

Effect of prolonged use of Smartphones on neck and wrist muscle fatigue using surface EMG

D.Rodríguez^{1,2}, K.Zorrilla², L.Chirre^{1,2}, D. Palacios^{1,2}

1. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

2. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

dante.rodriguez@upch.pe, kpzorrilla@pucp.edu.pe, luis.chirre@upch.pe, diego.palacios@upch.pe

Abstract— Prolonged smartphone usage is prevalent among young adults in Lima, Peru, with potential implications for musculoskeletal health. This study investigates muscle fatigue in university students aged 18 to 24, focusing on the upper trapezius and wrist flexor muscles. Utilizing electromyography (EMG), participants engaged in smartphone activities in various positions. Results highlight significant muscle fatigue associated with specific postures and tasks. Our findings underscore the need for preventive measures and ergonomic interventions to mitigate the impact of extensive smartphone use on the musculoskeletal health of young adults.

Keywords — Neck pain, Smartphone Usage, Muscle Fatigue, surface electromyography, signal processing

I. INTRODUCCIÓN

En Lima, la exposición constante a múltiples pantallas, como smartphones, computadoras y televisión, ha llevado a la mayoría de los limeños a utilizar estos dispositivos de manera intensiva. Según estadísticas locales, el 70% de los limeños usa su teléfono smartphone de una a seis horas al día, mientras que el 21% lo usa entre seis y más de nueve horas [1]. Estos usuarios intensivos son principalmente jóvenes de 18 a 24 años, que utilizan sus teléfonos para entretenimiento y comunicación. El uso excesivo de teléfonos inteligentes ha sido asociado con diversos síntomas, que van desde temblores en las manos hasta dolores de cabeza, molestias en los dedos y dolor en el cuello. Los jóvenes universitarios, al constituir una parte considerable de estos usuarios intensivos, suelen experimentar incomodidades en áreas como la parte superior de la espalda, los hombros, el cuello y las muñecas debido al estrés mecánico continuo generado por las diversas posturas adoptadas durante el uso prolongado de estos dispositivos portátiles [2,3].

Dentro de este contexto, se plantea la necesidad de investigar la fatiga muscular en jóvenes sanos estudiantes en el grupo etario de 18 a 24 años de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, centrándonos en dos grupos musculares específicos: el trapecio y los músculos de la muñeca. Estas áreas musculares son particularmente propensas a experimentar fatiga debido a las demandas ergonómicas asociadas con el uso repetitivo de dispositivos electrónicos. Este estudio tiene como objetivo principal explorar y analizar los efectos de la fatiga muscular en estos grupos musculares específicos, proporcionando así una comprensión más profunda de los posibles impactos del uso intensivo de dispositivos electrónicos en la salud musculoesquelética de los jóvenes universitarios.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso prolongado de dispositivos smartphones, especialmente entre los jóvenes limeños de 18 a 24 años, ha sido vinculado a una fatiga muscular significativa en áreas críticas como el trapecio superior y el flexor radial de las muñecas. Esta fatiga muscular puede tener repercusiones negativas en la salud musculoesquelética a largo plazo, afectando la calidad de vida y el rendimiento en las actividades diarias.

III. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En este contexto, se propone llevar a cabo una evaluación exhaustiva utilizando señales de electromiografía superficial para analizar la actividad del trapecio superior y el flexor radial de las muñecas mientras se realizan distintas actividades comunes del usuario en su smartphone en distintas posturas. Con este análisis se plantea evaluar el impacto del uso de este dispositivo en la fatiga muscular del cuello y las muñecas de forma cuantitativa.

Además de ello proporcionar un dataset que pueda servir como base para poder diseñar estrategias preventivas y recomendaciones ergonómicas destinadas a mitigar los efectos adversos en la salud musculoesquelética de los usuarios ocasionados por la fatiga muscular.

IV. METODOLOGÍA

A. Materiales

Para la captura precisa de las señales en nuestras evaluaciones, implementamos 2 kits BiTalino a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, que incorporan una entrada de electromiografía (EMG) con tres electrodos, junto con el software Open Signals para su medición y extracción. Con el fin de refinar y filtrar estas señales de manera eficiente, aprovechamos el poder del lenguaje de programación Python a través de la Integrated Development Environment (IDE) Visual Studio Code, y en conjunto con la plataforma de desarrollo de machine learning (ML) EDGE IMPULSE.

