

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 / Evaluation of Hand's Fingers Flexor Muscles Endurance in Climbers. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 18 (69) pp. 43-59
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista69/artresistencia896.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista69/artresistencia896.htm)
DOI: <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.69.003>

ORIGINAL

LA RESISTENCIA DE LOS MÚSCULOS FLEXORES DE LOS DEDOS DE LA MANO EN ESCALADORES

EVALUATION OF HAND'S FINGERS FLEXOR MUSCLES ENDURANCE IN CLIMBERS

Núñez, V.M.¹; Ramírez, J.M.¹; Lancho, C.²; Poblador, M.S.³ y Lancho, J.L.³

¹ PhD. Departamento de Ciencias Morfológicas, Universidad de Córdoba (España) cm1nnalv@uco.es, jmramirez@uco.es

² M.D. Centro ASPACE, Donostia (España) y Departamento de Ciencias Morfológicas, Universidad de Córdoba (España) carico86@hotmail.com

³ PhD, M.D. Departamento de Ciencias Morfológicas, Universidad de Córdoba (España) cm1pofem@uco.es, cm1laalj@uco.es

Código UNESCO: 241106 Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology; 3201 Medicina del Deporte / Sports Medicine.

Clasificación del Consejo de Europa: 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology; Medicina del deporte / Sports Medicine.

Recibido 29 de diciembre de 2015 **Received** December 29, 2015

Aceptado 12 de septiembre de 2016 **Accepted** September 2016

RESUMEN

Objetivo: evaluar la resistencia de los músculos flexores de los dedos de la mano en escaladores de elite y recreativos. **Métodos:** estudio descriptivo transversal. Veinte y un escaladores fueron asignados a dos grupos de rendimiento: recreativo y elite. Realizaron un ejercicio isométrico y otro de esfuerzo intermitente en una tabla de entrenamiento multiagarre. Se midieron el tiempo de trabajo total, número de ciclos completados y frecuencia cardíaca media en cada test. **Resultados:** los escaladores de elite mantuvieron el esfuerzo en suspensión 7.65 minutos más que los recreativos ($p < .001$) y realizaron 23,14 ensayos más ($p < .001$). La fiabilidad de las mediciones fue excelente. **Conclusiones:** la fuerza de agarre de los músculos flexores de los dedos en esfuerzo continuo e intermitente contribuye al rendimiento en escalada, con diferencias significativas entre los escaladores de elite y recreativos. El test

específico creado para el estudio ha demostrado una adecuada validez discriminante.

PALABRAS CLAVE: ejercicio isométrico, resistencia física, frecuencia cardíaca.

ABSTRACT

Purpose: To evaluate hand's fingers flexor muscles grip endurance during a specific climbing test, and to find out if there were differences between elite and recreational sport climbers. **Methods:** For this cross-sectional descriptive study, twenty-one male sport climbers were assigned to two different groups, recreational or elite. The participants performed two exercises on a multi-hold training board, one requiring sustained isometric exercise and the other requiring intermittent exertion. The variables studied were total work time, number of trials completed and mean heart rate per test. **Results:** Elite climbers endured suspension for an average of 7.64 minutes being this period longer than recreational climbers ($p < .001$); thus, elite group performed 23.14 more trials than recreational group ($p < .001$). Reliability in all evaluations was excellent. **Conclusions:** Hand's fingers flexor muscles grip endurance in continuous and intermittent exercises are the muscles that have more influence in sport climbing performance. In this regard, we have found significant differences between elite and recreational climbers.

KEYWORDS: isometric exercise, physical endurance, heart rate.

INTRODUCCIÓN

En escalada, el rendimiento durante el ascenso de una ruta difícil depende de las habilidades técnicas, de la preparación psicológica, y, especialmente, de la condición física. La visualización mental de los pasos de escalada, su subsecuente ejecución, y el apoyo decisivo de las manos y los pies en la pared, son patrones comunes a todos los escaladores que se repiten continuamente durante el ascenso (Giles, Rhodes y Taunton, 2006). La caída puede producirse por la incapacidad de uno o más músculos para mantener el agarre, así como por una mala elección táctica, por una pobre ejecución técnica o por una debilidad psicológica. Es crucial, por lo tanto, entender la naturaleza y la intensidad de la fuerza de agarre durante la realización de una ruta difícil, con el fin de decidir qué habilidades necesitan ser mejoradas durante el entrenamiento.

