

EVALUACIÓN DE LA FATIGA Y POTENCIA NEUROMUSCULAR EN ESCALADA MEDIANTE LA BATERÍA DE TEST IRCRA

Grado en ciencias de la Actividad Física y el Deporte



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

ALUMNO: FRANCISCO SANTANA CARTAGENA

TUTOR ACADÉMICO: RAFAEL SABIDO SOLANA

CURSO 2025-2026.

Código de autorización COIR: TFG.GAF.RSS.FSC.260416

Índice de contenidos

Resumen.....	3
Introducción.....	3
Método.....	5
Participantes	5
Diseño experimental	5
Instrumental	5
Procedimiento	5
Análisis estadístico	6
Bibliografía	7
Anexos	9



Resumen

La escalada está condicionada principalmente por la fuerza de los miembros superiores y la capacidad de repetir esfuerzos isométricos. Para medirlas se usaron dos test de la batería de pruebas de la International Rock Climbing Research Association (IRCRA), el Power Slap y la dominada isométrica al fallo muscular. El rendimiento se midió mediante análisis de vídeo y acelerometría a través del uso de smartphones. Cuatro escaladores fueron seleccionados de diferentes disciplinas, boulder y escalada de dificultad, para realizar los test en dos sesiones separadas por un mínimo de 48 horas. Primeramente, se realizaron dos pruebas del Power Slap y posteriormente dos de la dominada isométrica al fallo muscular. El segundo día se invirtió el orden de las pruebas buscando minimizar los posibles efectos producidos por la fatiga. Asimismo, los datos fueron analizados mediante el software Kinovea y el software del acelerómetro, Phyphox. Finalmente, Excel y SPSS permitieron el almacenamiento y tratamiento estadístico de los datos.

Introducción

La escalada tiene sus raíces en la ascensión al Mont Blanc en 1786, hito que dio paso a la "era dorada del montañismo" (1854-1865). Conforme los picos vírgenes de los Alpes comenzaron a escasear, la disciplina se especializó en Europa hasta formar las diferentes modalidades actuales, como el boulder en Francia, la escalada de dificultad en Alemania o el free solo en Inglaterra ([Zhu et al., 2021](#)).

Desde ese momento, se ha producido un crecimiento significativo de la popularidad del deporte, en la cantidad de vías y en la dificultad de su grado. Como [Madsen et al. \(2025\)](#) afirman: "han aumentado un 400% la cantidad de rocódromos en EEUU". Además, las disciplinas de escalada (boulder, escalada de velocidad y dificultad) han dejado de ser un deporte de nicho tras su aparición en los Juegos Olímpicos de Tokyo 2020-21, generando un aumento en el interés de investigadores, deportistas y entrenadores.

Las disciplinas más practicadas presentan necesidades fisiológicas muy diferentes. La escalada en dificultad requiere unos esfuerzos más prolongados y repetidos, mientras que el boulder se caracteriza por esfuerzos explosivos de corta duración ([Mermier et al., 2000](#); [Stien et al., 2019](#); [Saeterbakken et al., 2024](#)).

Ambas están fuertemente condicionadas por las contracciones isométricas en los flexores de los dedos. Esto se evidencia en la notable diferencia entre un escalador y una persona entrenada en la fuerza de prensión relativa al peso corporal ([Watts, 2004](#)), y la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) permite discriminar entre los niveles de los escaladores ([Sheel, 2004](#); [MacKenzie et al., 2019](#); [Stien et al., 2021](#)). Asimismo, la principal característica de los escaladores de élite es la fuerza explosiva en los miembros superiores ([Saul et al., 2019](#); [Saeterbakken et al., 2024](#)). Según [Laffaye et al. \(2015\)](#) este factor suponía un 46% del rendimiento total, aunque más recientemente, otros autores le han atribuido un porcentaje de hasta un 77% en hombres y un 62% en mujeres ([MacKenzie et al., 2019](#)). Sin embargo, el rendimiento en escalada no depende únicamente de la capacidad de generar fuerza explosiva. Las prolongadas contracciones isométricas de la musculatura flexora de los dedos pueden restringir parcialmente el flujo sanguíneo local, aumentando la fatiga muscular y comprometiendo la capacidad de mantener la producción de fuerza repetidamente ([Maciejczyk et al., 2022](#)). Por ello, la resistencia a la fuerza y la tolerancia a la fatiga local son factores fisiológicos determinantes en escalada ([Watts 2004](#); [Giles et al., 2006](#); [Saul et al., 2019](#)), pudiendo discriminar diferentes niveles de escaladores en base a la batería IRCRA ([Vereide et al., 2022](#)).

