin síntomas y no se encontraron diferencias en términos de carga de trabajo. Adicionalmente, se encontró que la respuesta al estrés es elevado en condiciones de trabajo, en comparación con el tiempo de descanso. En conclusión, se identificó que posiblemente el aumento de la actividad sEMG de las mujeres con síntomas depende del estrés psicofisiológico del trabajo, la personalidad y la técnica de trabajo y no de la carga física de trabajo.

Igualmente, Westgaard *et al.* [27] compararon la actividad del trapecio superior entre 26 mujeres con fibromialgia y 25 sanas, con el fin de comprobar que la actividad en pacientes con fibromialgia aumenta en situaciones de estrés y que dicho aumento depende de los diferentes modos y niveles de estrés inducidos. Se registró la señal

sEMG en trapecio, deltoides medio y bíceps branquial, frecuencia cardíaca y del sueño y se realizó un análisis de catecolaminas y cortisol. Adicionalmente se administraron cuestionarios subjetivos acerca de problemas de salud y rasgos de personalidad. La prueba contiene contracciones máximas voluntarias, prueba para el movimiento controlado del brazo, relajación, estrés mental (Prueba de stroop y prueba aritmética) y activación del sistema simpático. Los resultados muestran que durante actividades libres de la vida diaria, la actividad sEMG del trapecio superior en pacientes con fibromialgia es similar a la de los pacientes sanos, pero aumenta en situaciones de estrés.

También se han realizado estudios en personas donde la prevalencia de trastornos músculo-esqueléticos es alta. Rissén *et al.* [16], realizaron su estudio en 31 mujeres cajeras de supermercado (donde la prevalencia de trastornos de cuello y hombro es alta ($60 \pm 70\%$)). De acuerdo a la anamnesis (información suministrada por los pacientes y por otros testimonios para confeccionar un historial médico) y a un examen clínico, 22 mujeres tenían dolor en la región de cuello y hombro, 9 restantes no presentaban dolor. Se examina la actividad sEMG del trapecio, el ritmo cardíaco, la presión sanguínea, los niveles de catecolaminas urinarias y cortisol saliva, junto a un auto-informe y una evaluación del dolor. Al observar los resultados se encontró una correlación entre los auto-informes que indican estrés negativo y la actividad sEMG durante el trabajo. No se encontraron correlaciones entre el dolor y la actividad sEMG o entre el dolor y el estrés negativo. Por otro lado, la carga de trabajo y la respuesta al estrés fisiológico no se relacionaron significativamente con la actividad EMG. En general los resultados apuntan a que el estrés negativo puede influir en la actividad muscular.

Por otro lado, Lundberg [25], presenta un modelo que sintetiza los efectos del estrés físico y mental en el desarrollo de desórdenes músculo-esqueléticos de las extremidades superiores relacionados con el trabajo (WRUEDs por sus siglas en inglés). En conclusión, no solo las condiciones de trabajo físico sino también las condiciones psico-sociales inducen estrés fisiológico y aumentan la actividad EMG del músculo del trapecio, en consecuencia pueden contribuir a WRUEDs. Los autores resaltan que las medidas de percepción del estrés, el sistema simpático medular adrenal (SAM) con la secreción de catecolaminas, el sistema hipotálamo pituitaria adrenocortical (HPA) con la secreción de cortisol, la presión sanguínea y la frecuencia cardíaca son indicadores de estrés. Los autores consideran que a pesar de que muchos estudios soportan la relación entre estrés psicosocial y trastornos músculo-esqueléticos, los resultados en ocasiones no son concluyentes, porque posiblemente se han implementado diferentes metodologías. Adicionalmente resaltan que el modo en que se da esta relación aun no es claro. Sin embargo, en trabajos repetitivos es más común WRUEDs en mujeres, siendo la excitación psico-fisiológicas alta.

V. Actividad muscular y estrés bajo un enfoque unimodal

Algunos autores consideran que la información de la señal sEMG es útil para determinar y /o estimar niveles de estrés. Sin embargo varios estudios a pesar de utilizar sEMG como “única” variable fisiológica para medir el estrés, emplean medidas confirmatorias o de corrección, valiéndose de otras variables.

Schleifer *et al.* [69] examinaron la influencia del estrés mental sobre la actividad muscular empleando medidas de estrés psicofisiológicas confirmatorias. 23 participantes sanos con experiencia en mecanografía (18 mujeres y 5 hombres) fueron expuestos individualmente a una tarea de entrada de datos por 18 minutos bajo una carga de trabajo mental alta y baja. En este trabajo se registró la actividad EMG en el lado izquierdo y derecho del músculo del trapecio superior, la actividad electrocardiográficas, End-tidal CO₂ y medidas de auto-reporte con el fin de evaluar el estado de ánimo, las molestias músculo esqueléticas y la carga mental. La señal EMG estaba contaminada con la actividad eléctrica del corazón (ECG artefacto), pero esto fue removido con un algoritmo sin pérdida de datos. Como resultado, se evidenció un aumento en la actividad EMG.

De forma similar Roman-Liu *et al.* [70], en su trabajo tienen como objetivo examinar las diferencias en tensión muscular y en medidas fisiológicas asociadas al tipo de tarea mental. Si bien, los autores consideran que las medidas se pueden utilizar como indicadores de carga mental, les parece interesante verificar si estas están en sintonía al indicar exigencias mentales.