B. Participantes

En esta investigación participaron cuatro jóvenes universitarios (3 hombres y una mujer) de 18 a 24 años de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. La participación fue voluntaria. Se realizaron 2 experimentos para poder analizar el impacto de la fatiga muscular en cada grupo muscular: del cuello y las muñecas.

C. Preparación Inicial

Se procedió a la identificación de los músculos objetivo en cada participante: trapecio superior y flexor radial del carpo. Una vez identificados, se realizó la preparación de la piel mediante la limpieza en estas áreas, donde se colocarían los electrodos, con alcohol isopropílico al 70%. Acto seguido se colocaron los electrodos en las posiciones adecuadas cuya configuración fue: un electrodo positivo, uno negativo y uno de referencia. Estos fueron asegurados con esparadrapo hipoalergénicos para garantizar una fijación estable durante la toma de datos electromiográficos. Finalmente, se instruyó a los participantes a sentarse en una silla con las caderas apoyadas en el respaldo y la pelvis inmovilizada, mientras utilizan su dispositivo smartphone de manera habitual.

D. Evaluación de la Actividad Muscular del Trapecio

Para el caso del trapecio superior del cuello, nos basamos en el protocolo de un artículo publicado en *The Journal of Physical Therapy Science* [4]. La ubicación de los electrodos a la altura de las vértebras cervicales C4 y C7 a 1 cm de distancia y la espina de la escápula como referencia.



Figura 1. Ubicación de electrodos en trapecio superior

Se realizó la toma de datos durante 15 minutos en cada postura con descansos de 30 minutos entre cada toma:

- Postura de flexión cervical máxima: El participante debe colocar el smartphone a la altura del codo y agarrarlo con ambas manos a 5 cm del tronco. Ángulo de flexión del cuello con respecto al tronco : 100°
- Postura de flexión cervical media: El participante debe mantener los brazos cerca del tronco y doblar el cuello ligeramente de forma cómoda. Ángulo de flexión del cuello con respecto al tronco : 120°
- Postura neutra: El borde superior de la pantalla del smartphone y el nivel de los ojos del participante deben mantenerse horizontales. Ángulo de flexión del cuello con respecto al tronco : 140°

Tabla I. Descripción de las Actividades de flexión cervical

Tipo de Flexión cervical	Ángulo	Descripción
Máxima	100°	Smartphone a la altura del codo, sostenido a 5 cm del tronco.
Media	120°	El participante debe mantener los brazos cerca del tronco y doblar el cuello ligeramente de forma cómoda.
Neutra	140°	El borde superior de la pantalla del smartphone y el nivel de los ojos del participante deben mantenerse horizontales.

E. Evaluación de la Actividad Muscular en la Muñeca

Durante la evaluación de la actividad muscular en las muñecas, nuestro objetivo primordial fue analizar el impacto de tres actividades específicas sobre los músculos flexores radiales del carpo. Dichas actividades incluyeron el acto de enviar mensajes de texto (“Texting”) en una aplicación móvil de comunicación, realizar desplazamientos (“Scrolling”) en una red social y jugar un videojuego intensivo de ritmo y precisión temporal como Piano Tiles (“Gaming”). Se le pidió al participante que realice cada actividad durante 10 minutos y se recopilaron los datos durante 30 minutos por cada participante.



Figura 2. Ubicación de electrodos en el flexor radial

F. Procesamiento y Tratado de Señal

Una vez obtenida la data del software Open Signals, esta se exportó a Visual Studio Code para poder visualizar y procesar la señal. Debido a que la data se encontraba en bits, esta fue convertida a milivoltios (mV) para un mejor análisis de la señal en el dominio del tiempo.

Posteriormente, se aplicó una Transformada Rápida de Fourier (FFT) a la data obtenida con la finalidad de observar picos representativos de ruido/artefactos presentes. El espectrograma resultante se utilizó para identificar las frecuencias presentes, destacando ruidos notables en 60, 200 y 400 Hz en toda la extensión de la data.

Con el objetivo de eliminar estos ruidos en las frecuencias específicas, se implementó un filtro Notch de calidad 20 para poder atenuar estas frecuencias identificadas, y se generó nuevamente el espectrograma para detectar posibles ruidos adicionales. Se identificó ruido adicional a 180 Hz, lo que llevó a la aplicación de un segundo filtro Notch.

