



Procesamiento óptico y físico para el análisis de lesiones musculares preexistentes en extremidades superiores

Optical and physical processing for the analysis of pre-existing muscle injuries in the upper extremities

Jeel Moya-Salazar^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-7357-4940>

Italo P. Sabino² <https://orcid.org/0000-0003-4249-9252>

Víctor Rojas-Zumaran³ <https://orcid.org/0000-0001-9859-684X>

Dante Espinoza-Morriberon² <https://orcid.org/0000-0001-7731-8509>

¹Universidad Privada del Norte. Facultad de Ciencias de la Salud. Lima, Perú.

²Universidad Tecnológica del Perú. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.

³Hospital Nacional Docente Madre Niño San Bartolomé. Departamento de Ayuda al Diagnóstico. Lima, Perú.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: jeel.moya.s@upn.edu.pe

RESUMEN

Introducción: El diagnóstico de lesiones musculares es un desafío en contextos de poco acceso a los servicios de la salud. La integración de técnicas de movimiento puede favorecer y mejorar integralmente el análisis de estas lesiones.

Objetivo: Desarrollar un enfoque de procesamiento óptico y físico para el análisis de lesiones musculares en las extremidades superiores.

Métodos: Se realizó un estudio observacional, exploratorio, en 7 adultos peruanos. Se realizaron maniobras para evaluar segmentos específicos del miembro superior (método convencional) y el software



Skillspector para recopilar y analizar datos biomecánicos por procesamiento óptico y físico. Se compararon los 2 métodos, mediante 5 parámetros de la metodología Six Sigma.

Resultados: El 71,4 % de los participantes presentaba lesiones en el antebrazo y el 42,9 % mostró un cambio significativo en la variabilidad biomecánica. El método convencional tuvo una Sigma menor (3,45) que el alternativo (5,55). A pesar de sus ventajas, la complejidad en la manipulación de datos y la susceptibilidad de variables fueron limitaciones del método alternativo durante el modelado digital del paciente.

Conclusiones: El procesamiento óptico y físico con Skillspector tiene alta eficacia para analizar lesiones musculares, superior al método de maniobras biomecánicas.

Palabras clave: estudios de factibilidad; extremidades superiores; lesiones; movimiento; músculos; Perú.

ABSTRACT

Introduction: Diagnosing muscle injuries is a challenge in low-access healthcare contexts. Integrating motion analysis techniques can favor and comprehensively improve these injuries analysis.

Objective: To develop an optical and physical processing approach for analyzing pre-existing muscle injuries in the upper body extremities.

Methods: An exploratory observational study was designed involving 7 Peruvian adults. Maneuvers were conducted to assess specific segments of the upper limb (conventional method), and the Skillspector software was used to collect and analyze biomechanical data based on optical and physical processing. Two methods were compared using 5 parameters of the Six Sigma methodology.

Results: 71.4% of participants had injuries in the forearm, and 42.9% showed a significant change in biomechanical variability. The conventional method had a lower Sigma (3.45) than the alternative method (5.55). Despite its advantages, the complexity in data manipulation and susceptibility to variables were limitations of the alternative method during patient digital modeling.

Conclusions: Optical and physical processing with Skillspector is highly effective in analyzing muscle injuries, surpassing the biomechanical maneuvers method.

Keywords: feasibility studies; injuries; movement; muscles; Peru; upper extremities.



Recibido: 13/03/2024

Aprobado: 08/08/2024

INTRODUCCIÓN

La pandemia de la COVID-19 ha expuesto deficiencias en la gestión de recursos de atención al paciente en el sistema de salud peruano, especialmente en fisioterapia y rehabilitación, que siguen métodos obsoletos de la década de 1960 centrados en maniobras exploratorias para diagnósticos patológicos.⁽¹⁾ A pesar de los avances en fisioterapia, muchos sistemas de salud no han seguido el ritmo, lo que limita el acceso a servicios modernos y obstaculiza la atención basada en la evidencia.⁽²⁾ En respuesta, ha surgido un interés creciente en el desarrollo de métodos avanzados, para analizar lesiones musculares en las extremidades superiores, comunes en atletas y trabajadores con actividades repetitivas, que puedan tener baja calidad de vida.⁽³⁾

