

Análisis de punto de cambio para evaluar la EMG de superficie durante contracción muscular

Change-point analysis for surface EMG assessment during muscle contraction

Erik Leonardo Mateos Salgado
Facultad de Psicología,
Universidad Nacional Autónoma de México

José Esael Pineda Sánchez
Centro de Atención y Evaluación Psicológica
“Dr. Benjamín Domínguez”

Benjamín Domínguez Trejo
Facultad de Psicología,
Universidad Nacional Autónoma de México

Fructuoso Ayala Guerrero
Facultad de Psicología,
Universidad Nacional Autónoma de México

La electromiografía de superficie (EMGs) permite evaluar objetivamente cambios en la actividad eléctrica de los músculos en diferentes condiciones. Generalmente los análisis de los datos electromiográficos obtenidos de la evaluación dinámica de contracciones musculares requieren normalizarse. Con la normalización se pueden comparar diferentes músculos o personas, así como mediciones del mismo músculo en varios días. No obstante, los análisis estadísticos de datos normalizados frecuentemente involucran técnicas de inferencia estadística que no están diseñadas para identificar el momento específico que se presenta un cambio en una serie temporal. El análisis de punto de cambio (APC) es un tipo de análisis estadístico que permite detectar distintos cambios en una serie de tiempo. El objetivo de este estudio fue usar el APC para evaluar la actividad muscular de los hombros durante contracción isométrica máxima voluntaria sin requerir normalizar los datos de la EMGs. Se registró con EMGs la actividad de los músculos trapecios superiores derecho e izquierdo de 30 participantes sanos. Se detectaron cambios caracterizados por disminución de la amplitud electromiográfica en 27 participantes. La ubicación distinta de los cambios detectados indica que no hay un inicio común de disminución de la actividad muscular. El método de punto de cambio puede ser una herramienta útil para la detección de cambios durante contracciones musculares. Sin embargo, es necesario realizar investigaciones adicionales.

Palabras claves: normalización; contracción isométrica; músculo trapecio superior; serie de tiempo.

Autor para correspondencia:

Erik Leonardo Mateos Salgado.

Facultad de Psicología, UNAM, Av. Universidad 3004, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México. Tel: (55) 56222222 ext #41243.

Correo electrónico: eriklms@comunidad.unam.mx

Contribución de los autores

Erik Leonardo Mateos Salgado y José Esael Pineda Sánchez participaron en la parte experimental, análisis de datos y redacción del escrito.

Benjamín Domínguez Trejo y Fructuoso Ayala Guerrero participaron en la revisión del escrito.

Artículo disponible: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rlmc/index>

Surface electromyography (SEMG) can objectively evaluate changes of the electrical activity of muscles under a variety of functional conditions. Usually, analysis of electromyographic data obtained from dynamic assessment of muscle contractions requires normalization. With normalization, different muscles, or individuals, as well as measurements of the same muscle on different days, can be compared. However, statistical analyses of normalized data often involve statistical inference techniques that are not designed to identify the specific time of a change in a time series. Change point analysis (CPA) is a type of statistical analysis that allows detection of distinct changes in a time series. The aim of this study was to use change-point analysis to assess muscle activation levels in the shoulder region during maximal voluntary isometric contraction without requiring normalization of SEMG data. Using SEMG, the muscle activity of the right and left upper trapezius of 30 healthy participants were recorded. Changes characterized by a decreased SEMG amplitude during the muscle contraction were detected in 27 participants. Varied time location of detected changes indicated that there was not a common onset of muscular activity reduction. The change-point method can be a useful tool for the measurement of changes during muscle contractions. However, further research is necessary.

Keywords: normalization; isometric contraction; superior trapezius muscle; time series.

La electromiografía de superficie (EMGs) es una técnica objetiva y no invasiva que proporciona información sobre el comportamiento del sistema neuromuscular (Vigotsky, Halperin, Lehman, Trajano, & Vieira, 2018). En psicofisiología aplicada, se ha utilizado en el estudio de estados emocionales (Künecke, Hildebrandt, Recio, Sommer, & Wilhelm, 2014), en la identificación de disfunción muscular (Golabchi et al., 2019) y como tratamiento a través de retroalimentación biológica (Frank, Khorshid, Kiffer, Moravec, & McKee, 2010). Las investigaciones sugieren que la EMGs es una variable fisiológica eficaz para mejorar la comprensión y el tratamiento de condiciones neurológicas, que lamentablemente, es poco utilizada en el ámbito clínico (Feldner, Howell, Kelly, McCoy, & Steele, 2019).

