

Morenas, J.; Luis, V.; Ramos, A. (2021). Differences in Motor Patterns of Dyno Technique in Climbers. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 21 (81) pp. 15-28 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista81/artinfluencia1229.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista81/artinfluencia1229.htm)
DOI: <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.81.002>

ORIGINAL

DIFERENCIAS EN LOS PATRONES MOTORES DEL GESTO DE LANZAMIENTO EN ESCALADORES

DIFFERENCES IN MOTOR PATTERNS OF DYNO TECHNIQUE IN CLIMBERS

Morenas, J.¹; Luis, V.¹ y Ramos, A.²

¹ Doctor en Ciencia del Deporte, Profesor del Grado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Extremadura (España) jesusmorenas@unex.es, viluca@unex.es

² Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Técnico Federación Extremeña de Montaña y Escalada (España) andresramossosa@hotmail.es

Código UNESCO / UNESCO Code: 3212 Educación Física y Deportiva
Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 3 Biomecánica del Deporte.

Recibido 15 de marzo de 2019 **Received** March 15, 2019

Aceptado 28 de marzo de 2020 **Accepted** March 28, 2020

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue describir y comparar el patrón de movimiento de escaladores de diferente Nivel deportivo durante la técnica de lanzamiento. La muestra estuvo compuesta por 10 escaladores, 5 de alto nivel y 5 de bajo nivel. Se midieron variables cinemáticas de posición, velocidad y aceleración de diferentes segmentos corporales. Se utilizó un modelo anatómico de 23 puntos y el software KINESCAN del IBV para digitalizar el patrón de movimiento. El MANOVA realizado mostró diferencias según Nivel deportivo en ciertas variables cinemáticas. Específicamente, el grupo de mayor nivel obtuvo mayor velocidad del centro de masas, cadera y codos durante la fase de impulso. Los resultados obtenidos sugieren que la destreza en la técnica permitió generar movimientos más rápidos en determinados segmentos corporales a fin de alcanzar una presa del rocódromo dispuesta a una altura superior a la posición inicial del escalador.

PALABRAS CLAVE: Patrón motor, Escalada, Biomecánica, Cinemática, Nivel deportivo.

ABSTRACT

The aim of the present study was to describe and compare the motor pattern of climbers with different sports level during the dyno technique. The sample consisted of 10 climbers, 5 high level climbers and 5 low level climbers. Kinematic variables of position, velocity and acceleration of different body segments were measured. A 23-point anatomical model was used and these were digitized by the IBV KINESCAN software. The MANOVA performed showed differences regarding to sports level in certain kinematic variables. Specifically, the higher-level group obtained greater velocity of the centre of mass, hip and elbows during the impulse phase. The results obtained suggest that the skill in the technique allowed to generate faster movements in certain body segments in order to reach a handhold arranged at a higher height than the initial position of the climber.

KEY WORDS: Motor Pattern, Climbing, Biomechanics, Kinetics, Sports level.

1 INTRODUCCIÓN

La escalada es una disciplina deportiva que tiene una demanda musculoesquelética muy exigente ya que el escalador tiene que soportar su masa influida por una carga gravitacional (i.e., su peso corporal). El escalador tiene que coordinar sus segmentos corporales y buscar las posiciones óptimas en función de las características de la ruta a fin de evitar desequilibrios y caídas. Esta demanda en el aparato locomotor difiere mucho de la locomoción humana normal debido a la coordinación entre los miembros superiores, inferiores y tronco para desplazarse por la vertical. Por tanto, el trabajo mecánico en la escalada difiere mucho de las acciones cotidianas normales (Russell, Zirker y Blemker, 2012). En esta línea, Sibella, Frosio, Schena y Borghese (2007) concluyen que la escalada, a diferencia de la locomoción bípeda humana, es un tipo de locomoción cuadrúpeda en el plano vertical que requiere un mínimo apoyo de una extremidad (o más) a fin contrarrestar las fuerzas gravitacionales y no caer al suelo.

Existen diversos estudios que han analizado las características fisiológicas de la escalada deportiva (e.g., la concentración de lactato y frecuencia cardiaca; ver Sheel, 2004 y Watts, 2004), o también las diferentes respuestas fisiológicas ante diferentes tipos de rutas, verticales y horizontales (de Geus, Villanueva, & Meeusen, 2006). Por ejemplo, Giles, Rhodes y Tauton (2006) concluyeron que una gran fuerza y resistencia de manos y hombros, junto con la capacidad para tolerar y eliminar el ácido láctico, podrían explicar el éxito de la escalada en roca. España-Romero et al. (2009) determinaron, tras un análisis de la literatura existente, que un bajo peso corporal y de masa grasa junto con una alta fuerza de prensión manual y fuerza resistencia eran las variables antropométricas y fisiológicas que mejor caracterizaban al escalador experto. En esta línea, Fryer, Giles, Garrido-Palomino, de la O Puerta, y España-Romero (2018) recomendaron un entrenamiento de la capacidad aeróbica general del cuerpo y

específica de los antebrazos ya que el índice de capacidad oxidativa del antebrazo o el pico de consumo máximo de oxígeno predecían el rendimiento de escalada en roca.