Técnicas como la ecografía y la resonancia magnética ofrecen información detallada sobre la estructura muscular, mientras que el análisis biomecánico proporciona datos cuantitativos sobre los movimientos articulares y la función muscular, que permite diseñar estrategias efectivas de prevención y rehabilitación.^(3,4,5) La integración de técnicas ópticas y físicas ofrece un enfoque completo para el análisis de lesiones musculares, lo que permite una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes y estrategias de tratamiento más precisas. Estas herramientas son especialmente relevantes en contextos de aislamiento social, como la pandemia de la COVID-19.⁽⁶⁾

El objetivo de la presente investigación es desarrollar un enfoque de procesamiento óptico y físico para el análisis de lesiones musculares en las extremidades superiores.



MÉTODOS

Diseño y sujetos de investigación

Estudio observacional, exploratorio⁽⁷⁾ en adultos peruanos, durante el año 2022. Se incluyeron participantes de 20 a 30 años, con ausencia de antecedentes de enfermedades degenerativas o lesiones musculoesqueléticas en los miembros superiores o inferiores. Siete voluntarios adultos sanos, de ambos sexos, se incluyeron mediante muestreo no probabilístico por conveniencia.

Variables del estudio

Las variables del estudio fueron el procesamiento de imágenes (óptico y físico), las lesiones musculares en las extremidades superiores según segmento hombro (zonas de evaluación 1), hombro-codo (zonas de evaluación 2) y muñeca-codo (zonas de evaluación 3). Otra variable fueron las 5 características (costos, factibilidad, rapidez, eficiencia, y objetividad) del método de Six Sigma que determinó la calidad de la prueba medida.⁽⁸⁾

Procedimientos

Se indujeron maniobras de evaluación de los segmentos del miembro superior (Fig. 1). Se clasificó a los participantes según los movimientos exploratorios de análisis. Las maniobras Painful Arch y Hawkins-Kennedy se usaron para evaluar el hombro, y la Prueba de Whipple para evaluar el hombro-codo.^(9,10) Para el segmento muñeca-codo, se emplearon las maniobras Prone-Supine y estabilidad, forzando el valgo con el codo extendido.^(11,12) Estas maniobras se consideraron el método convencional.