Por otra parte, la escalada se realiza en un medio que dificulta la evaluación de los deportistas de forma precisa y objetiva. Esta dificultad ha supuesto la creación de un total de 429 pruebas diferentes en la literatura científica, de las cuales, el 53% analizan las mismas cualidades: la fuerza en los dedos y miembros superiores ([Langer et al., 2023](#)). Por esta heterogeneidad metodológica, la *International Rock Climbing Research Association* (IRCRA) desarrolló una batería de 10 ejercicios que permitieran evaluar las cualidades más relevantes dentro de la escalada según la literatura científica: flexibilidad, potencia, fuerza, resistencia y estabilidad del abdomen ([Draper et al. 2021](#)). Entre los 10 ejercicios que contiene, [Vasile y Stanescu \(2023\)](#) demostraron que el Power Slap (Figura 1), era el mayor predictor del rendimiento en la escalada. Asimismo, [Langer et al. \(2023\)](#) encontraron unos coeficientes de variación aceptables en esta prueba, lo que reafirma la necesidad de su uso. El Power Slap consiste en realizar una dominada explosiva en unas presas determinadas con el objetivo de alcanzar la máxima distancia posible con una mano desde la presa de inicio.

Paralelamente, la acelerometría se ha consolidado como una herramienta útil para la valoración objetiva del rendimiento físico y el análisis del movimiento en ciencias del deporte. Su uso permite cuantificar variables mecánicas relacionadas con la aceleración, velocidad o potencia durante la ejecución de diferentes gestos deportivos. En escalada, [Laffaye et al. \(2014\)](#) emplearon acelerometría para validar el Power Slap, demostrando su utilidad para analizar el rendimiento explosivo específico en escaladores. Además, la utilización de métodos objetivos y fiables resulta especialmente relevante ante la gran heterogeneidad existente en los protocolos de evaluación empleados en este deporte ([Langer et al., 2023](#)).

Este sensor nos otorga la posibilidad de medir la variabilidad del patrón motor de ejecución, algo que ha sido medido en sentadilla frontal ([García-Aguilar et al., 2024](#)), pero no en dominada isométrica. La variabilidad del patrón de movimiento de ejecución hace referencia a cómo “el sistema nervioso genera variaciones en la respuesta para conseguir el mismo resultado” ([Cowin et al., 2022](#)) y se ve afectada por la fatiga, como la que genera una repetición isométrica máxima, produciendo un detrimento en la producción de fuerza, capacidad contráctil y activación muscular ([García-Aguilar et al., 2022](#)).

Es por todo ello que el presente estudio se basa en el análisis del Power Slap y la dominada isométrica de la batería IRCRA con dos objetivos concretos: analizar su implementación mediante acelerometría usando dispositivos móviles en un contexto ecológico de entrenamiento y analizar el efecto de la fatiga sobre la variabilidad de la respuesta motriz en la dominada isométrica.