Otro grupo de estudios concluyen que el factor determinante del rendimiento en la escalada es la fuerza máxima de dedos (Baláš, Pecha, Martin y Cochrane, 2012; López y González-Badillo, 2012; Mermier, Janot, Parker y Swan, 2000; Úbeda, 2004; Vigouroux, Quaine, Labarre-Vila y Moutet, 2006; Watts, 2004). Específicamente existen estudios que han analizado: i) la carga mecánica de los dedos en diferentes escaladores y agarres (Lopez-Rivera y Gonzalez-Badillo, 2012; Morenas, Luis, Leyton, Gómez-Valadés y Gómez, 2013), ii) la relevancia entre la fricción entre la mano y el agarre (Konstantin y Niegl, 2012), iii) la actividad eléctrica de los músculos en diferentes acciones de escalada (Vigouroux y Quaine, 2006), y iv) la resistencia de los músculos flexores de los dedos de la mano (Núñez, Ramírez, Lancho, Poblador y Lancho, 2018). Adicionalmente, otros estudios han descrito las fuerzas tridimensionales obtenidas durante cambios posturales mediante medidores de deformación tridimensional, permitiendo cuantificar la fuerza ejercida en cada soporte. La simulación de estos cambios posturales durante el movimiento de escalada ha permitido analizar la fuerza vertical y horizontal aplicada en diferentes agarres (Frederic, Quaine y Martin, 2001; Morenas et al., 2013). Para medir técnicas más específicas de escalada (p.e., la técnica de *lanzamiento*) se han utilizado transductores piezoeléctricos, los cuales medían la fuerza ejercida tanto en la presa de salida como la de recepción (Fuss y Niegl, 2010).

Recientemente, Saul, Steinmetz, Lehmann y Schilling (2019) realizaron una revisión sistemática de estudios en escalada a fin de conocer aquellos factores que contribuían al rendimiento deportivo de esta modalidad deportiva. Estos autores concluyen que los escaladores de alto nivel mostraban a nivel biomecánico una gran fuerza y resistencia de dedos; así como un alto grado de control y ajuste postural. A nivel fisiológico, destacaban en la ratio fuerza-peso de sus flexores de antebrazo; capacidad aeróbica, vasodilatadora y de re-oxigenación. A nivel antropométrico, los escaladores expertos tenían dedos largos, gran volumen de antebrazo y bajo porcentaje graso. Respecto al tipo de entrenamiento más eficaz para conseguir buenos resultados en escalada destacaban los ejercicios con tablillas para potenciar la fuerza de dedos, un régimen de trabajo muscular excéntrico-concéntrico, así como un entrenamiento continuado con fases de recuperación activa.

Para cuantificar la mecánica empleada en las técnicas de escalada se deben emplear diferentes modelos biomecánicos que sean capaces de analizar los complejos movimientos humanos. Entre los modelos más recientes destacan: i) el *inverse dynamics model* que miden las diferencias de ángulos y torques para cuantificar el trabajo mecánico realizado en los movimientos escalada; ii) el *musculoskeletal model* utilizado para evaluar cómo las estrategias cinemáticas y rangos de movimiento afectan al músculo en su capacidad de generar fuerza y iii) el *forward dynamic model* desarrollado para conocer los gastos energéticos de las diferentes estrategias en la escalada deportiva (Russell et al., 2012). Sin embargo, apenas existen estudios que hayan investigado la contribución del nivel de destreza sobre la organización del movimiento en escalada deportiva.

Como excepción, Seifert et al. (2014) encontraron que los escaladores de mayor nivel mostraron una mayor coordinación de las extremidades superiores e inferiores, debido a un mejor uso de la información suministrada por la ruta de escalada en hielo.

Por todo ello, a día de hoy existe una necesidad de proporcionar unas pautas de intervención claras acerca de cómo aumentar la destreza deportiva en escalada, analizando aquellas adaptaciones perceptivas y motoras que ayuden a generar patrones de rendimiento motrices a través de la práctica y diferentes estrategias de aprendizaje (Orth, Davids y Seifert, 2016). En esta línea, el objetivo de este estudio es analizar y comparar cinemáticamente la técnica de *lanzamiento* en escalada deportiva en rocódromo mediante fotogrametría 3D (software KINSCAN del Instituto Biomecánico de Valencia, IBV, 2011) en una muestra de escaladores de diferente nivel deportivo. Los datos cinemáticos que se recogieron y analizaron, basándose en otros estudios (Cha, Lee, Heo, Shin, Son y Kim, 2015; Sibella et al., 2007) fueron: i) ángulo de la articulación de codo y rodilla (izquierda y derecha); ii) posición de la cadera (izquierda y derecha) en las componentes x, y, z; iii) aceleración angular del codo y rodilla (izquierda y derecha); iv) velocidad angular del codo y rodilla (izquierda y derecha); v) aceleración y velocidad de la cadera en las componentes x, y, z (izquierda y derecha); vi) aceleración, velocidad y posición del centro de masas (CM) en las componentes x, y, z, módulo.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 MUESTRA