Con la EMGs se puede analizar: (a) el tiempo de activación de los músculos durante una tarea; (b) el momento en que comienza a actuar un músculo; (c) el momento en que termina la activación; y (d) el momento en qué se presenta el valor máximo de actividad (Villarroya, 2005). La evaluación de la actividad muscular con la EMGs implica la identificación de patrones relacionados con la ejecución de movimientos o contracciones musculares (Huseth, Aagaard, Gutke, Karlsson, & Tranberg, 2020). El uso de contracciones musculares es un procedimiento importante de evaluación clínica del dolor músculo-esquelético (Ettinger, Weiss, Shapiro, & Karduna, 2016; Geisser et al., 2005; Lindstroem, Graven-Nielsen, & Falla, 2012; Umeda, Corbin, & Maluf, 2015; Zakharova-Luneva, Jull, Johnston, & O'Leary, 2012), también ciertos tipos de contracciones musculares han mostrado tener efecto analgésico (Vaegter, Handberg, & Graven-Nielsen, 2015; Rio et al., 2017).

Para evitar errores en la interpretación de la amplitud de la EMGs durante contracciones musculares se sugiere realizar una normalización (Hodder & Keir, 2013; Lehman & Stuart, 1999). Esta se obtiene de la división entre la actividad de un músculo durante la contracción de interés y una contracción de referencia del mismo músculo. La normalización se recomienda cuando se tienen que comparar diferentes músculos o personas, así como,

cuando se comparan mediciones del mismo músculo en varios días (Lehman & Stuart, 1999).

Los métodos de normalización utilizan varias formas de contracción muscular de referencia, como la contracción isométrica con la realización de contracción voluntaria máxima (CVM) (Schwartz et al., 2017; Huseth, Aagaard, Gutke, Karlsson, & Tranberg, 2020). La capacidad de los distintos métodos de normalización es cuestionable ya que hay una falta de consenso sobre el nivel más adecuado de la CVM, que sea consistente en la comparación de varios músculos, de las tareas, así como de los sujetos (Burden, 2010; Ng, McNee, Kieser, & Farella, 2014).

Por otra parte, el análisis de los datos normalizados frecuentemente utiliza técnicas de inferencia estadística, como el ANOVA de medidas repetidas, que no están diseñadas para identificar el momento específico, la sincronización o la duración de los cambios en una serie de tiempo (Chen & Gupta, 2012; Rosenfield, Zhou, Wilhelm, Conrad, Roth, & Meuret, 2011). El método del análisis de punto de cambio (APC) es un tipo de análisis estadístico que permite detectar distintos cambios en una serie de tiempo y puede proporcionar para cada cambio detectado, un nivel de confianza sobre la probabilidad de que el cambio no se debió al azar (Tenan, Tweedell, & Haynes, 2017). Este análisis puede realizarse en cualquier tipo de datos ordenados en el tiempo (Mateos, Ayala, & Domínguez, 2013).

Taylor (2000) propuso una versión de APC que consiste en la integración de gráficos de sumas acumuladas y remuestreo mediante la técnica de bootstrap. Al incluir los gráficos de sumas acumuladas se pueden detectar pequeños cambios en el proceso y analizar muestras de tamaño $n=1$ (Montgomery, 2009).

Como el método de APC de Taylor (Taylor, 2000) permite analizar las variaciones en los niveles de activación de cada músculo de forma individual, no se requieren normalizar los datos de la EMGs para su análisis. No obstante, se desconoce si este método de APC permite identificar algún patrón en la actividad muscular durante la realización de contracciones musculares. Por lo cual el objetivo de este estudio fue evaluar si el APC permite

identificar algún patrón en la amplitud de la EMGs del trapecio superior derecho e izquierdo durante una CVM de tipo isométrica.

Al concluir la tarea, se preguntó a los participantes si habían experimentado dolor y si tuvieron dificultad en alcanzar la CVM y mantenerla constante.