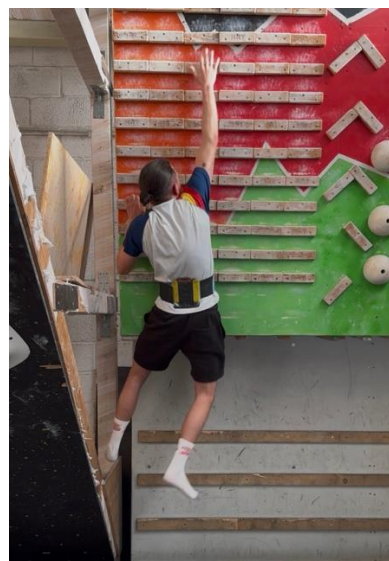


Figura 1. deportista realizando el test Power Slap en campus board.

Método

Participantes

En este estudio participaron cuatro sujetos que habitualmente practican la escalada en alguna de sus modalidades. La muestra estuvo compuesta de dos hombres y dos mujeres con edades comprendidas entre los 21 y 45 años. Todos los participantes contaban con experiencia previa en escalada deportiva y continuaban practicando este deporte de manera regular en el momento del estudio. Como criterios de inclusión, los participantes debían encontrarse sanos y libres de dolor o lesión musculoesquelética durante la realización de las pruebas. Los sujetos firmaron un consentimiento informado previo a la recogida de datos y el estudio contó con la aprobación del Comité de Investigación correspondiente (COIR).

Sexo	n	EDAD	ALTURA (m)	PESO (kg)	EXPERIENCIA (años)
Hombres	2	22,00 ± 1,41	1,71 ± 0,04	62,50 ± 14,85	3,00 ± 1,41
Mujeres	2	43,50 ± 2,12	1,60 ± 0,07	55,50 ± 3,54	14,75 ± 15,91

Figura 2. Características de la muestra.

Diseño experimental

Antes de la realización de las pruebas, los participantes pudieron familiarizarse con el protocolo del Power Slap y recibieron indicaciones técnicas básicas sobre su ejecución.

La recogida de datos se llevó a cabo en el rocódromo Indoorwall (Alicante), concretamente en la zona destinada a barras de dominadas y campus board. Todas las pruebas se realizaron en el mismo entorno y bajo condiciones similares.

Instrumental

Para el registro acelerométrico se utilizó un teléfono móvil iPhone 11 equipado con la aplicación Phypox, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. El dispositivo fue colocado mediante un cinturón específicamente diseñado para estas tareas (ANEXO 5). Además, se usó un iPhone 15 Pro para la toma de los vídeos y un iPhone 8 para el control remoto del acelerómetro.

Todas las pruebas fueron grabadas en vídeo para facilitar posteriormente el análisis del rendimiento y resolver posibles dudas durante el procesamiento de los datos.

Procedimiento

Se realizó un diseño cruzado de dos sesiones para minimizar la influencia del orden de ejecución de las pruebas sobre los resultados obtenidos. En la primera sesión comenzaban realizando dos intentos del test de Power Slap para posteriormente realizar dos de dominada isométrica al fallo, mientras que en la segunda sesión el orden de ejecución era el inverso. Entre sesiones se dejó un periodo mínimo de 48 horas para evitar efectos residuales de fatiga y se alentó a los participantes a no realizar ejercicio físico extenuante dos días antes del registro en la medida de lo posible. El registro de la señal de acelerometría se realizó mediante un dispositivo móvil colocado en la zona lumbar, en el centro de masas, mediante un cinturón especial (ANEXO 5)

Antes de cada sesión se realizó un calentamiento estandarizado compuesto por movilidad articular de los miembros superiores, ejercicios de activación del core y musculatura escapular y finalizado con tres aproximaciones progresivas a la dominada utilizando bandas elásticas.

Test Power Slap

El test de Power Slap se realizó sobre una pared inclinada de “campus board” utilizando presas de 28 mm (ANEXO 1). Los participantes iniciaban el movimiento sujetándose con ambas manos y realizaban un gesto explosivo intentando alcanzar la máxima altura posible con una sola mano (Figura 1).

El rendimiento fue evaluado posteriormente mediante análisis de vídeo utilizando el software de ordenador “Kinovea”. Asimismo, la aceleración máxima obtenida en el ensayo también se calculó como variable de rendimiento.