La muestra total de participantes estuvo formada por 10 escaladores varones ($M_{\text{edad}} = 27,40$; $DT = 12,12$). Los escaladores de mayor nivel deportivo ($n=5$) formaban parte del equipo autonómico de escalada deportiva, con experiencia competitiva a nivel nacional e internacional. En cambio, la muestra de menor nivel ($n=5$) estaba formada por escaladores que practicaban la escalada, pero de manera recreativa. Ambos grupos, tenían más de ocho años de experiencia en la escalada. Para dividir los grupos se utilizó la escala francesa o *grado máximo* que consiste en clasificar el nivel deportivo de los escaladores en función de la ruta de mayor dificultad que hayan conseguido escalar. En función de esta escala se dividió el rendimiento de los escaladores en dos niveles: *Nivel bajo* (IV-6c+) y *Nivel alto* (8a- 9b). El grupo de escaladores de mayor destreza alcanzó el *Nivel alto* (i.e., mínimo de 4) y el del menor nivel fue clasificado en un *Nivel bajo* (i.e., máximo de 2.25) según la tabla de conversión estandarizada de la capacidad de escalada (Watts, Martín y Durtschi, 1993).

El criterio para la formación de la muestra fue a través de una selección muestral no probabilística basado en un muestreo de conveniencia (Salkind, 1999) ya que los participantes de cada grupo debían cumplir ciertos requisitos respecto al nivel de destreza y experiencia deportiva. Concretamente, se bloqueó el efecto de la *experiencia* (i.e., todos eran participantes habituados a la escalada con más de ocho años de experiencia) a fin de evitar la influencia de dicha variable en la posible relación entre el *Nivel deportivo* y las variables cinemáticas analizadas.

Además, el grupo de menor nivel debía de mostrar un rendimiento en la escala *grado máximo* de *bajo* y el grupo de mayor nivel de *alto*.

Cada participante fue informado de los objetivos del mismo y del proceso que se iba a seguir, consintiendo y aceptando libremente su participación en el proceso experimental. No se dio información alguna sobre las hipótesis a contrastar. La investigación se realizó de acuerdo a los principios de experimentación en seres humanos que establece la Comisión de Bioética y de Bioseguridad de la Universidad, y de la Declaración de Helsinki (2013).

2.2 MATERIAL

Para el análisis cinemático del escalador se utilizó un sistema de dos cámaras con una frecuencia de muestreo de 60 Hz. Para la calibración del espacio se utilizó un sistema de referencia que consistía en un cubo de dimensiones 2 m x 2 m x 2 m (x: abscisa, y: ordenada, z: cota) (ver Figura 1).

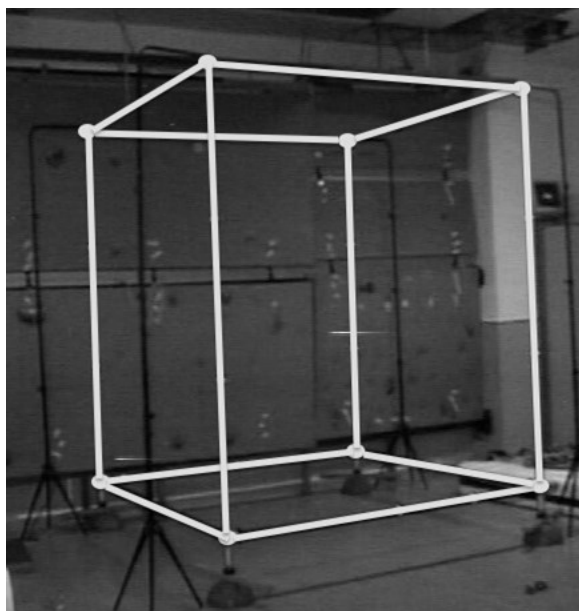


Figura 1. Sistema de referencia empleado para la calibración del espacio en el rocódromo artificial empleado en la investigación

Mediante el software KINESCAN del Instituto Biomecánico de Valencia (IBV) se procedió a la digitalización y procesado de las imágenes grabadas. La parte de escalada se realizó en un rocódromo de cuatro metros de ancho y tres metros de alto, con dos presas para manos y dos presas de pies de salida, colocadas a la misma altura y una presa objetivo. Las presas de mano estaban a una distancia de 40 cm entre ellas y a una distancia de 100 cm con respecto a las de pie. La distancia entre las presas de salida y la presa objetivo fue de 100 cm (ver Figura 2).