METODO

Diseño de investigación

Transversal descriptivo

Participantes

Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia se eligieron a participantes en un rango de edad de 18 a 30 años. Treinta voluntarios sanos y diestros participaron en este estudio, fueron 16 mujeres de 24,7 (DE=5,7) años con un índice de masa corporal de 22 (DE=1) y 14 hombres de 24,8 (DE=4,6) años con un índice de masa corporal de 22 (DE=2). Ninguno de los participantes informó de problemas médicos o psiquiátricos. Los criterios de exclusión incluyeron la presencia de dolor en el cuello y espalda, enfermedad degenerativa de disco o problemas de la columna vertebral. A todos los participantes se les proporcionó información sobre el procedimiento de evaluación y posteriormente firmaron una carta de consentimiento informado, todos los procedimientos del estudio se realizaron de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Aparatos y Materiales

Se utilizó un equipo PROCOMP Infiniti y dos sensores Myo-Scan fabricados por la compañía Thought Technology (Thought Technology Ltd, Canada). Para los canales de la EMGs se estableció un filtro pasa banda de 20-500 Hz. Las señales de la EMGs se procesaron en los sensores Myo-Scan por medio de la media cuadrática.

Procedimiento

Por medio de la EMGs se registró simultáneamente la actividad del músculo trapecio superior de los lados derecho e izquierdo durante una tarea de CVM de tipo isométrica. La colocación de electrodos fue bipolar, cada electrodo se colocó en la línea media entre la espina de la escapula y la apófisis espinosa de la vértebra C7, con una distancia interelectrodo de 2 cm de acuerdo con las recomendaciones del SENIAM (Hermens, Freriks, Disselhorst-Klug, & Rau, 2000).

La contracción muscular consistió en los siguientes pasos:

- Línea de base: durante 10 segundos estar sentado en una silla con los brazos relajados y sin realizar movimientos;
- Movimiento: elevar los hombros hasta alcanzar la CVM;
- Contracción muscular: durante 30 segundos mantener la CVM sin realizar otros movimientos.
- Relajación: regresar gradualmente a la posición inicial al bajar los hombros.

Análisis del punto de cambio

Para la identificación de los puntos de cambio se consideró el periodo de 30 segundos de la CVM sostenida. Se usó el software Change-Point Analyzer 2.3 shareware. Taylor Enterprises, Illinois. USA. 2009. El procedimiento de APC se describe en detalle en Taylor (2000). Solo se consideraron los puntos de cambios con un nivel de confianza > 95%. Para cada punto de cambio, se determinó si el cambio se asociaba con incremento (o disminución) en el nivel de actividad posterior a su ubicación.

RESULTADOS

Ninguno de los participantes reportó dolor o molestias durante la ejecución de las tareas o dificultades para mantener la CVM. Se detectaron puntos de cambio en el 90% (n=27) de los participantes. Además, 4 mujeres y 6 hombres mostraron sólo un punto de cambio asociado con disminución (Figura 1A), mientras que 1 mujer y 2 hombres mostraron incrementos de la amplitud de la EMGs (Figura 1C), 3 mujeres y 3 hombres tuvieron más de un punto de cambio (Figura 1B). Finalmente, en 2 mujeres y 1 hombre no se detectaron puntos de cambio (Figura 1D).

Del total de puntos de cambios registrados, el 52% se localizó en el músculo trapecio superior derecho y el 48% en el izquierdo. El tipo de cambio que predominó fue la disminución de la amplitud de la EMGs con un 95% del total de cambios detectados. Por medio de distribuciones de frecuencia se representa la cantidad y ubicación de los puntos de cambio asociados con disminuciones. Las disminuciones en el músculo trapecio superior derecho (Figura 2) se presentan después de los 5 segundos de haber iniciado la CVM, la mayoría de las disminuciones (96%) se acumulan en un rango comprendido entre los segundos 6 y 21. En el músculo trapecio superior izquierdo (Figura 3) las disminuciones inician después de los 3 segundos, la mayoría de las disminuciones (92%) se acumulan en un rango comprendido entre los segundos 9 y 20.

Al comparar los dos músculos trapecios superiores, se encontró que el 63% (n=19) de los participantes tuvieron puntos de cambio en ambos músculos. En estos participantes se identificó el músculo que cambió primero, en el 53% (n=10) el primer punto de cambio ocurrió en el músculo trapecio superior derecho y en el 42% (n=8) se detectó en el músculo trapecio superior izquierdo. Solo en un participante el primer punto de cambio ocurrió en ambos músculos simultáneamente.