Tras el proceso de filtrado Notch, se aplicó un filtro pasa banda con frecuencias de corte de 30 y 350 Hz [5] para obtener gráficas limpias y exentas de interferencias, listas para el análisis subsiguiente de la fatiga muscular en el cuello y la muñeca asociada con el uso prolongado de teléfonos inteligentes.

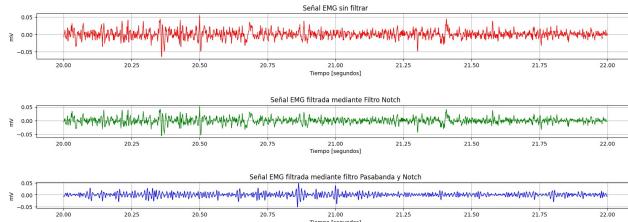


Figura 3. Proceso de filtrado de la señal EMG. Señal EMG sin filtrar (rojo), filtro Notch (verde) y filtro Notch y pasa banda (azul)

G. Extracción de características

Después de adquirir la señal filtrada, esta se procesó para extraer características mediante la librería biosignals notebooks [6]. Este procesamiento incluyó la segmentación de la data en ventanas fijas de 30 segundos para un análisis detallado. Se utilizó el algoritmo de la librería mencionada para detectar la actividad muscular mediante la definición de un umbral. Se analizaron características como máximo, mínimo y promedio de la duración de las actividades musculares, así como mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de la amplitud de la señal de EMG. También se evaluaron el valor cuadrático medio (RMS) y la máxima frecuencia.

H. Análisis estadístico

Una vez obtenidas las características estas fueron separadas por sujeto y actividad. Se realizó un análisis por cada sección muscular (dos dataset de características). Dentro de las técnicas utilizadas en el estudio, se optó por utilizar un diagrama de caja y bigotes, para verificar la presencia de datos atípicos y asimetrías presentes en la data. Además se realizó el análisis de la media, mediana, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de valores máximos, y finalmente la prueba de Shapiro-Wilk que nos indica si existe una distribución normal. El dataset con las características extraídas se encuentran en el siguiente enlace. (<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1E9EPHxxmHQrjQrl64EfjUiltI1bLT8-4/edit?usp=sharing&ouid=100541461280457135044&rtpof=true&sd=true>)

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con base en las características extraídas de las señales EMG, se presentan los estadísticos descriptivos del valor de RMS de la actividad muscular del trapecio superior en los tres momentos del protocolo (neutro, medio y completamente inclinado) en las Tablas 2 y 3, así como en la Figura 7, que muestra un gráfico de box plot para estos escenarios.

Asimismo, las Tablas IV y V, junto con la Figura 8, exhiben los estadísticos descriptivos del valor de RMS de la actividad muscular de la muñeca en los tres momentos del protocolo: Scrolling, Texting y Gaming.

A. Trapecio

Tabla II
Media, mediana, desviación estándar, asimetría y percentiles de valores RMS del trapecio

Stats	RMSneu~o	RMSmedio	RMSfull
Mean	.0123184	.0066346	.0107478
SD	.0070517	.0005417	.0008619
p50	.0093458	.0065399	.0105848
p25	.0065312	.0063223	.010395
p75	.0156501	.0068531	.0110999
Skewness	.7639547	.9113575	1.191793
N	13	33	23

Tabla III
Prueba de Shapiro Wilk del trapecio

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
RMSneutro	13	0.86776	2.329	1.656	0.04882
RMSmedio	33	0.93567	2.196	1.636	0.05088
RMSfull	23	0.89146	2.839	2.122	0.01693

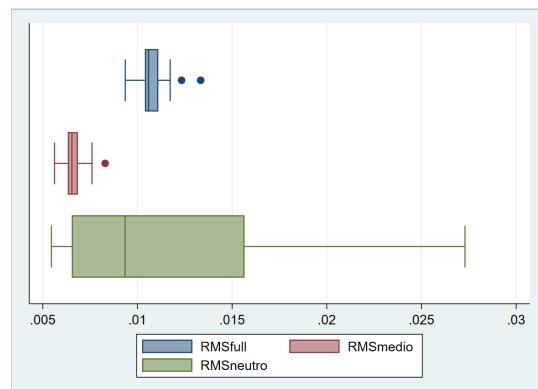


Figura 7. Gráficos de caja y bigotes de las tres posturas de estudio analizando la actividad muscular en el trapecio