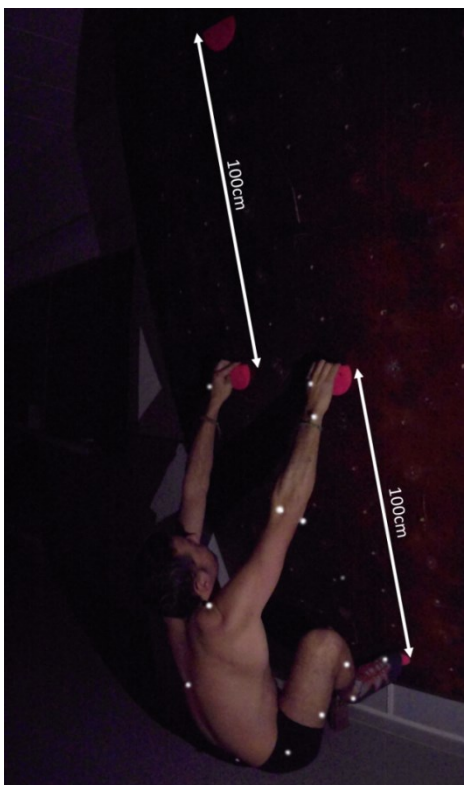


Figura 2. Participante con marcadores y configuración del rocódromo para la investigación.

Finalmente, para la batería de test de antropometría (i.e., talla y envergadura) y cualidades físicas (i.e., fuerza de dedos general y específica; fuerza isométrica de piernas; flexibilidad de hombros y piernas) se utilizó una cinta métrica, y un dinamómetro isométrico (Interface, SSM-AJ-5000N).

2.3 VARIABLES

La variable independiente del estudio fue el *Nivel deportivo* (Nivel 1: *bajo*, Nivel 2: *alto*) de la muestra de escaladores, de acuerdo al *grado máximo* propuesto por la escala francesa. Respecto a las variables dependientes de estudio se encuentran:

- Ángulo de la articulación codo y rodilla (izquierda y derecha) en $^{\circ}$.
- Posición de la cadera (izquierda y derecha) en las componentes x, y, z en cm.
- Aceleración angular del codo y rodilla (izquierda y derecha) en rad/s^2 .
- Velocidad angular del codo y rodilla (izquierda y derecha) en rad/s (ω).
- Aceleración y velocidad de la cadera en las componentes x, y, z (izquierda y derecha) en m/s^2 y m/s respectivamente.
- Aceleración, velocidad, y posición del centro de masas (CM) en las componentes x, y, z, así como del módulo en m/s^2 y m/s respectivamente.
- Tiempo (s) que tarda cada grupo en completar cada una de las 4 fases en que se divide el análisis del patrón de movimiento.

El análisis de las variables cinemáticas se dividió en 4 fases a fin de describir con más precisión el movimiento realizado por el escalador (Figura 3). Estas

fases son: i) *Fase 1 (T1)* desde que el participante levanta el último pie del suelo, hasta que lo apoya en la presa de pie; ii) *Fase 2 (T2)* desde que el participante apoya el pie en la presa e inicia la extensión de codo, hasta el último punto en el que comienza a realizar una flexión de codo; iii) *Fase 3 (T3)* desde que comienza la flexión de codo, hasta el momento en el que suelta una de las dos presas agarradas; iv) *Fase 4 (T4)* desde que suelta una de las presas de mano, hasta que alcanza la presa de recepción. También, se miden las variables antropométricas de talla y envergadura (cm) así como las variables físicas de fuerza general y específica de dedos en KgF de compresión ejercidos, así como la fuerza isométrica del cuádriceps a 90° en N. Respecto a las variables de flexibilidad, se midieron la flexibilidad de la articulación del hombro y de las piernas (cm).