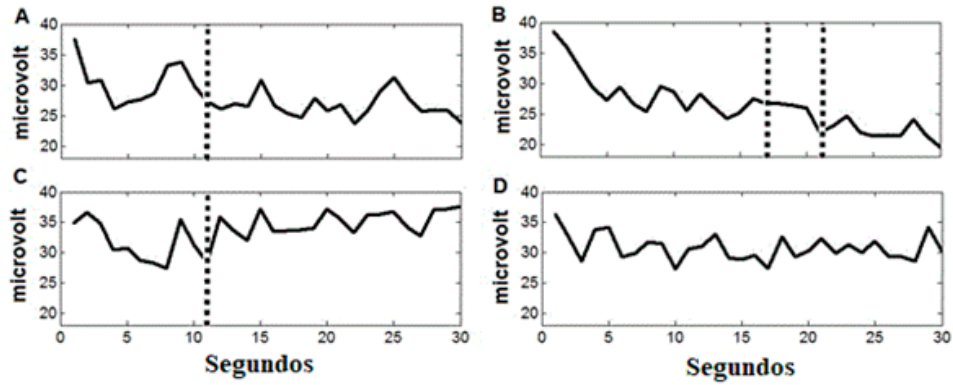


Figura 1. Ejemplos de puntos de cambio detectados en los datos de la EMGs sobre la CVM. La línea discontinua indica la localización del punto de cambio. A) cambio asociado con la disminución de la amplitud, B) presencia de dos cambios asociados con la disminución de la amplitud, C) cambio asociado con el aumento de la amplitud, D) ningún cambio en la serie de datos.

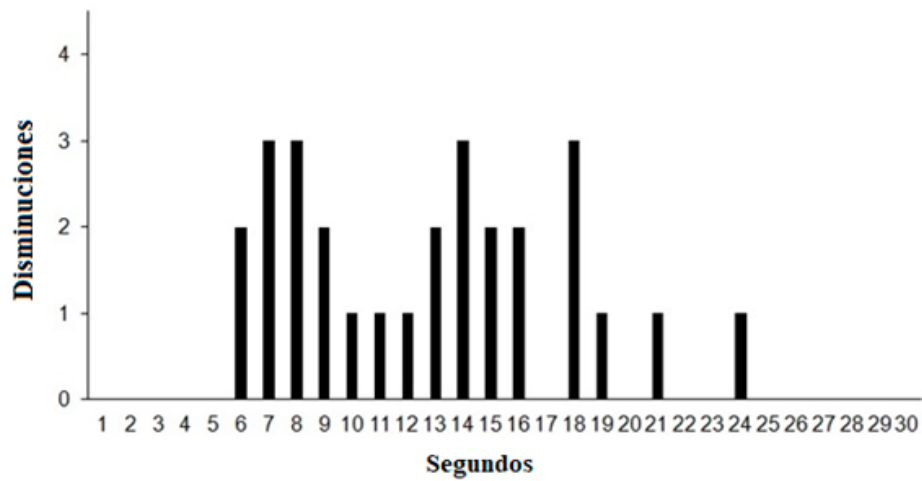


Figura 3. Distribución de frecuencia de las disminuciones de la amplitud de la EMGs durante la CVM del músculo trapecio superior derecho.

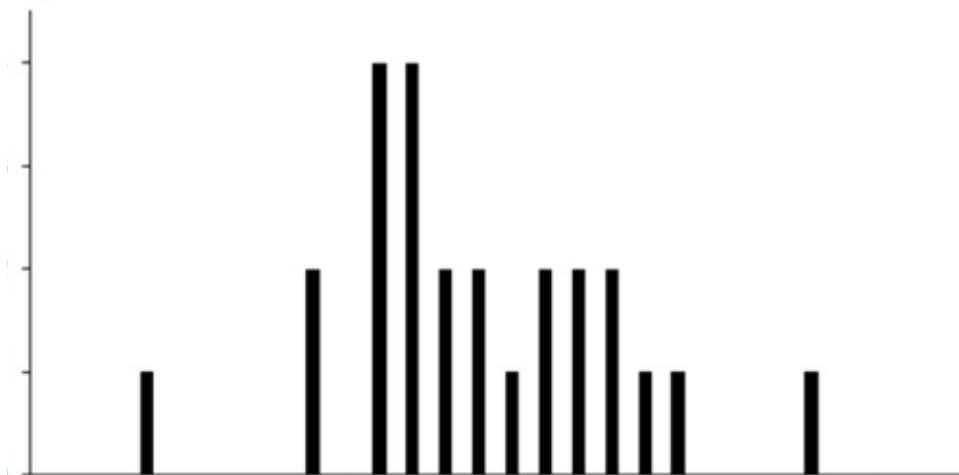


Figura 3. Distribución de frecuencia de las disminuciones de la amplitud de la EMGs durante la CVM del músculo trapecio superior izquierdo.