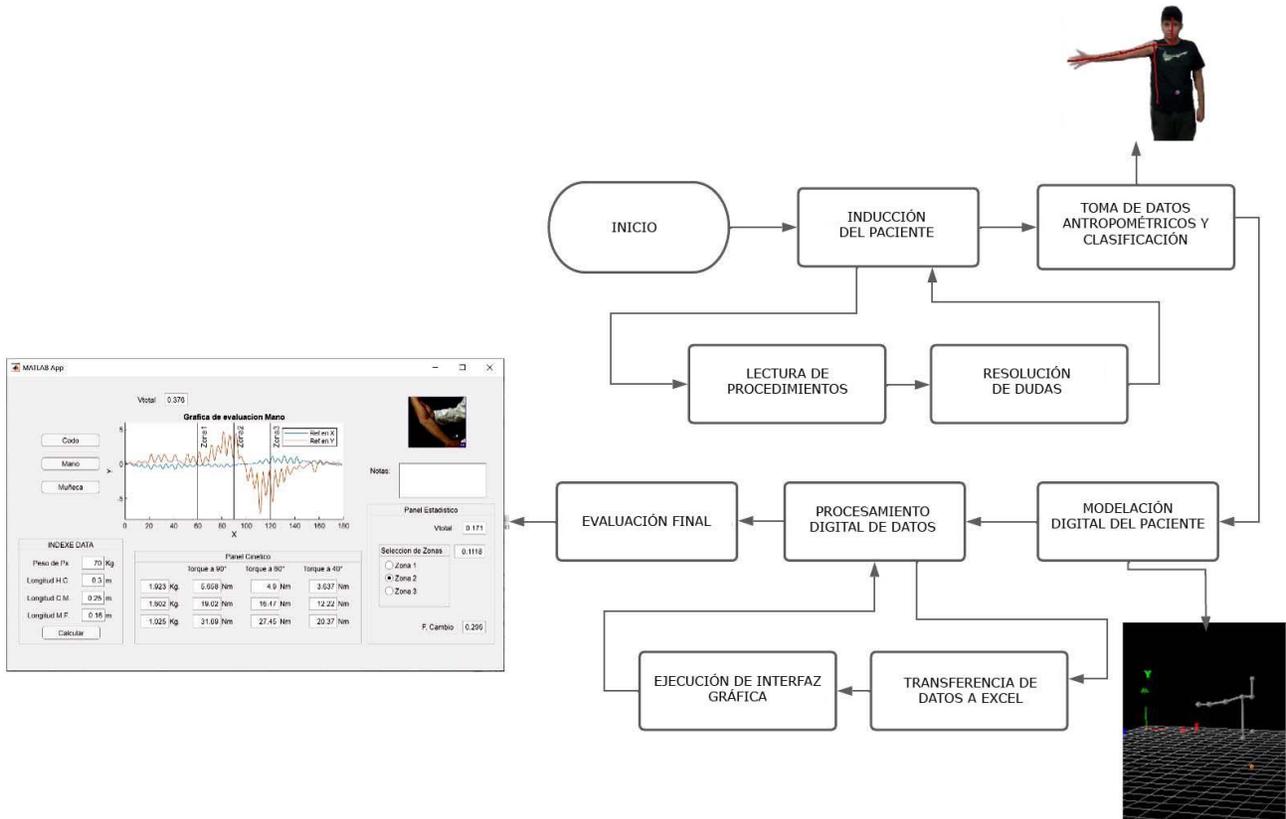


Fig. 1 - Flujoograma de procesamiento óptico y físico.

Análisis de datos

Los datos de posición de los segmentos se indexaron en función del tiempo; los puntos de referencia fueron reconocidos manualmente, en comparación con el entorno, en el software Skillspector 1.2.4. (Video4coach, Dinamarca) y se analizaron en MS-Excel 2013, función Matlab. Se trazaron gráficos de velocidad/tiempo, posición/tiempo y momento angular/tiempo. Se procesaron las afectaciones presentadas en los segmentos del miembro superior; se consideró un factor de cambio estadístico $p > 0,4$ para indicar un cambio relativo (máximo y torque) en la variabilidad biomecánica de las zonas de evaluación 1, 2 y 3. Además, se compararon las 5 características del método de Six Sigma, entre el método convencional y el de este estudio. Los criterios de evaluación incluyeron costos directos e



indirectos, factibilidad, rapidez, eficiencia y objetividad de uso de la herramienta evaluada en entornos clínicos.⁽¹³⁾

Cuestiones bioéticas

Se siguieron los lineamientos de la Declaración de Helsinki⁽¹⁴⁾ y este estudio tuvo la aprobación del Comité de ética de la Universidad (Reg. N°122-2022-1).

RESULTADOS

Del total de pacientes, el 71,4 % presentó lesiones en el antebrazo y el 28,6 % en el brazo. Solo el 42,9 % mostró un cambio estadístico relevante ($\geq 0,4$) en los segmentos hombro-codo y muñeca-codo, lo cual indica variabilidad en los movimientos biomecánicos. Solo el 14,3 % presentó un cambio mayor a 0,5 (tabla 1).