Con el objetivo de reducir el ruido inicial en la señal acelerométrica, se estableció un protocolo estandarizado en el que los participantes debían permanecer brevemente colgados hasta recibir una señal verbal del investigador. Tras activar remotamente el acelerómetro, se realizaba el intento correspondiente. Cada participante realizó dos intentos, separados por un descanso mínimo de tres minutos entre ejecuciones.

Dominada isométrica al fallo

La prueba de dominada isométrica consiste en mantener una posición estática de agarre prono con la barbilla por encima de la barra de dominadas durante el máximo tiempo posible hasta el fallo muscular. La finalización de la prueba se determinó cuando el participante no pudo mantener la posición establecida o claudicó.

Durante toda la ejecución se registró la señal acelerométrica mediante el siguiente protocolo: los participantes debían colgarse y sin más demora realizar una dominada prono para mantener dicha posición y en ese instante, se iniciaba remotamente el registro acelerométrico en el dispositivo móvil, el cual se detenía cuando claudicaban o perdían la posición. Asimismo, se respetó un descanso mínimo de tres minutos entre pruebas.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el software SPSS (versión 25, IBM Statistics, Nueva York, EE. UU.). La normalidad fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Posteriormente se realizó un análisis de correlación entre las variables de rendimiento de cada prueba (distancia recorrida y tiempo mantenido) con las variables extraídas de la acelerometría. Por último, se realizó un análisis de prueba T entre la parte inicial y final del test de isometría para ver los efectos de la fatiga en la señal del acelerómetro. El nivel de significación de todas las pruebas fue establecido en $p < .05$.

Bibliografía

And, A. I. V., & Stanescu, M. (2023). Testing IRCRA Battery and Its Predictive Value on Red-Point Performance in Youth Advanced Climbers. *Journal Of Orthopaedics And Sports Medicine*, 05(02). <https://doi.org/10.26502/josm.511500108>

Cowin, J., Nimphius, S., Fell, J., Culhane, P., & Schmidt, M. (2022). A Proposed Framework to Describe Movement Variability within Sporting Tasks: A Scoping Review. *Sports Medicine - Open*, 8(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00473-4>

Draper, N., Giles, D., Taylor, N., Vigouroux, L., España-Romero, V., Baláš, J., Altamirano, I. S., Mally, F., Beeretz, I., Canalejo, J. C., Josserson, G., Kodejška, J., Téllez, M. J. A., & De Vaca, G. G. C. (2021). Performance Assessment for Rock Climbers: The International Rock Climbing Research Association Sport-Specific Test Battery. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 16(9), 1242-1252. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0672>

García-Aguilar, F., Caballero, C., Sabido, R., & Moreno, F. J. (2022). The use of non-linear tools to analyze the variability of force production as an index of fatigue: A systematic review. *Frontiers In Physiology*, 13, 1074652. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1074652>

García-Aguilar, F., López-Fernández, M., Barbado, D., Moreno, F. J., & Sabido, R. (2024). Assessing Motor Variability during Squat: The Reliability of Inertial Devices in Resistance Training. *Sensors*, 24(6), 1951. <https://doi.org/10.3390/s24061951>

Giles, L. V., Rhodes, E. C., & Taunton, J. E. (2006). The Physiology of Rock Climbing. *Sports Medicine*, 36(6), 529-545. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636060-00006>

González-Martín, D., Santos-Pérez, J., Maroto-Izquierdo, S., De Paz, J. A., & Gallego-Selles, Á. (2025). Comparison of Finger Flexor Strength and Muscle Quality Between Climbers and Non-Climbers: Influence of Sex and Grip Type. *Applied Sciences*, 15(13), 7161. <https://doi.org/10.3390/app15137161>

Laffaye, G., Collin, J., Levernier, G., & Padulo, J. (2014). Upper-limb Power Test in Rock-climbing. *International Journal Of Sports Medicine*, 35(08), 670-675. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1358473>