DISCUSION

Generalmente, en los estudios que evalúan la amplitud de la EMGs se comparan los músculos de diferentes voluntarios durante la ejecución de diferentes ejercicios, tareas o contracciones musculares isométricas y/o isotónicas (Halperin, Vigotsky, Foster, & Pyne, 2018; Rau, Schulte, & Disselhorst-Klug, 2004). A partir de dichas comparaciones se puede obtener información sobre los mecanismos neurofisiológicos subyacentes en la producción de la contracción muscular y se puede inferir sobre las adaptaciones en la estabilidad de la actividad muscular (Vigotsky, Halperin, Lehman, Trajano, & Vieira, 2018). Una característica de estos estudios es el uso de la normalización de los datos de la EMGs (Burden, 2010).

El objetivo de la presente investigación fue indagar la utilidad del método de APC de Taylor (Taylor, 2000), para analizar las variaciones en los niveles de activación muscular, sin necesidad de recurrir a los métodos de normalización. Para ello, se controló el efecto del desplazamiento del electrodo de registro y el cambio en la longitud de las fibras musculares analizando sólo la CVM sostenida. Los principales músculos involucrados en elevar los hombros y mantener la CVM son el elevador de la escapula y trapecio superior (Al-Qaisi & Aghazadeh, 2015), en el presente estudio solo se registró al trapecio superior. Además, para aumentar la homogeneidad y reducir la influencia de factores biológicos y técnicos del registro que modulan la amplitud de la EMGs (Rau, Schulte, & Disselhorst-Klug, 2004), se evaluó cada músculo trapecio superior de forma independiente. Como los participantes no reportaron dificultad en alcanzar y mantener la CVM, se considera que la activación de los músculos bajo investigación fue homogénea, lo que es un requisito cuando se analizan las contracciones musculares isométricas (Burden, 2010).

Otros métodos del APC han mostrado ser efectivos en la identificación de patrones electromiográficos durante la realización de actividades rítmicas de contracción-relajación en gatos (Esquivel-Fraustro, Guerrero, Macías-Díaz, 2010). Así como en la identificación del inicio de contracción muscular en pacientes con Parkinson (Vaisman, Zariffa, & Popovic, 2010). Con el método de APC de Taylor (Taylor, 2000), se encontró que la mayoría de los participantes presentaron puntos de cambio, lo cual indica que la amplitud de la EMGs durante la CVM no se mantiene constante. Además, se identificó que el principal punto de cambio se relacionó con la disminución en la amplitud de la EMGs. Por medio del uso de promedios grupales y ANOVA de medidas repetidas, se ha reportado que durante la CVM de tipo isométrica hay disminución progresiva de la amplitud de la EMGs, poco después del comienzo de la contracción (Gandevia, 2001). En este estudio, la aportación del APC fue al establecer un rango de cambio de las disminuciones, que ocurrieron en el intervalo de los 6 a los 20 segundos después de iniciada la CVM.

Las disminuciones encontradas podrían asociarse con la presencia de fatiga muscular, pues se ha establecido que cambios en la amplitud de la EMGs se pueden interpretar como manifes-

taciones mioeléctricas de fatiga muscular (Enoka, 2012; Kay, Gibson, Mitchell, Lambert, & Noakes, 2000). Según Merletti, Rainoldi y Farina (2004), los marcadores de fatiga se definen basados en la evolución en el tiempo de las características de la señal de EMGs durante la contracción muscular. Así, las disminuciones de la amplitud de la EMGs encontradas mediante el APC se agrupan en un intervalo de tiempo determinado, lo que podría utilizarse como parámetro de comparación con otros grupos poblacionales con sospecha de actividad muscular comprometida, como en los casos de dolor crónico (Hodges, 2011).

No obstante, como en este estudio las señales de la EMGs se empezaron a procesar desde los sensores Myo-Scan, no se pudo aplicar el análisis de densidad espectral (ADE) en los datos electromiográficos, lo anterior es relevante ya que el ADE se considera un método estándar para evaluar la presencia de fatiga muscular (González-Izal et al., 2010). Por lo que en estudios futuros sería recomendable usar equipos de registro que permitan acceder a la señal cruda de la EMGs para incluir el ADE.