Tabla 1 - Descriptivos del análisis sobre procesamiento óptico y físico

Pacientes	Características del análisis			
	Anomalías > 0,5	Anomalías > 0,4	Factor de cambio máximo	Torque máximo estadístico
1	No	Si	0,408	38,57
2	No	Si	0,5021	37,05
3	No	No	0,2541	57,58
4	No	No	0,1346	40,17
5	No	No	0,2745	50,28
6	No	No	0,1545	32,33
7	No	Si	0,4192	48,16

La tabla 2 compara los 2 métodos usando parámetros Six Sigma. El método convencional obtuvo un valor sigma total de 3,45, mientras que el método alternativo alcanzó 5,55, que denota alta calidad de la prueba.



Tabla 2 - Comparación de métodos para el análisis de zonas musculares de miembro superior

Métodos	Parámetros Six Sigma					
	Costos (0,3)	Factibilidad (0,15)	Rapidez (0,2)	Eficiencia (0,15)	Objetividad (0,2)	Total
Convencional	3 (0,9)	6 (0,9)	3 (0,6)	3 (0,45)	3 (0,6)	3,45
Alternativo	6 (1,8)	3 (0,45)	6 (1,2)	6 (0,9)	6 (1,2)	5,55

DISCUSIÓN

Este estudio aporta evidencia sobre el potencial de los enfoques ópticos y físicos para mejorar el análisis de lesiones musculares en las extremidades superiores, destacando su calidad y objetividad del método alternativo. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la práctica clínica y deportiva, aportando una herramienta útil para el diagnóstico y tratamiento de lesiones musculares en esta región anatómica específica.

La concepción de un software capaz de analizar los movimientos del cuerpo humano para detectar anomalías biomecánicas y priorizar la atención médica es una idea viable respaldada por investigaciones previas.^(15,16,17) Los resultados indican que la mayoría de los participantes no mostraron anomalías detectables mediante métodos convencionales (cambio en el factor de varianza), lo que sugiere que no necesitarían atención médica inmediata. Esto es crucial para la salud pública, considerando las brechas en la atención y rehabilitación de pacientes en Perú a todos los niveles de atención y seguros médicos disponibles.⁽¹⁸⁾ Sin embargo, el Plan Operativo Multianual 2022-2024 del Ministerio de Salud de Perú proyecta un gasto público superior a 906 820.00 soles para fortalecer, monitorear y evaluar el acceso y la oferta pública en salud, y solo < 1 % de dicho presupuesto se aplica al desarrollo de proyectos en biomedicina.⁽¹⁹⁾

Aunque el método alternativo proporciona resultados más objetivos, su complejidad y el tiempo requerido para su aplicación son aspectos a considerar. El análisis de calidad por Six Sigma mostró que el uso del método alternativo ofrece una evaluación más objetiva frente al método convencional, aunque el tiempo y la complejidad son factores relevantes.⁽¹²⁾ La metodología de Six Sigma utilizada en este estudio respalda la superioridad del método alternativo.⁽²⁰⁾



La población del estudio podría ser una limitación para la generalización de los resultados, por ello, se requieren estudios con mayor cantidad de participantes. Además, se sugiere aplicar este procesamiento y análisis en estudios prospectivos futuros para evaluar el algoritmo. Aunque los valores proporcionados por el sistema son cuantitativos, el método puede ser susceptible a variables durante la etapa de modelado digital del paciente,^(21,22) ya que el uso de una cámara adecuada y el desarrollo preciso de las maniobras no pueden controlarse completamente en este estudio.

En conclusión, el análisis utilizando el método alternativo permitió identificar variabilidad en las lesiones musculares de las extremidades superiores. Los resultados preliminares indican una buena calidad en el análisis, aunque se requiere de investigaciones adicionales para validar y optimizar su aplicabilidad en entornos clínicos reales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los participantes del estudio y al equipo de la Unidad de Cualitativas de Nesh Hubbs por su apoyo en la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boszormenyi Nagy IK. Between give and take: A clinical guide to contextual therapy. New York: Routledge; 1986.
2. Chan MH, Boop F, Qaddoumi I. Challenges and opportunities to advance pediatric neuro-oncology care in the developing world [Internet]. Childs Nerv Syst. 2015; 31:1227–37. DOI: [10.1007/s00381-015-2771-x](https://doi.org/10.1007/s00381-015-2771-x)
3. Snedden TR, Scerpella J, Kliethermes SA, Norman RS, Blyholder L, Sanfilippo J, et al. Sport and Physical Activity Level Impacts Health-Related Quality of Life Among Collegiate Students [Internet]. Am J Health Prom. 2019; 33(5):675-82. DOI: [10.1177/0890117118817715](https://doi.org/10.1177/0890117118817715)