Laffaye, G., Levernier, G., & Collin, J. (2015). Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. *Scandinavian Journal Of Medicine And Science In Sports*, 26(10), 1151-1159. <https://doi.org/10.1111/sms.12558>

Langer, K., Simon, C., & Wiemeyer, J. (2023). Physical performance testing in climbing—A systematic review. *Frontiers In Sports And Active Living*, 5, 1130812. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1130812>

Maciejczyk, M., Michailov, M. L., Wiecek, M., Szymura, J., Rokowski, R., Szygula, Z., & Beneke, R. (2022). Climbing-Specific Exercise Tests: Energy System Contributions and Relationships With Sport Performance. *Frontiers In Physiology*, 12, 787902. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.787902>

MacKenzie, R., Monaghan, L., Masson, R. A., Werner, A. K., Caprez, T. S., Johnston, L., & Kemi, O. J. (2019). Physical and Physiological Determinants of Rock Climbing. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 15(2), 168-179. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0901>

Madsen, A., Pezzullo, L., Nixon, R. M., Vincent, K. R., & Vincent, H. K. (2025). Current sex and age patterns of rock climbing-related injuries treated in emergency departments. *Frontiers In Sports And Active Living*, 7, 1555169. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1555169>

Mermier, C. M., Janot, J. M., Parker, D. L., & Swan, J. G. (2000). Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal Of Sports Medicine*, 34(5), 359-365. <https://doi.org/10.1136/bjsm.34.5.359>

Rokowski, R., Michailov, M., Maciejczyk, M., Więcek, M., Szymura, J., Draga, P., Trendafilov, P., & Szygula, Z. (2021). Muscle strength and endurance in high-level rock climbers. *Sports Biomechanics*, 23(8), 1057-1072. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1916577>

Saeterbakken, A. H., Stien, N., Pedersen, H., Langer, K., Scott, S., Michailov, M. L., Gronhaug, G., Baláš, J., Solstad, T. E. J., & Andersen, V. (2024). The Connection Between Resistance Training, Climbing Performance, and Injury Prevention. *Sports Medicine - Open*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00677-w>

Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *Journal Of Exercise Science & Fitness*, 17(3), 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.04.002>

Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal Of Sports Medicine*, 38(3), 355-359. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.008169>

Stien, N., Riiser, A., Shaw, M. P., Saeterbakken, A. H., & Andersen, V. (2022). Effects of climbing- and resistance-training on climbing-specific performance: a systematic review and meta-analysis. *Biology Of Sport*, 40(1), 179-191. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.113295>

Stien, N., Saeterbakken, A. H., Hermans, E., Vereide, V. A., Olsen, E., & Andersen, V. (2019). Comparison of climbing-specific strength and endurance between lead and boulder climbers. *PLoS ONE*, 14(9), e0222529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222529>

Stien, N., Vereide, V. A., Saeterbakken, A. H., Hermans, E., Shaw, M. P., & Andersen, V. (2021). Upper body rate of force development and maximal strength discriminates performance levels in sport climbing. *PLoS ONE*, 16(3), e0249353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249353>

Vereide, V., Andersen, V., Hermans, E., Kalland, J., Saeterbakken, A. H., & Stien, N. (2022). Differences in Upper-Body Peak Force and Rate of Force Development in Male Intermediate, Advanced, and Elite Sport Climbers. *Frontiers In Sports And Active Living*, 4, 888061. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.888061>