Otros trabajos de investigación registran la señal EMG y la señal ECG (como medida confirmatoria o como señal de corrección para eliminar el ruido en la señal EMG que procede de la ECG). Wijsman *et al.* [10] tuvieron como objetivo obtener niveles de estrés de las señales EMG del músculo del trapecio superior. Colocaron electrodos superficiales para el registro EMG, un cinturón para electrocardiograma, motorización de la respiración, y un sensor de mano para medir la conductividad, pero solo se utiliza la señal ECG al lado de la EMG. Los componentes de las señales ECG fueron eliminados de la EMG. A partir de los resultados se concluye que la EMG es un parámetro útil para detectar el estrés, sin embargo, los autores sugieren un mejor método de normalización, un análisis a nivel individual del sujeto y la combinación de EMG con otras señales para proporcionar una medida del estrés más fiable.

Luijckx *et al.* [17] realizaron un registro de la actividad sEMG y cardíaca (ECG). La varianza debido a la actividad ECG fue retirada de la variable sEMG sin corregir, mediante análisis de regresión, lo que indica que la ECG no fue usada como indicador de estrés si no como un elemento de corrección debido a la interferencia de esta señal con la sEMG.

Mientras que otros tratan de probar que la señal sEMG puede contribuir de forma independiente al medir el estrés,

sin necesidad de utilizar un análisis multimodal [31].

Siao Zheng *et al.* [31] utilizaron sólo la señal electromiográfica (EMG) para medir el estrés y consideran que el estrés emocional se puede inducir a partir de la exposición continua de video clips con emociones positivas y negativas, obteniéndose simultáneamente la señal EMG del músculo del trapecio. Se basaron en el modelo de emoción de Russell's Circumplex con el fin de proponer un nuevo modelo que consta de una región de estrés emocional y una región de estrés no emocional. Las características de las señales EMG permitieron observar las diferencias.

Se aprecia que las investigaciones apuntan a reducir el número de variables fisiológicas involucradas en la medida del estrés, hasta el punto de no contemplar ninguna otra medida fisiológica confirmatoria. Esta información es útil en el diseño y desarrollo de sistemas embebidos. Es claro que los sensores que hace parte de sistemas embebidos tipo wearable deben seleccionarse para medir la(s) variable(s) más importantes en el problema o contexto de desarrollo, sin interferir en las actividades del usuario. La disminución del número de variables supone la disminución del número de sensores, lo que sería apropiado por razones estadísticas, de portabilidad [71], condiciones de usabilidad e incluso por economía. Un wearable para el monitoreo del estrés usando sólo sEMG puede ser una buena alternativa.

VI. Conclusiones

La señal sEMG proporciona información útil en la estimación del estrés y el objeto de estudio es el músculo trapecio en todos los trabajos reportados en la literatura.

Las investigaciones apuntan a reducir el número de variables involucrada en la estimación del estrés.

La medida del estrés a partir de señales EMG está influenciada por muchos factores como: causales, intermedios y deterministas que afectan la señal; la metodología o protocolo diseñado para inducir el estrés; edad y sexo; condiciones psico-sociales entre otras, por lo que no se puede considerar un problema trivial. Sin embargo, a partir de las conclusiones de varios trabajos, parece viable hacer una estimación del estado de estrés a partir de medidas EMG de las personas.

En el futuro, los autores creen que sería útil diseñar y desarrollar un sistema embebido tipo wearable para el registro y monitoreo de la señal EMG como único indicador fisiológico que arroje información para estimar o monitorear niveles de estrés con fines de bienestar.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) y a Colciencias por financiar este trabajo a través del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores mediante la convocatoria nacional N° 706 de 2015.

Referencias bibliográficas

1. Baum, A. "Stress, intrusive imagery, and chronic distress". *Heal. Psychol.*, 9(6): 653–675, 1990.
2. Herman, J.P. and Cullinan, W.E. "Neurocircuitry of stress: Central control of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis". *Trends Neurosci.*, 20 (2):78–84, 1997.
3. Tsigos, C. and Chrousos, G.P. "Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress". *J. Psychosom. Res.*, 53(4):865–871, 2002.
4. Tasker, J.G. and Herman, J.P. "HHS Public Access". *Stress*, 14(4):398–406, 2011.
5. Koolhaas, J.M.; Bartolomucci, A.; Buwalda, B.; de Boer, S.F.; Flügge, G.; Korte, S.M.; Meerlo, P.; Murison, R.; Olivier, B.; Palanza, P.; Richter-Levin, G.; Sgoifo, A.; Steimer, T.; Stiedl, O.; van Dijk, G.; Wöhr, M.; Fuchs, E. "Stress revisited: A critical evaluation of the stress concept". *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 35(5):1291–1301, 2011.
6. Maruyama, Y.; Kawano, A.; Okamoto, S.; Ando, T.; Ishitobi, Y.; Tanaka, Y.; Inoue, A.; Imanaga, J.; Kanehisa, M.; Higuma, H.; Ni-nomiya, T.; Tsuru J., Hanada, H.; Akiyoshi, J. "Differences in salivary alpha-amylase and cortisol responsiveness following exposure to electrical stimulation versus the trier social stress tests". *PLoS One*, 7(7): e39375, 2012.
7. Watson, I.P.B.; Brüne, M.; Bradley, A.J. "The evolution of the molecular response to stress and its relevance to trauma and stressor-related disorders". *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 68:134–147, 2016.
8. Wijsman, J.; Grundlehner, B.; Liu, H.; Hermens, H.; Penders, J. "Towards mental stress detection using wearable physiological sensors", in Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference, vol. 2011, pp. 1798–801, 2011.
9. Saidatul, A.; Paulraj, M.P.; Yaacob, S.; Mohamad Nasir, N.F. "Automated system for stress evaluation based on EEG signal: A prospective review", in 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA), pp.167–171, 2011.
10. Wijsman, J.; Grundlehner, B.; Penders, J.; Hermens, H. "Trapezius muscle EMG as predictor of mental stress", in *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 12(4):155–163, 2010.

Recibido: 02/01/2018.

Aprobado: 06/03/2017.