4. Pauwels E, Van Loo D, Cornillie P, Brabant L, Van Hoorebeke L. An exploratory study of contrast agents for soft tissue visualization by means of high resolution X-ray computed tomography imaging [Internet]. *J Microsc.* 2013; 250(1):21-31. DOI: [10.1111/jmi.12013](https://doi.org/10.1111/jmi.12013)
5. van den Bogert AJ, Geijtenbeek T, Even-Zohar O, Steenbrink F. A real-time system for biomechanical analysis of human movement and muscle function [Internet]. *Med Biol Eng Comput.* 2013; 51(1): 1069–77. DOI: [10.1007/s11517-013-1076-z](https://doi.org/10.1007/s11517-013-1076-z)
6. Fajardo-Luna C, Espil-Sanchez S, Quico-Berrio R, Muñoz-Cure Y, Salazar CR, Moya-Salazar J. Comentarios sobre la seguridad del paciente y eventos adversos a propósito del estudio de Riera-Vázquez et al.; (2022) [Internet]. *J Healthcare Quality Res.* 2023; 38(4): 250-1. DOI: [10.1016/j.jhqr.2022.09.007](https://doi.org/10.1016/j.jhqr.2022.09.007)
7. Kumar UB, Dubey DP. *Research Methodology: Techniques and Trends.* New York: Chapman and Hall/CRC; 2022. DOI: [10.1201/9781315167138](https://doi.org/10.1201/9781315167138)
8. Niemann J, Reich B, Stöhr C. *Lean Six Sigma: Methods for Production Optimization.* New York: Springer; 2024.
9. Caliş M, Akgün K, Birtane M, Karacan I, Caliş H, Tüzün F. Diagnostic values of clinical diagnostic tests in subacromial impingement síndrome [Internet]. *Annals Rheum Dis.* 2000; 59(1):44–7. DOI: [10.1136/ard.59.1.44](https://doi.org/10.1136/ard.59.1.44)
10. Cloke DJ, Watson H, Purdy S, Steen IN, Williams JR. A pilot randomized; controlled trial of treatment for painful arc of the shoulder [Internet]. *J Shoulder Elbow Sur.* 2008; 17(1 Suppl):17-21. DOI: [10.1016/j.jse.2007.07.005](https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.07.005)
11. Hawkins RJ, Kennedy JC. Impingement syndrome in athletes [Internet]. *Am J Sports Med.* 1980; 8(3):151–8. DOI: [10.1177/036354658000800302](https://doi.org/10.1177/036354658000800302)
12. Granero J. *Manual de Exploración Física del Aparato Locomotor.* Madrid: Medical & Marketing Communications; 2010. [acceso: 02/04/2024]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books/about/Manual_de_exploraci%C3%B3n_f%C3%ADsica_del_apara.html?id=8poUMwEACAAJ&redir_esc=y