La escalada se caracteriza por una sucesión de acciones musculares dirigidas a soportar (esfuerzo isométrico) y a propulsar verticalmente (esfuerzo isotónico), siendo el primero de ellos el que más frecuentemente se repite en cualquier tipo de ruta (Grant, Shields et al 2003; Watts, Joubert et al 2003). La resistencia supone por lo tanto un factor limitante para los escaladores (Mermier, Robergs, McMinn, Heyward, 1997; Quaine, Vigoroux y Martin, 2003; Watts, 2004). La evaluación de la fuerza, particularmente de la resistencia del flexor de

la mano y los dedos, es el objetivo más importante del cualquier estudio sobre rendimiento en escalada, desde que la musculatura del antebrazo juega un papel crucial en el mantenimiento de las posiciones estáticas durante el ascenso (Fryer, Stone et al 2015; Philippe, Wegst et al 2012). Los tests dinamométricos de la contracción isométrica son ampliamente utilizados para analizar y evaluar la fuerza del músculo flexor de la mano (Cutis y Bollen, 1993; Watts, Martin, Durtschi, 1993; Grant, Hynes, Whittaker, Aitchison, 1996; Grant, Shields et al, 2003; Quaine, Vigoroux, Martin 2003; Schöffl, Mockel et al 2006; Watts 2004; Watts, Gannon et al 1999). Sin embargo, en cuanto que la escalada consiste en repeticiones intermitentes de contracciones isométricas, así como de esfuerzos dinámicos, un test puramente isométrico puede no ser suficientemente específico cuando se evalúa el esfuerzo aplicado durante ascensos difíciles.

La escalada involucra varias expresiones de resistencia. La musculatura del antebrazo enlaza una sucesión de contracciones isométricas y de movimientos específicos dirigidos a maximizar la resistencia en el esfuerzo de agarre y la fuerza máxima de agarre (Grant, Hasler et al 2001; Mermier, Robergs, McMinn, Heyward 1997; Schöffl, Klee, Strecker, 2004; Watts, Daggett, Gallagher, Wilkins 2000; Watts y Drobish, 1998; Wilkins, Watts y Wilcox 1996). Durante una ascensión complicada, el éxito o el fracaso dependen de la optimización de ambas cualidades.

El presente estudio tiene como objetivo medir la resistencia de los músculos flexores de los dedos de la mano durante un test específico de escalada elaborado por los autores, así como determinar si existen diferencias en la resistencia entre escaladores de élite y recreativos. El hallazgo de tales diferencias validaría la capacidad discriminante de un método para evaluar la resistencia de la musculatura flexora de los dedos de la mano.

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO

Se llevó a cabo un estudio descriptivo transversal dirigido a evaluar la resistencia de los músculos flexores de los dedos de la mano en dos test específicos de escalada. A partir de los resultados obtenidos en un test de habilidad técnica, los participantes fueron clasificados en dos grupos: escaladores de élite y escaladores recreativos, con el fin de comparar experimentalmente las medidas de resistencia en ambos grupos. La resistencia de la musculatura flexora de la mano se define como el tiempo hasta el agotamiento en ambos tests. Este estudio ha sido aprobado por el Departamento de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Córdoba.

PARTICIPANTES

Participaron en el estudio 21 escaladores varones, con una edad media de 28 años (± 5.41), un peso medio de 67.49 (± 7.07) Kg, estatura media de 174.02 (± 4.64) cm, y un rendimiento en escalada comprendido entre 5.10a-5.14a (YDS). Todos los participantes habían realizado previamente un test de rendimiento consistente en tres rutas de dificultad ascendente (5.10b; 5.11c; 5.13b, (YDS)) repetidas dos veces, con 15 minutos de descanso entre dos rutas. Los resultados para el primer intento y el segundo intento fueron registrados en cada una de las rutas. Los resultados, junto con los datos complementarios (años de experiencia de escalada, número de entrenamientos semanales, primer intento vs segundo intento) fueron registrados para asignar a los sujetos a uno de los dos grupos experimentales. Estos datos se presentan en la tabla 1.