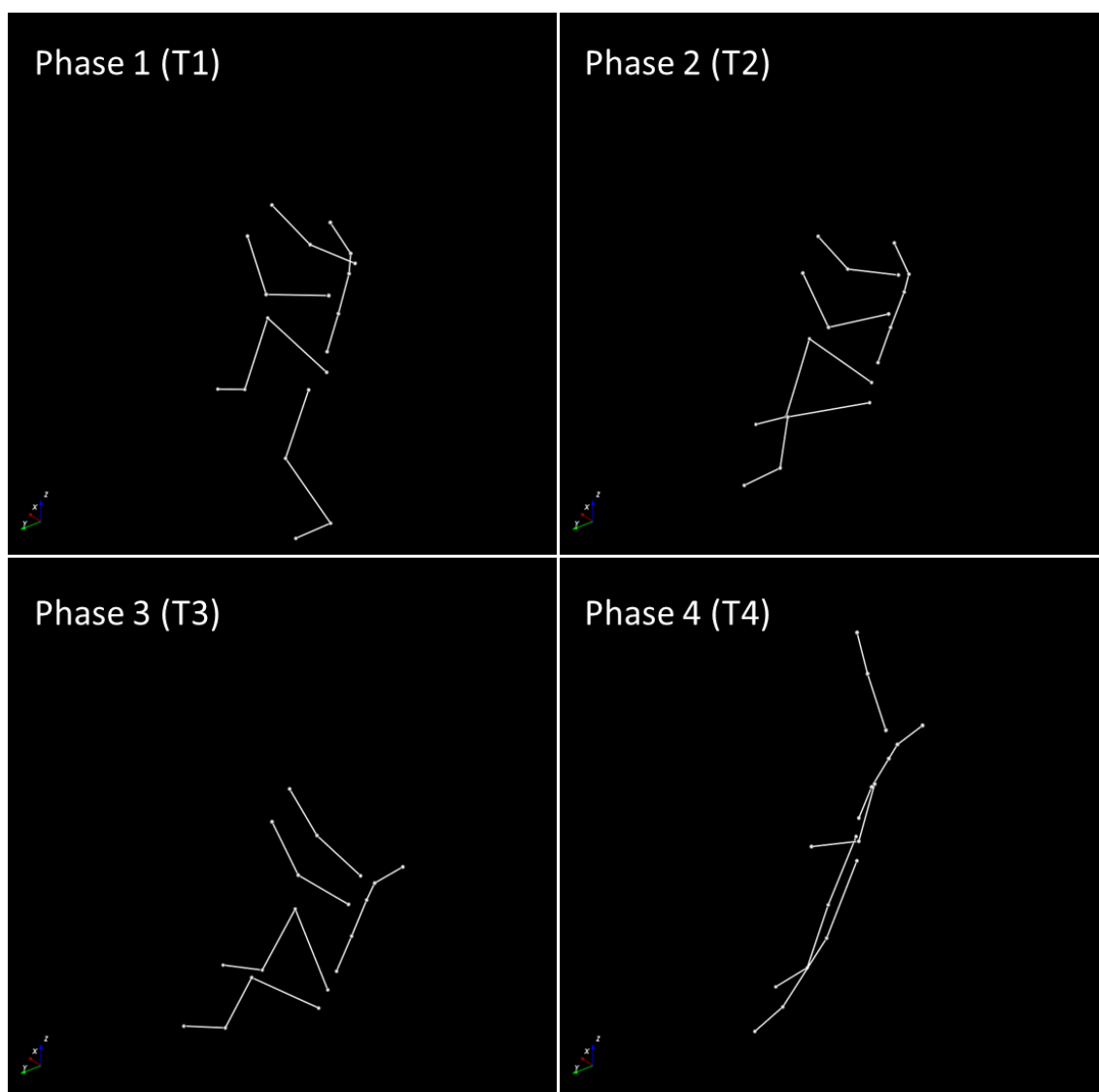


Figura 3. División en fases de la técnica de *lanzamiento* en rocódromo para el análisis cinemático.

2.4 PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Antes del comienzo de las mediciones en el laboratorio, se realizó el montaje del cubo tridimensional (3D) para tener un sistema de referencia de los movimientos

de los escaladores en el espacio (ejes x, y, z). Una vez grabado el cubo se retiró a fin de proceder con las grabaciones. Junto con el cubo de calibración se utilizaron 23 marcadores reflectantes de 15 mm de diámetro, adheridos a la piel en los marcadores anatómicos del modelo (Figura 2). Se utilizaron también dos focos para iluminar los marcadores y facilitar su identificación en la grabación.

El día de las mediciones, los participantes realizaron, en primer lugar, las pruebas de antropometría y los diferentes test de rendimiento. Se midió la fuerza general de dedos (i.e., la fuerza de agarre manual) que realiza el escalador en posición erguida, codo recto y sin apoyar en el cuerpo y la fuerza específica de dedos, apoyando el antebrazo y fijando el codo previamente (Baláš, Panáčková, Kodejška, Cochrane y Martin, 2014; Michailov, et al., 2018). Desde esta posición, el escalador sujetaba un agarre de realizando fuerza flexora de los dedos. También se registró la fuerza isométrica del cuádriceps a 90° en N mediante un dinamómetro isométrico. Respecto a las variables de flexibilidad, se midió la flexibilidad del tren inferior, a través del test de apertura frontal (Front Split test).

La tarea de investigación consistía en realizar la técnica de *lanzamiento* caracterizada por la realización de un movimiento en el que, para conseguir alcanzar la siguiente presa, el escalador debe hacer un desplazamiento en sentido vertical. En esta acción motriz es necesario que el escalador abandone el agarre de pies manteniendo solamente uno de mano (escaladores de baja estatura) o abandone una presa de mano (escaladores de alta y normal estatura). Específicamente, los participantes debían realizar un movimiento explosivo ascendente (i.e., eje z), soltando una de sus manos para alcanzar la presa objetivo situada a 100 cm por encima de la posición de partida. De forma general, las articulaciones que intervienen en dicho movimiento son las articulaciones del tobillo, rodilla, cadera, escapulo-humeral, codo, muñeca y las diferentes articulaciones de la mano.

Se grabaron todos los escaladores ejecutando el movimiento con dos cámaras situadas una a cada lado con una angulación de 45°. Los sujetos conocían cual era la presa de salida y de recepción, pero no se les especificó la posición o tipo de agarre a realizar a fin de dar libertad de movimiento en la ejecución de la técnica.