Aunque la propuesta fue analizar cada músculo de forma independiente, se aprovechó la disponibilidad de datos provenientes del registro de la EMGs de ambos músculos trapecios superiores por cada participante. Con ello, fue posible analizar la presencia de asimetrías en la ubicación del primer cambio. Generalmente, en el análisis de asimetrías en la actividad muscular se evalúa la diferencia en la amplitud entre músculos homólogos (Castagneri, Agostini, Rosati, Balestra, & Knafitz, 2019). Con el uso del APC en la evaluación de las asimetrías se podría determinar el momento específico en que se producen. La evaluación de las asimetrías es relevante en los trastornos músculo-esqueléticos, ya que se asocian con la presencia de dolor (Niemeläinen, Briand, & Battié, 2011; Tartaglia, Lodetti, Paiva, De Felicio, & Sforza, 2011).

Este estudio tiene limitaciones que justifican su consideración. Una limitación se relaciona con el diseño de investigación usado y solo haber analizado una CVM, en próximos estudios se debería de considerar evaluar varias CVM en cada participante, lo cual contribuiría en determinar la consistencia de los cambios detectados entre diferentes mediciones. Asimismo, limitaciones en la generalización de nuestros hallazgos debido a la falta de diversidad en las poblaciones de estudio (nos centramos en la población joven y sana) y el tamaño de la muestra.

CONCLUSIONES

La medicina conductual es un campo interdisciplinario que se relaciona con otros campos del conocimiento como la psicofisiología (Steptoe, 2007) o fisioterapia (Söderlund, Elvén, Sandborgh, & Fritz, 2020). Se ha propuesto que existen carencias en el modelo biomédico tradicional para entender y resolver las diferencias individuales en la práctica clínica de la atención de los pacientes con dolor crónico músculo-esquelético (Zaldívar, Gálvez, Olvera, Hernández, C., Hernández, & Domínguez,

2015). Las mediciones psicofisiológicas musculo-esqueléticas resultan de importancia en la comprensión de los procesos subyacentes de mantenimiento y cronificación del dolor (Gálvez & Del Río, 2012).

El uso de APC en la evaluación de la actividad de la EMGs es una herramienta que se puede integrar en la evaluación conductual, psicosocial y biológica de los trastornos músculo-esqueléticos, y que considera la contribución de las diferencias individuales.

Al tratar con poblaciones cuya actividad muscular esté comprometida, el análisis APC ofrece la ventaja de trabajar con un solo caso de estudio o con una sola tarea de forma confiable. Esto podría mejorar la evaluación en entornos clínicos como en el caso de pacientes con dolor músculo-esquelético.

Por otro lado, trabajar con los músculos trapecio es el paradigma común para estudiar la contribución de los factores psicológicos como el estrés en el desarrollo de problemas músculo-esqueléticos o en su prevención (Vega, Vallejo, & Bolaños 2018). Sin embargo, los diseños y modelos para el estudio de la relación entre estrés y problemas musculares son heterogéneos, por lo que debe considerarse la realización de estudios con modelos y diseños dirigidos a la descripción clínica del funcionamiento muscular (León & Fórnés, 2015).

Consideramos que los resultados obtenidos con el APC justifican la realización de investigaciones adicionales, lo cual permitirá determinar el alcance y las limitaciones de este método de análisis en el estudio de las contracciones musculares.

Conflicto de intereses. Los autores declaran que no hay conflicto de intereses en relación con la publicación de este artículo.