13. Council for Six Sigma. Six sigma A complete step-by-step guide. Buffalo: CSSC Press; 2018. [acceso: 02/04/2024]. Disponible en: <https://www.sixsigmacouncil.org/wp-content/uploads/2018/08/Six-Sigma-A-Complete-Step-by-Step-Guide.pdf>
14. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects [Internet]. JAMA. 2013; 310(20): 2191-4. DOI: [10.1001/jama.2013.281053](https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053)
15. Nyayapati P, Booker J, Wu PIK, Theologis A, Dziesinski L, O'Neill C, et al. Compensatory biomechanics and spinal loading during dynamic maneuvers in patients with chronic low back pain [Internet]. Europ Spine J. 2022; 31(7):1889–96. DOI: [10.1007/s00586-022-07253-4](https://doi.org/10.1007/s00586-022-07253-4)
16. Soto SAF. Modelamiento de la marcha de personas con la enfermedad de Parkinson [Internet]. [Tesis de maestría]. Cuenca: Unidad de Postgrados; Universidad Politécnica Salesiana; 2018. [acceso: 02/04/2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15481>
17. Camperos SAC, Arguello MLG. Análisis cinemático del gesto del remate en dos momentos de la práctica deportiva del voleibol de la selección femenina de voleibol de la Universidad de Pamplona [Internet]. [Tesis de titulación]. Pamplona: Facultad de Salud; Universidad de Pamplona; 2020. [acceso: 02/04/2024]. Disponible en: <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/842>
18. Huarachi LA, Lozano-Zanelly G, Acosta J, Huarachi CA, Moya-Salazar J. Inequality in the distribution of resources and health care in the poverty quintiles: Evidence from Peruvian comprehensive health insurance 2018-2019 [Internet]. Electron J Gen Med. 2024; 21(1):em568. DOI: [10.29333/ejgm/14160](https://doi.org/10.29333/ejgm/14160)
19. Ministerio de Salud. Resolución Ministerial N° 427-2023-MINSA. Plan Operativo Institucional (POI) Multianual 2024-2026. Lima: Ministerio de Salud; 2023.
20. Rathi R, Vakharia A, Shadab M. Lean six sigma in the healthcare sector: A systematic literature review [Internet]. Mater Today Proc. 2022; 50(5):773-81. DOI: [10.1016/j.matpr.2021.05.534](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.534)
21. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction [Internet]. Sem Orthodont. 2004; 10(3): 226-38. DOI: [10.1053/j.sodo.2004.05.007](https://doi.org/10.1053/j.sodo.2004.05.007)



21. López-Valenciano A, Ayala F, Puerta JM, DE Ste Croix MBA, Vera-Garcia FJ, Hernández-Sánchez S, Ruiz-Pérez I, Myer GD. A Preventive Model for Muscle Injuries: A Novel Approach based on Learning Algorithms. *Med Sci Sports Exerc.* 2018; 50(5):915-927. DOI: [10.1249/MSS.0000000000001535](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001535)

Conflictos de interés

Se declara que no existen conflictos de interés.

Información financiera

Los autores declaran que no hubo subvenciones involucradas en este trabajo.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: *Jeel Moya-Salazar, Ítalo P. Sabino, Dante Espinoza-Morriberon.*

Curación de datos: *Jeel Moya-Salazar, Ítalo P. Sabino, Víctor Rojas-Zumaran, Dante Espinoza-Morriberon.*

Análisis formal: *Jeel Moya-Salazar, Ítalo P. Sabino, Dante Espinoza-Morriberon.*

Investigación: *Ítalo P. Sabino.*

Metodología: *Jeel Moya-Salazar, Dante Espinoza-Morriberon.*

Administración del proyecto: *Víctor Rojas-Zumaran.*

Recursos: *Ítalo P. Sabino.*

Supervisión: *Dante Espinoza-Morriberon.*

Validación: *Jeel Moya-Salazar, Dante Espinoza-Morriberon.*

Visualización: *Jeel Moya-Salazar, Ítalo P. Sabino, Víctor Rojas-Zumaran.*

Redacción – borrador original: *Ítalo P. Sabino, Víctor Rojas-Zumaran, Dante Espinoza-Morriberon.*

Redacción – revisión y edición: *Jeel Moya-Salazar, Ítalo P. Sabino.*



Disponibilidad de datos

Los datos del estudio son confidenciales de un proyecto sobre procesamiento óptico aplicado en medicina, por tanto, no pueden ser expuestos públicamente ni compartidos. Están almacenados en el sistema de la Universidad Tecnológica del Perú para acceder a ellos se requiere autorización del autor principal, con quien puede ponerse en contacto vía email.