Una vez realizada la grabación de todos los sujetos se procedió a realizar el análisis con el software KINESCAN del IBV, digitalizando 23 marcadores anatómicos para la reconstrucción del modelo 3d, de acuerdo al modelo de Leva (1996). Una vez realizada la digitalización de todos los sujetos, se procedió a sacar los datos proporcionado por el programa, referente a todas las variables cinemáticas, dividiendo la técnica de *lanzamiento* en las 4 fases descritas previamente en la Figura 3.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En primer lugar, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para conocer la distribución de datos de las variables cinemáticas. Los resultados muestran una distribución normal de datos por lo que se decidió realizar análisis de carácter

paramétrico. Específicamente, se analizó las diferencias en los valores medios de estas variables de estudio según *Nivel deportivo* de los escaladores con la prueba de *Modelo lineal general Multivariante* (MANOVA). Se solicita un nivel Alpha de $p < 0,05$ y el estadístico ηp^2 a fin de conocer la magnitud del efecto que la variable independiente tendría sobre las variables de estudio. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 25.

3 RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos muestran que los valores alcanzados, tanto en las variables antropométricas como de capacidades físicas, son similares en ambos grupos de escaladores ya que el MANOVA realizado no muestra diferencias significativas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Conjunto de variables antropométricas y físicas (fuerza y flexibilidad) realizadas a la muestra de participantes.

	Grupo <i>Nivel alto</i>	Grupo <i>Nivel bajo</i>
	M (\pm DT)	M (\pm DT)
Talla	168 cm (16,14)	172 cm (12,61)
Envergadura	172,80 cm (13,60)	175,20 cm (6,76)
Pres_man_drch	40,80 kg (14,48)	44,40 kg (10,87)
Pres_man_izq	40,20 kg (11,98)	41,80 kg (11,49)
Pres_esp_drch	41,40 kg (12,44)	32,60 kg (7,30)
Pres_esp_izq	42,00 kg (13,28)	33,40 kg (6,98)
Flex_cadera	120,80° (12,11)	118,80° (4,38)

Leyenda: Pres=presión; Flex=flexión; man>manual; esp=específica; drch=derecha; izq=izquierda

Sin embargo, existen diferencias en los valores medios de ciertas variables cinemáticas de posición, velocidad y velocidad angular, aceleración y aceleración angular en ciertos segmentos corporales (ver Figura 4).



Figura 4. Ejemplo de ensayo digitalizado con escalador de *Nivel alto* (izquierda) y *Nivel bajo* (derecha) en el fotograma de inicio de la fase 3 de análisis

Dichas diferencias se encuentran en los segmentos corporales de cadera y codo, así como el centro de masas. Además, las diferencias tuvieron lugar durante la fase 3 del análisis y eje z (ver Tabla 2).

Tabla 2. Conjunto de variables cinemáticas con diferencias según *Nivel deportivo* de la muestra de escaladores según fase y eje cartesiano de análisis.

	Grupo <i>Nivel alto</i>	Grupo <i>Nivel bajo</i>
	M (± DT)	M (± DT)
X_vel_ang_cod_drch_3	190 (17,49)	152,49 (17,71)
X_vel_ang_cod_izq_3	178,86 (23,20)	132,63 (15,03)
X_vel_cad_drch_z3	1,06 (0,06)	0,78 (0,09)
X_vel_cad_izq_z3	1,06 (0,07)	0,79 (0,08)
X_vel_cm_z3	0,84 (0,11)	0,67 (0,04)
X_vel_cm_mod_3	0,97 (0,12)	0,80 (0,03)

Legenda: X=media; Dt=desviación típica; pos=posición; vel=velocidad; ac=aceleración; ang=angular; drch=derecha; izq=izquierda; cm=centro de masas; mod=módulo.

El MANOVA realizado muestra que el grupo de *Nivel alto* obtuvo mayores valores medios en dichas variables cinemáticas que el grupo de *Nivel bajo*. Específicamente, el grupo de mayor nivel consiguió mayor velocidad de cadera derecha ($F(1,1) = 31,35$; $p < 0,001$; $\eta p^2 = 0,79$) e izquierda ($F(1,1) = 28,53$; $p < 0,001$; $\eta p^2 = 0,78$), velocidad angular del codo derecho ($F(1,1) = 11,34$; $p < 0,05$; $\eta p^2 = 0,58$) e izquierdo ($F(1,1) = 13,97$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,63$). También, el grupo de mayor nivel consiguió una mayor velocidad del centro de masas ($F(1,1) = 7,07$; $p < 0,05$; $\eta p^2 = 0,54$) y de su módulo de velocidad ($F(1,1) = 6,34$; $p < 0,05$; $\eta p^2 = 0,51$).