La muestra estuvo constituida por 7 participantes asignados a grupo de escaladores de élite (EE), con niveles de rendimiento entre 5.10a-5.11b (YDS) y por 14 escaladores recreativos (ER), con niveles de rendimiento entre 5.11c-5.14a (YDS), según la conversión usada por Watts, Jensen et al (2008).

	EE (n=7) M \pm DE	ER (n=14) M \pm DE	U de Mann-Whitney	p	Delta de Cliff
Edad (años)	28.6 \pm 5.9	28.1 \pm 5.4	-0.083	0.978	0.010
Estatura (cm)	176.2 \pm 4.9	172.9 \pm 4.3	-1.493	0.149	0.410
Peso (kg)	64.5 \pm 6.2	69.0 \pm 7.2	-1.120	0.287	0.310
Experiencia (años)	7.9 \pm 2.4	2.0 \pm 3.21	-3.678	<0.001	0.760
Entrenamientos semanales	3 a 5	1 a 2			
Test de primeras "in situ"	7b-8a	6a-6c			
Test ensayado "in situ"	7c-8b+	6b-7a			

Tabla 1. Edad; peso, estatura y nivel de rendimiento de escaladores de élite (EE) y recreativos (ER) (M: media; DE: desviación estándar). Pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y tamaño del efecto Delta de Cliff; p: nivel de significación crítico.

PROCEDIMIENTOS

La resistencia específica del agarre fue evaluada mediante una tabla de entrenamiento multiagarre diseñada por el equipo de investigadores en el Centro Andaluz de Entrenamiento de Escalada (España). Se crearon dos tests (test 1 y test 2) para medir la resistencia continua e intermitente, respectivamente.

La tabla de entrenamiento multiagarre es una estructura sólida de madera en la cual se han fijado presas de resina en forma de repisa de varios tamaños y agarres (figura 1). En concreto, se fijaron 5 repisas simétricamente alineadas con un área de contacto decreciente. Cada repisa sobresale lo suficiente para asegurar que durante la suspensión la mano no está en contacto con otros puntos de apoyo.

Figura 1. Tabla de entrenamiento multiagarre (vista lateral).



Las presas son totalmente horizontales y redondeadas en toda su longitud, siendo el arco proporcional al espesor de la presa con el fin de asegurar el óptimo apoyo de todos los dedos, simulando dos tipos de agarre frecuentemente utilizados en los estudios de escalada: inclinado (slope grip) y regleta (crimp grip).

El tamaño exacto del agarre fue calculado en términos del radio de la curvatura de agarre, lo que define la dificultad de la presa. Los agarres con mayor curvatura reproducen la presa inclinada, mientras que los agarres en regleta se caracterizan por una menor curvatura. Cada presa es un 20% más pequeña que la precedente (en orden descendente). La pendiente vertical en el punto final de la presa 5 es de 5 mm, siendo el arco de agarre más abierto, dando lugar a una menor flexión de las falanges distales (figura 2)

Test 1

El test de resistencia de agarre continuo isométrico (test 1) consistió en la medición del tiempo durante el cual cada escalador se sostuvo en la repisa número 1 de la tabla de entrenamiento, cuya superficie es la mayor. Se utilizó un cronógrafo para realizar dicho registro. Se permitió a cada escalador realizar una sesión de calentamiento previo consistente en 5 sets de tres series de 5 segundos en suspensión en dicha repisa. Se permitió usar polvo de magnesio para prevenir el sudor y fortalecer la adherencia a la repisa. También se autorizó el movimiento lateral y el agarre con una sola mano. El test finalizó cuando ambas manos dejaron de estar en contacto con la repisa. El test se repitió tras un período de descanso de 30 minutos.