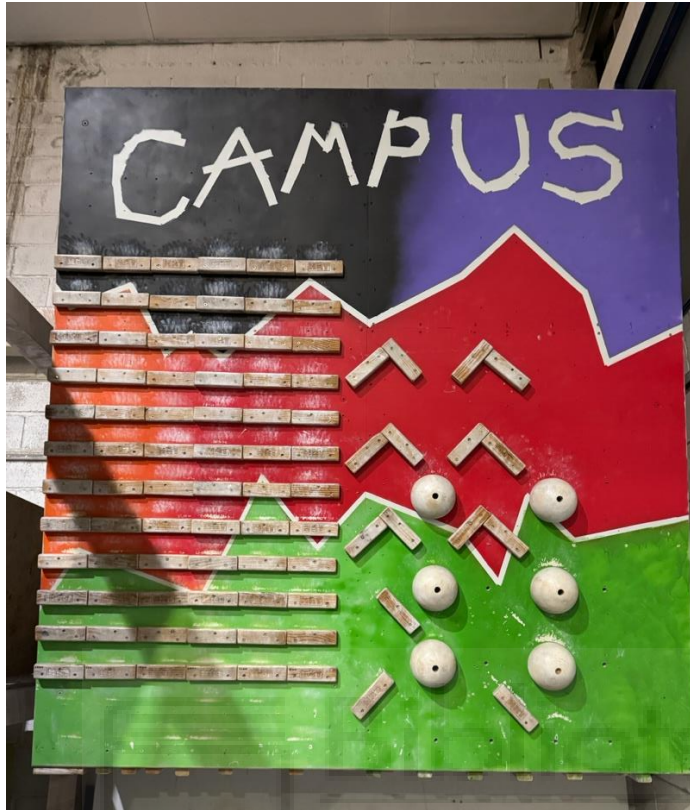
Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal Of Applied Physiology*, 91(4), 361-372. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-1036-7>

Winkler, M., Künzell, S., & Augste, C. (2023). Competitive performance predictors in speed climbing, bouldering, and lead climbing. *Journal Of Sports Sciences*, 41(8), 736-746. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2239598>

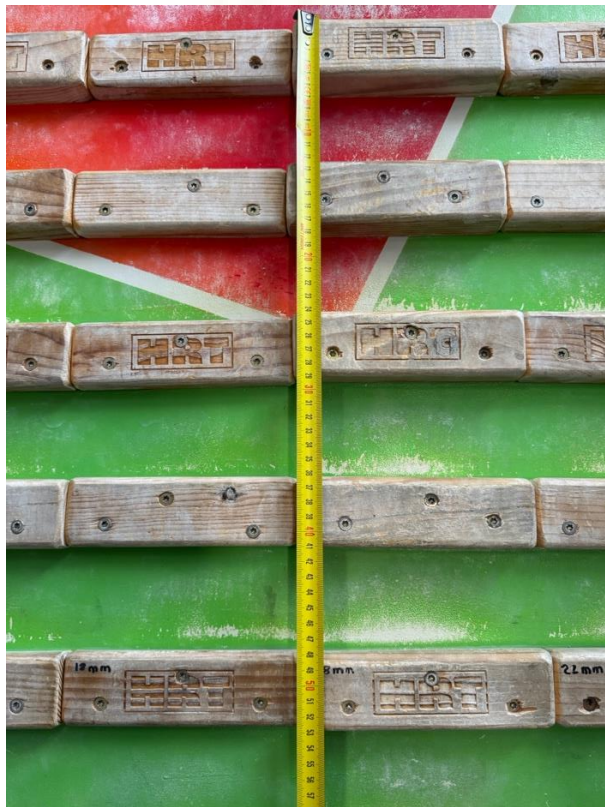
Zhu, B., Chen, R., & Li, Y. (2021). The Origin and Early Evolution of Rock Climbing. *Advances In Social Science, Education And Humanities Research/Advances In Social Science, Education And Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210806.124>

Anexos

ANEXO 1: Vista frontal del Campus Board.