REFERENCIAS

- Al-Qaisi, S. & Aghazadeh, F. (2015). Electromyography analysis: Comparison of maximum voluntary contraction methods for anterior deltoid and trapezius Muscles. *Procedia Manufacturing*, 3, 4578–4583. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.475>
- Burden, A. (2010). How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(6), 1023-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.07.004>
- Castagneri, C., Agostini, V., Rosati, S., Balestra, G., & Knaflitz, M. (2019). Asymmetry index in muscle activations. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 27(4), 772-779. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2903687>
- Chen, J. & Gupta, A. J. (2012). *Parametric statistical change point analysis*. Boston: Birkhäuser.
- Enoka, R. M. (2012). Muscle fatigue - from motor units to clinical symptoms. *Journal of Biomechanics*, 45(3), 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.047>
- Esquivel-Fraustro, M. E., Guerrero, J. A., & Macías-Díaz, J. E. (2010). Activity pattern detection in electroneurographic and electromyogram signals through a heteroscedastic change-point model. *Mathematical Biosciences*, 224(2), 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2010.01.001>
- Ettinger, L., Weiss, J., Shapiro, M., & Karduna, A. (2016). Normalization to maximal voluntary contraction is influenced by subacromial pain. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(5), 433-440. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0185>
- Feldner, A. F., Howell, D., Kelly, V. E., McKoy, S. W., & Steele, K. M. (2019). “Look your muscles are firing!”: A qualitative study of clinician perspectives on the use of surface electromyography in neurorehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(4), 663-665. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.09.120>
- Frank, D. L., Khorshid, L., Kiffer, J. F. Moravec, C. S., & McKee, M. G. (2010). Biofeedback in medicine: who, when, why and how? *Mental Health in Family Medicine*, 7(2), 85-91.
- Gálvez, H. C. L. & Del Río, P. I. Y. (2012). Esguince cervical agudo: manejo psicofisiológico del esguince cervical. *Psicología y Salud*, 22(1), 141-152. <https://doi.org/10.25009/pys.v22i1.566>
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- Geisser, M. E., Ranavaya, M., Haig, A. J., Roth, R. S., Zucker, R., Ambroz, C., ... Caruso, M. (2005). A meta-analytic review of surface electromyography among persons with low back pain and normal, healthy controls. *The Journal of Pain*, 6(11), 711-726. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2005.06.008>
- Golabchi, F. N., Sapienza, S., Severini, G., Reaston, P., Tomecek, F., Demarchi, D., ... Bonato, P. (2019). Assessing aberrant muscle activity patterns via the analysis of surface EMG data collected during a functional evaluation. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2350-x>
- González-Izal, M., Malanda, A., Navarro-Amézqueta, I., Gorostiaga, E. M., Mayor, F., Ibañez, J., & Izquierdo, M. (2010). EMG spectral indices and muscle power fatigue during dynamic contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(2), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.03.011>
- Halperin, I., Vigotsky, A. D., Foster, C., & Pyne, D. B. (2018). Strengthening the practice of exercise and sport-science research. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 13(2), 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijsspp.2017.03.022>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361-374. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Hodder, J. N. & Keir, P. J. (2013). Obtaining maximum muscle excitation for normalizing shoulder electromyography in dynamic contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(5), 1166-1173. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.06.012>
- Hodges, P. W. (2011). Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(2), 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.01.002>
- Huseth, K., Aagaard, P., Gutke, A., Karlsson, J., & Tranberg, R. (2020). Assessment of neuromuscular activity during maximal isometric contraction in supine vs standing positions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 50, 102365. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019>
- Kay, D., Gibson, A. S. C., Mitchell, M. J., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. (2000). Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(6), 425-431. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00031-6)
- Künecke, J., Hildebrandt, A., Recio, G., Sommer, W., & Wilhelm, O. (2014). Facial EMG responses to emotional expressions are related to emotion perception ability. *PLoS ONE*, 9(1), e84053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084053>
- Lehman, G. J. & Stuart, M. (1999). The importance of normalization in the interpretation of surface electromyography: a proof of principle. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 22(7), 444-446. [https://doi.org/10.1016/S0161-4754\(99\)70032-1](https://doi.org/10.1016/S0161-4754(99)70032-1)
- León, G. M. & Fórnes, V. J. (2015). Estrés psicológico y problemática musculoesquelética: Revisión sistemática. *Enfermería Global*, 14(38), 276-299.