B. Muñeca

Tabla IV
Media, mediana, desviación estándar, asimetría y percentiles de valores RMS de la muñeca

Stats	RMStext~g	RMSgam~g	RMSscr~g
Mean	.0112753	.0111083	.0135608
SD	.0052009	.0038702	.0035473
p50	.0124458	.0108402	.013958
p25	.007421	.009409	.0127422
p75	.0153568	.0133991	.0157243
Skewness	-.4219068	-.200645	-2.092284
N	12	30	19

Tabla V
Prueba de Shapiro Wilk de la muñeca
Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
RMStexting	12	0.94874	0.856	-0.302	0.61863
RMSgaming	30	0.95624	1.391	0.682	0.24752
RMSscrolling	19	0.77841	5.059	3.256	0.00056

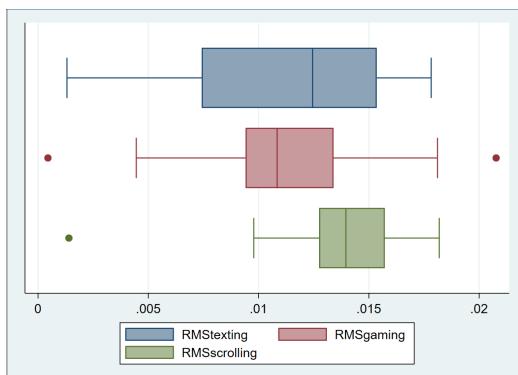


Figura 8. Gráficos de caja y bigotes de las tres actividades de estudio para la fatiga de flexores de muñeca

Como se puede observar en las pruebas de Shapiro Wilk realizadas, estás no siguen una distribución normal pues el valor p ($\text{Prob}>z$) en algunos casos es menor que 0.05. Debido a esto no es posible realizar un análisis de varianza más específico como ANOVA ya que para esta última es utilizada data con una distribución normal.

Finalmente, se debe tener en cuenta las fuentes de error que se tuvieron durante las mediciones, por ejemplo el corto tiempo de descanso entre las repeticiones de los movimientos. Esto no permitió que la señal regresara a su estado basal, lo que puede haber generado errores en las señales obtenidas, esto se evidencia con el análisis estadístico de los valores de RMS, debido a que se obtuvo un dato atípico.

VI. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis en el dominio de la frecuencia se observó una tendencia en la aparición de ruidos de 60, 200 y 400 Hz para ambos músculos en el total de actividades para la muestra completa analizada. Esto puede indicar que la toma de data con el protocolo indicado debe ser corregida limitando componentes eléctricos en el ambiente, a través de la creación de una carcasa al Bitalino para una mejora de la adquisición de la señal.

Se observó que el envío de mensajes de texto genera una fatiga moderada, mientras que la actividad de gaming es la que más fatiga a los músculos de la muñeca, debido a la combinación de movimientos intensos y repetitivos. En el caso del Trapecio Superior, se observó que la fatiga muscular es más pronunciada durante la postura de flexión cervical máxima, dado que existe una mayor amplitud de la señal en esta posición comparada con las posturas de flexión cervical media y neutra.

Estos resultados son esenciales para entender los riesgos asociados con el uso intensivo de smartphones, destacando la importancia de considerar factores ergonómicos y la necesidad de intervenciones para preservar la salud musculoesquelética en nuestra población de estudio.

Para futuros trabajos, se podría entrenar un modelo de Machine Learning con la data adquirida y así poder estimar con gran precisión ($>90\%$) si una persona padece fatiga muscular, tan solo introduciendo sus datos de EMG.

REFERENCIAS

- [1] “El 21% de limeños usa su smartphone más de seis horas al día | Tendencias | Gestión.pe.” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available:

<https://archivo.gestion.pe/tendencias/21-limenos-usa-su-smartphone-mas-seis-horas-al-dia-2174450>

[2] R. Thaper, M. J. Gibson, K. Mykoniatis, and R. Sesek, “The Role of Smart Hand Held Devices – Smartphones/iPads/Tablets/Smartwatches in Causing Musculoskeletal Disorders: A Systematic Literature Review,” Int J Ind Ergon, vol. 97, p. 103497, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.ERGON.2023.103497.