4 DISCUSIÓN

El objetivo del estudio fue describir y comparar el patrón movimiento de la técnica de *lanzamiento* en escalada deportiva en dos grupos de escaladores de diferente nivel deportivo. Los análisis muestran diferencias significativas en los valores de cinemática de ciertos segmentos corporales según el nivel de destreza en escalada. Específicamente, los escaladores de *Nivel alto* alcanzaron una mayor velocidad en los codos, caderas, y centro de masas durante la fase c y eje z del movimiento que en comparación con los de *Nivel bajo*. En todas estas comparaciones entre grupos, el estadístico ηp^2 fue superior a 0,50 lo que significa que las diferencias encontradas son explicadas, como mínimo en un porcentaje del 50%, por el efecto de su diferente nivel de destreza en escalada.

Estos resultados coinciden con las aportaciones de Fuss y Niegl (2010) quienes concluyen que para realizar con éxito la técnica de *lanzamiento* a dos manos en escalada es necesario generar una gran velocidad de despegue para alcanzar un agarre de mayor altura. También, estudios previos revelaron diferencias en la cinemática del movimiento en función del nivel deportivo de los escaladores (Russell et al., 2012; Seifert et al., 2014). En esta línea, Seifert et al. (2013) concluyeron que los escaladores expertos mostraron una mayor variabilidad de movimiento en comparación con los de menor destreza con el objetivo de mejorar su adaptación a la vía de escalada y, por tanto, alcanzar mayor rendimiento deportivo en escalada.

Destacar que la muestra de escaladores no mostró diferencias a nivel de talla, envergadura, fuerza de dedos o flexibilidad de piernas y hombros. Por tanto, las variables físicas no fueron predictivas de las diferencias a nivel cinemático entre grupos de escaladores. Tampoco se encontraron diferencias en la fuerza específica de dedos ni en la duración temporal del movimiento por fases. Sugerimos que las diferencias a nivel cinemático podrían encontrarse en una reorganización más eficiente de los grados de libertad del movimiento a las características de la vía de escalada por parte del grupo de escaladores de mayor destreza (Davids, Button y Bennett, 2008) debido a: i) un mejor acople entre información del rocódromo (i.e., tipo y distancias entre presas) y, ii) acciones motrices específicas relacionadas con el objetivo de la tarea (Orth et al., 2016). Es decir, los escaladores expertos consiguieron generar un patrón de movimiento más acorde al objetivo de la tarea (e.g., mayor velocidad de las caderas y centro de masas en sentido vertical durante la fase de impulsión), de acuerdo a la disposición de los agarres existentes en el rocódromo. Este comportamiento más eficiente a las condiciones de la vía de escalada ya fue previamente encontrado en escaladores experimentados cuando modificaron su fuerza vertical de impulso dependiendo de la técnica de agarre y profundidad de la presa (Amca, Vigouroux, Aritan y Berton, 2012).

La caracterización de patrones de movimiento en escaladores de mayor destreza deportiva resulta fundamental para conocer qué variables cinemáticas les diferencian de los de menor nivel. Esta información biomecánica podría ayudar a planificar mejor el entrenamiento de los escaladores noveles, y optimizar de manera objetiva sus procesos de aprendizaje. En el futuro sería interesante profundizar en el análisis de las variables cinemáticas en la escala tiempo (p.e.,

¿cómo es el curso de la aceleración del centro de masas?, ¿tiene un desarrollo armónico o estocástico?). Por último, sería interesante comparar patrones cinéticos de movimiento en escaladores de diferente destreza a fin de caracterizar los impulsos mecánicos involucrados en la producción de movimientos. En esta línea, un análisis intra- e inter-muscular, a través de análisis electromiográficos, ayudaría a describir la intervención muscular utilizada en el control neuromuscular, tanto en grupos de escaladores noveles y expertos como en situaciones específicas de fatiga en escalada (Limonta, Cè, Gobbo, Veicsteinas, Orizio y Esposito, 2016; Vigouroux y Quaine, 2006).

5 CONCLUSIONES

Los grupos de escaladores de *Nivel alto* y *Nivel bajo* mostraron diferencias cinemáticas en el patrón de movimiento de la técnica de *lanzamiento*. Dichas diferencias se encontraron localizadas en las articulaciones del codo, cadera, y centro de masas. Específicamente, el grupo de escaladores de mayor nivel consiguió valores medios superiores en aquellas variables cinemáticas con diferencias respecto al grupo de menor nivel; lo que implica que el grupo de *Nivel alto* fue capaz de generar mayor velocidad de desplazamiento en el codo derecho e izquierdo, cadera derecha e izquierda, y centro de masas durante la fase de impulsión (fase 3) y en sentido vertical (eje z).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amca, A.M., Vigouroux, L., Arntan, S., & Berton, E. (2012). Effect of hold depth and grip technique on maximal finger forces in rock climbing. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 669- 677.
- Baláš, J., Pecha, O., Martin, A. J., & Cochrane, D. (2012). Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16–25.
- Baláš, J., Panáčková, M., Kodejška, J., Cochrane, D. J., & Martin, A. J. (2014). The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 345–354.
- Cha, K., Lee, E. Y., Heo, M. H., Shin, K. C., Son, J., & Kim, D. (2015). Analysis of climbing postures and movements in sport climbing for realistic 3D climbing animations. In A. Subic, F. K. Fuss, F. Alam, T. Y. Pang, & M. Takla (Eds.), *Impact of Technology on Sport VI' 7th Asia-Pacific Congress on Sports Technology*, Vol. 112, 52–57.
- Cordier, P., Dietrich, G., & Pailhous, J. (1996). Harmonic analysis of a complex motor behaviour. *Human Movement Science*, 15, 789–807.
- Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- de Geus, B., Villanueva, S., & Meeusen, R. (2006). Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *European Journal Applied Physiology*, 98, 489-496.
- de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.