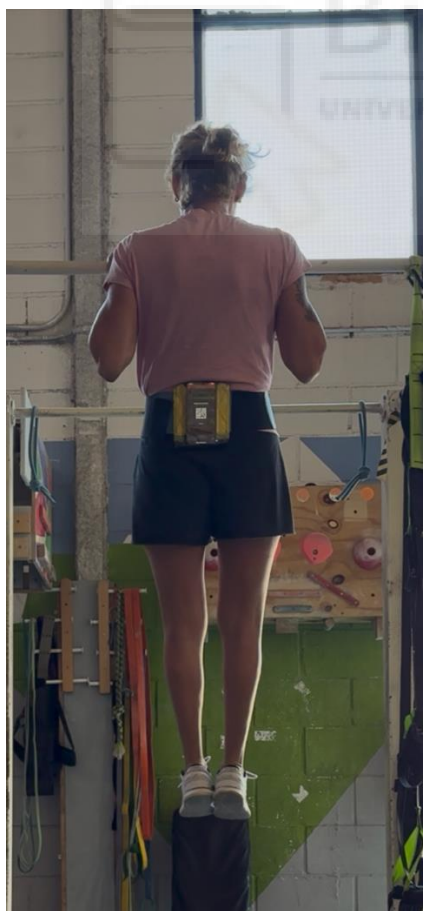
ANEXO 2: Distancia utilizada para el calibre del análisis de fotos en la aplicación Kinovea, 47,6 cm.



ANEXO 3: Imagen analizada de un deportista realizando la prueba de Power Slap.



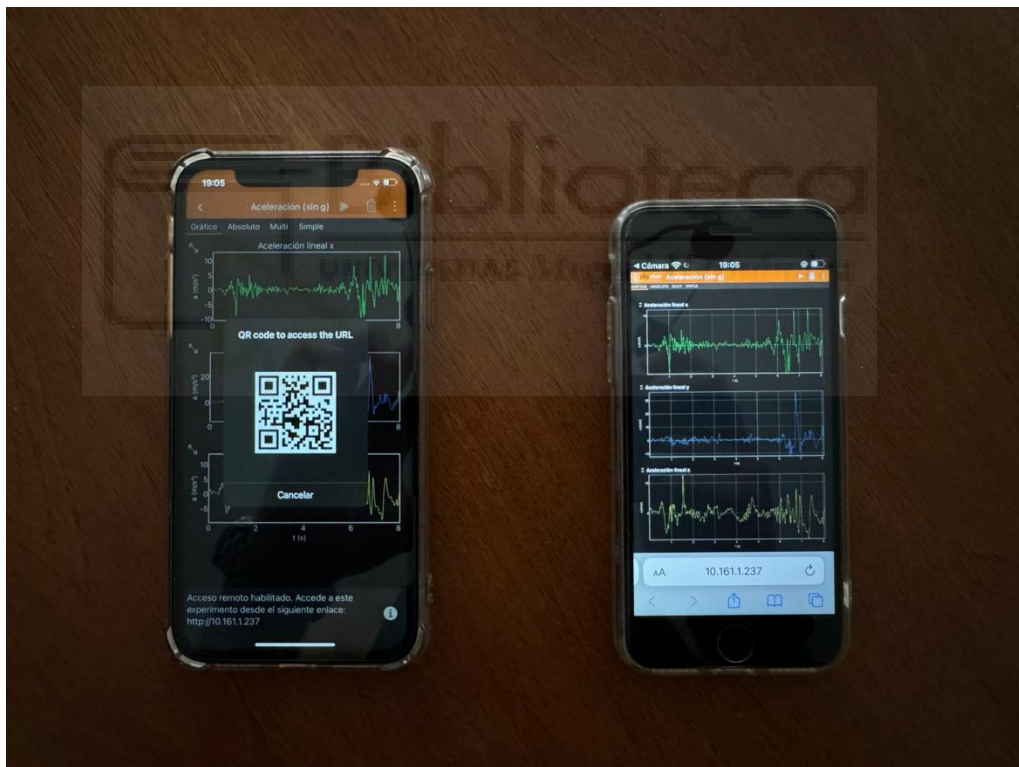
ANEXO 4: Deportista realizando una dominada isométrica al fallo.



ANEXO 5: Cinturón empleado para colocar el acelerómetro en el centro de masas.