- Lindstroem, R., Graven-Nielsen, T., & Falla, D. (2012). Current pain and fear of pain contribute to reduced maximum voluntary contraction of neck muscles in patients with chronic neck pain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(11), 2042-2048. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.04.014>
- Mateos, S. E. L., Ayala, G. F., & Domínguez, T. B. (2013). Análisis de punto de cambio para evaluar la estabilidad de la variabilidad de la frecuencia cardiaca durante el sueño. *Revista Mexicana de Investigación en Psicología*, 5(1), 20-29.
- Merletti, R., Rainoldi, A., & Farina, D. (2004). Myoelectric manifestations of muscle fatigue. In R. Merletti & P. Parker (Eds.), *Electromyography. Physiology, engineering and noninvasive applications* (pp. 233-258). USA: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to statistical quality control*. USA: John Wiley & Sons.
- Ng, D., McNee, C., Kieser, J., & Farella, M. (2014). Neck and shoulder muscle activity during standardized work-related postural tasks. *Applied Ergonomics*, 45(3), 556-563. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.07.012>
- Niemeläinen, R., Briand, M. M., & Battié, M. C. (2011). Substantial asymmetry in paraspinal muscle cross-sectional area in healthy adults questions its value as a marker of low back pain and pathology. *Spine*, 36(25), 2152-2157. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318204b05a>
- Rau, G., Schulte, E., & Disselhorst-Klug, C. (2004). From cell to movement: to what answers does EMG really contribute? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(5), 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2004.02.001>
- Rio, E., van Ark, M., Docking, S., Moseley, L., Kidgell, D., Gaida, J. E., ... Cook, J. (2017). Isometric contractions are more analgesic than isotonic contractions for patellar tendon pain: An in-season randomized clinical trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(3), 253-259. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000364>
- Rosenfield, D., Zhou, E., Wilhelm, Conrad, A., Roth, W., & Meuret, A. E. (2011). Change point analysis for longitudinal physiological data: detection of cardiorespiratory changes preceding panic attacks. *Biological Psychology*, 84(1), 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.020>
- Schwartz, C., Tubez, F., Wang, F. C., Croisier, J. L., Brúls, O., Denoël, V., ... Forthome, B. (2017). Normalizing shoulder EMG: an optional set of maximum isometric voluntary contraction tests considering reproducibility. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 37, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.08.005>
- Söderlund, A., Elvén, M., Sandborgh, M., & Fritz, J. (2020). Implementing a behavioral medicine approach in physiotherapy for patients with musculoskeletal pain: a scoping review. *Pain Reports*, 5(5), e844. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000844>
- Steptoe, A. (2007). Psychophysiological contributions to behavioral medicine and psychosomatics. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 723-751). New York: Cambridge University Press.
- Tartaglia, G. M., Lodetti, G., Paiva, G., De Felicio, C. M., & Sforza, C. (2011). Surface electromyographic assessment of patients with long lasting temporomandibular joint disorder pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(4), 659-664. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.03.003>
- Taylor, W.A. (2000). Change-Point analysis: a powerful new tool for detecting changes.
- Tenan, M. S., Tweedell, A. J., & Haynes, C. A. (2017). Analysis of statistical and estandar algorithms for detecting muscle onset with surface electromyography. *PLoS ONE*, 12 (5), e0177312. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177312>
- Umeda, M., Corbin, L. W., & Maluf, K. S. (2015). Examination of contraction-induced muscle pain as a behavioral correlate of physical activity in women with and without fibromyalgia. *Disability and Rehabilitation*, 37(20), 1864-1869. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.984878>
- Vaegter, H. B., Handberg, G., & Graven-Nielsen, T. (2015). Isometric exercises reduce temporal summation of pressure pain in humans. *European Journal of Pain*, 19(7), 973-983. <https://doi.org/10.1002/ejp.623>
- Vaisman, L., Zariffa, J., & Popovic, M. R. (2010). Application of singular spectrum-based change-point analysis to EMG-onset detection. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 750-760. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.02.010>
- Vega, R. I. M., Vallejo, V. M. A., & Bolaños, M. F. (2018). Uso de la actividad muscular del trapecio para determinación de estrés: una revisión de la literatura. *Revista de Ciencia Y Tecnología*, 29(1), 71-78. Recuperado a partir de <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/216>
- Vigotsky, A. D., Halperin, I., Lehman, G. J., Trajano, G. S., & Vieira, T. M. (2018). Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. *Frontiers in Physiology*, 8, 985. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00985>
- Villarroya, A. M. A. (2005). Electromiografía cinesiología. *Rehabilitación*, 39(6), 255-264. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120\(05\)74359-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120(05)74359-0)
- Zakharova-Luneva, E., Jull, G., Johnston, V., & O'Leary, S. (2012). Altered trapezius muscle behavior in individuals with neck pain and clinical signs of scapular dysfunction. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 35(5), 346-53. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.04.011>
- Zaldívar, I., Gálvez, L., Olvera, Y., Hernández, C., Hernández, R. & Domínguez, B. (2015). Tratamiento psicofisiológico y medico en la actividad electromiográfico del dolor músculo-esquelético crónico. *Psicología y Salud*, 25(2), 221-232. <https://doi.org/10.25009/pys.v25i2.1822>