- España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Jiménez-Pavón, D., Gutiérrez, A., Castillo, M.J., et al. (2009). Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 9(35), 264-298.
- Frederic, N., Quaine, F., & Martin, L. (2001). Influence of step gradient supporting walls in rock climbing: biomechanical analysis. *Gait and Posture*, 13(2), 86-94.
- Fryer, S. M., Giles, D., Garrido-Palomino, I., de la O Puerta, A., & España-Romero, V. (2018). Hemodynamic and cardiorespiratory predictors of sport rock climbing performance. *Journal of Strength Conditioning Research*, 32(12), 3543–3550.
- Fuss, F.K., & Niegl, G. (2010). Biomechanics of the two-handed dyno technique for sport climbing. *Sports Engineering*, 13, 19–30.
- Giles, L. V., Rhodes, E. C., & Taunton, J. E. (2006). The physiology of rock climbing. *Sports Medicine*, 36(6), 529-545.
- Konstantin, F., & Niegl, G. (2012). The importance of friction between hand and hold in rock climbing. *Sport Technology*, 5(34), 90-99.
- Limonta, E., Cè, E., Gobbo, M., Veicsteinas, A., Orizio, C., & Esposito, F. (2016). Motor unit activation strategy during a sustained isometric contraction of finger flexor muscles in elite climbers. *Journal of Sports Sciences*, 34(2), 133–142.
- Lopez-Rivera, E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2012). The effects of two maximum grip strength training methods using the same effort duration and different edge depth on grip endurance in elite climbers. *Sport Technology*, 5(3-4), 100-110.
- 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, 359-366.
- Michailov, M. L., Baláš, J., Tanev, S. K., Andonov, H. S., Kodejška, J., & Brown, L. (2018). Reliability and validity of finger strength and endurance measurements in rock climbing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(2), 246–254.
- Morenas, J., Luis, V., Leyton, M., Gomez-Valadés, J. M., & Gomez, J. (2013). Description of the finger mechanical load of climbers of different levels during different hand grips in sport climbing. *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1713-1721.
- Núñez, V. M., Ramírez, J. M., Lancho, C., Poblador, M. S., y Lancho, J. L. (2018). La resistencia de los músculos flexores de los dedos de la mano en escaladores. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 18(69), 43-59.
- Orth, D., Davids, K., & Seifert, L. (2016). Coordination in Climbing: Effect of skill, practice and constraints manipulation. *Sports Medicine*, 46(2), 255-268.
- Russell, S., Zirker, C., & Blemker, S. (2012). Computer models offer new insights into the mechanics of rock climbing. *Sport Technology*, 5(3-4), 120-131.
- Salkind, N.J. (1999). *Exploring research*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Seifert, L., Wattedled, L., Herault, R., Poizat, G., Adé, D., Gal-Petitfaux, N., et al. (2014). Neurobiological degeneracy and affordance perception support functional intra-individual variability of inter-limb coordination during ice climbing. *PLoS One*, 9(2): e89865.

- Seifert, L., Wattebled, L., L'Hermette, M., Bideault, G., Herault, R., & Davids, K. (2013). Skill transfer, affordances and dexterity in different climbing environments. *Human Movement Science*, 32, 1339-1352.
- Sheel, A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 355–359.
- Sibella, F., Frosio, I., Schena, F., & Borghese, N. A. A. (2007). 3D analysis of the body center of mass in rock climbing. *Human Movement Science*, 26(6), 841–852.
- Saul, D., Steinmetz, G, Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Determinants for success in climbing: A systematic review. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 17, 91–100.
- Úbeda, A. B. (2004). Valoración de la fuerza de agarre en escaladores. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 4(14), 122-143.
- Vigouroux, L., & Quaine, F. (2006). Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *Journal of Sports Sciences*, 24(2), 181–186.
- Vigouroux, L., Quaine, F., Labarre-Vila, A., & Moutet, F. (2006). Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport climbing grip techniques. *Journal of Biomechanics*, 39, 2583-2592.
- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal Applied Physiology*, 91, 361–372.
- Watts, P. B., Martin, D. T., & Durtschi, S. (1993). Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 11(2), 113–117.

Número de citas totales / Total references: 33 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 3 (9,09%)