[3] “Asociación entre horas de uso de equipos electrónicos y trastornos musculoesqueléticos durante el estado de emergencia 2020 en alumnos de una Universidad Privada de Lima, Perú”. [Online]. Available: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/667406/Girón_ZM.pdf?sequence=17.

[4] J. H. Choi, M. H. Jung, and K. T. Yoo, “An analysis of the activity and muscle fatigue of the muscles around the neck under the three most frequent postures while using a smartphone,” J Phys Ther Sci, vol. 28, no. 5, p. 1660, May 2016, doi: 10.1589/JPTS.28.1660.

[5] G. Pequera y I. Nicolás Pérez, “Análisis tiempo-frecuencia de la señal de EMG en movimientos explosivos: estudio de la coordinación en el salto vertical”, Edu.uy. [Online]. Available: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8156/1/uy24-17718.pdf>.

[6] “GitHub - pluxbiosignals/biosignalsnotebooks: biosignalsnotebooks” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/pluxbiosignals/biosignalsnotebooks>



D. Rodríguez was born in Lima, Peru, in 2003. He is a biomedical engineering student enrolled in the joint program offered by PUCP and UPCH, he has focused his academic pursuits on exploring innovative solutions within healthcare.

Driven by this commitment he has been part of many projects which include: The development of an non-invasive ALS breathing support system and customized mask, an Ambulatory Blood Pressure Monitor for hypertension diagnosis, and the construction of a custom elbow orthosis for olecranon fractures using additive manufacturing and 3D printing. Looking ahead, he aspires to specialize in the field of Tissue engineering and biomaterials or Signals and Medical Imaging.



K. Zorrilla was born in Lima, Peru in 2001. She is a student in electronic engineering in Pontificia Universidad Católica del Peru since 2018.

In 2020, she was coordinator of the Management Area of IEEE WIE PUCP, in which she developed several events and projects with the aim of encouraging the interest and permanence of girls and young women in STEM careers, being awarded along with its board of directors as “Best WIE affinity group in Peru”. In 2021, she won third place in the 1st edition of the program “International School in Digital Transformation 2021” organized by universities in Peru, Colombia and Argentina. In 2022, she was coordinator of the Management Area of IEEE ComSoc PUCP, and was winner with her Board of Directors in the “2022 International Women’s Day Contest” as Best Team. Also, that year, she did her pre-professional internship at IBM at its headquarters in Peru with the position of Consulting Support. Currently, she is vice president of the IEEE

PUCP student branch and member of the Council of the Faculty of Science and Engineering. In addition, she has presented her research work of the Electronic Project 1 course at the "VII Colombian Congress of Bioengineering and Biomedical Engineering" entitled: "TAKIA: Design and Implementation of a Smart Wearable Cane, Based on Vibration Patterns for Visually-Impaired People". She has a great interest in the biomedical area, especially in the development of medical devices for the resolution of Peruvian problems of the current Peruvian health system.



D. Palacios was born in 2000, is a passionate student of biomedical engineering at the Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) and the Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH).

Throughout his academic career, Diego has actively participated in various projects, both within his courses and in collaboration with interdisciplinary teams. His experience has focused especially on the prototyping phase, where he has demonstrated exceptional abilities in materializing innovative solutions.

His areas of interest include the maintenance of medical equipment, the Internet of Things (IOT), artificial intelligence applied to health, as well as rehabilitation and the design of prostheses using additive technology, such as 3D printing. Juan shows a deep commitment to the application of technology to improve processes in the medical and rehabilitation field.



L. Chirre was born in Lima, Peru in 2001. He is an undergraduate student of biomedical engineering in both the Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) and Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH).

His areas of interest lie within clinical engineering, specifically in equipment management and maintenance, as well as biomedical signal processing. However, his focus isn't solely on these areas; he'd developed interdisciplinary projects with professors from PUCP in 2021, such as "Cooper Tannate (CuTn) Based Coating on 3D Printed Face Masks," and presented their work at the 5th ISAMA in South Korea. Currently, he's part of the LID, where they're involved in additive manufacturing and machine learning projects.