ANEXO 6: Dispositivos móviles midiendo una señal de aceleración (izquierda) controlado en remoto (derecha).



ANEXO 7: COIR del TFG.



Francisco Santana Cartagena <francisco.santana@goumh.umh.es>

AUTORIZACIÓN COIR TFG/TFM

1 mensaje

Laura Jiménez Morgado <ljimenez@umh.es>
Para: Rafael Sabido Solana <francisco.santana@goumh.es>

22 de abril de 2026 a las 15:57

Estimado Rafael Sabido Solana y Francisco Santana Cartagena

Una vez revisada su solicitud de evaluación ética le comunicamos que la misma ha sido **AUTORIZADA**:

Nombre del tutor/a:	Rafael Sabido Solana
Nombre del estudiante:	Francisco Santana Cartagena
Tipo de actividad:	1. Adherido a un proyecto autorizado
Título	Evaluación de la fatiga y potencia neuromuscular en escalada mediante la batería de test IRCRA
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional:	260416025803
Código de autorización COIR	TFG.GAF.RSS.FSC.260416
Caducidad	2 años

Pueden imprimir este correo como justificante de autorización ética COIR.

Aprovechamos para recordarle que no necesita realizar ningún trámite adicional con la Oficina de Investigación Responsable.

Un saludo,

--



Laura Jiménez Morgado

Oficina de Investigación Responsable

Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

Universidad Miguel Hernández de Elche

Teléf.: 966658614 / 8614

ANEXO 8: Consentimiento informado primera página.



CONSENTIMIENTO INFORMADO

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Centro de Investigación del Deporte

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: Aprendizaje y Control Motor

Título del estudio:

Evaluación de la fatiga y potencia neuromuscular en escalada mediante la batería de test IRCRA

Estimado/a participante:

Le invitamos a participar de manera voluntaria en un estudio de investigación que forma parte de un Trabajo de Fin de Grado (TFG), cuyo objetivo es analizar como la fatiga afecta a la variabilidad de la respuesta motriz y como correlacionan las pruebas con el nivel del escalador y su orientación, mediante el uso de herramientas no invasivas como el test explosivo en campus (Power-Slap) y el análisis de la variabilidad motora mediante la aplicación PHYPHOX.

La investigación se llevará a cabo en colaboración del rocódromo Indoorwall, y será dirigida por un estudiante de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte bajo la supervisión del profesorado universitario.

¿Qué implica su participación?

- Las mediciones se realizarán en el campus y la barra de dominadas, imitando gestos propios de la escalada.
- Se utilizarán dispositivos móviles para la acelerometría y grabación de video.
- Ninguna de las pruebas suponen riesgos para la salud si se siguen las indicaciones establecidas.

ANEXO 9: Consentimiento informado segunda página.



Consideraciones importantes:

- Su participación es completamente voluntaria y puede abandonar el estudio en cualquier momento, sin que esto suponga ninguna consecuencia para usted.
- Los datos recogidos serán tratados de forma confidencial y anónima, y únicamente serán utilizados con fines científicos.
- No se hará uso de su imagen ni de su identidad sin consentimiento adicional.

Riesgos:

El estudio no conlleva riesgos significativos, ya que se desarrolla bajo supervisión y dentro de los márgenes habituales de la práctica deportiva.

Contacto:

Para cualquier duda o aclaración puede ponerse en contacto con el estudiante responsable del estudio: francisco.santana@goumh.umh.es

DECLARACIÓN DEL PARTICIPANTE

Yo, _____,

con DNI _____,

- He leído y comprendido la información anterior.
- He tenido oportunidad de realizar preguntas y mis dudas han sido resueltas.
- Entiendo que mi participación es voluntaria y que puedo retirarme en cualquier momento sin dar explicaciones.
- Acepto que se recojan y analicen mis datos de forma confidencial.

Edad: _____

Firma del participante: _____

Fecha: ____ / ____ / ____