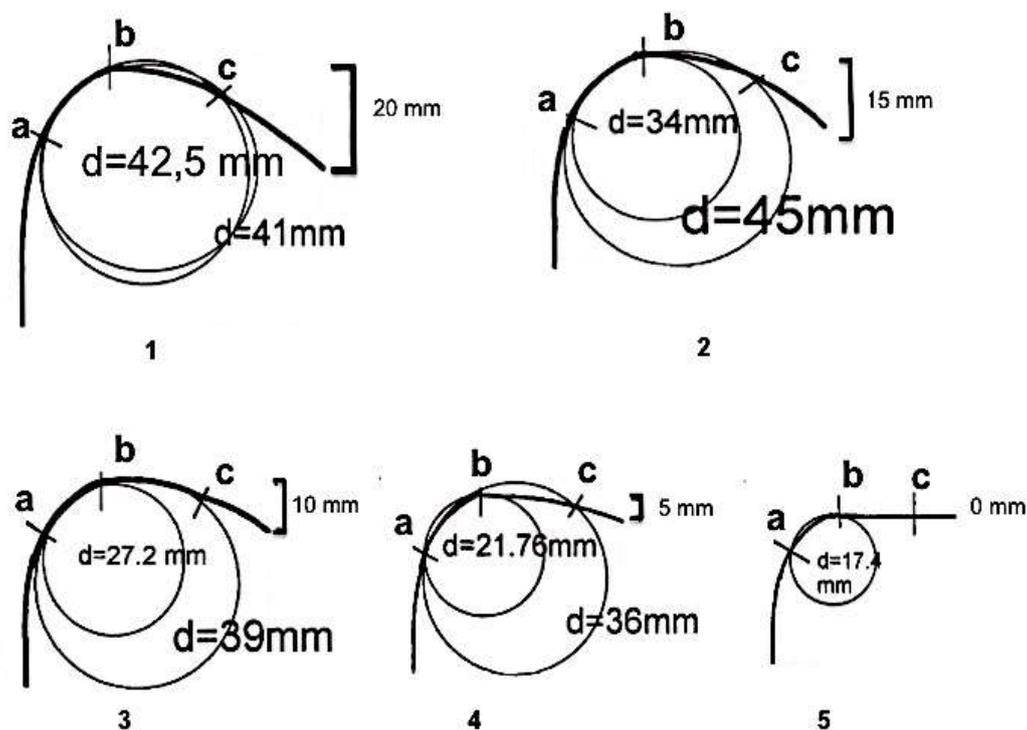


Figura 2. Diseño técnico de la superficie de contacto. Dimensiones y agarres de las presas de la tabla de entrenamiento multiagare; presas 1, 2, 3, 4 y 5. a: apoyo articulación proximal de los dedos; b: apoyo articulación media de los dedos; c: apoyo articulación distal de los dedos.

Test 2

Para el test de resistencia isométrica intermitente, los escaladores realizaron contracciones isométricas cortas con un período de recuperación incompleta, pasando de aquellas repisas con una mayor superficie de agarre (presas 1 y 2) a aquellas otras con un área de agarre más pequeña (repisas 3, 4 y 5). Se utilizó un sistema de cronometraje bilateral: 2 asistentes registraron el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso, respectivamente. La frecuencia cardíaca se registró con un pulsómetro digital Polar s610®).

El protocolo de esfuerzo progresivo utilizado implicó el recuento del número de repeticiones completadas durante los períodos de menor a mayor intensidad, usando las presas 1, 2 y 3 consecutivamente (Tabla 2). En cada período, el ratio esfuerzo/descanso fue de 3:1; la recuperación fue incompleta, simulando así las condiciones de la escalada real.

Para el calentamiento, los escaladores completaron los ejercicios correspondientes al período 1 (ver Tabla 2), con un descanso posterior de 5 minutos antes de comenzar la prueba.

Los escaladores fueron completando períodos consecutivamente, y no todos ellos llegaron a completar la prueba consistente en 12 períodos. Cada repisa, seguido por una pausa tras cada suspensión de 5 segundos. Por ejemplo, en el período 1 las 6 repeticiones se realizaron en la repisa 1; en el período 2, se

realizaron 5 repeticiones en la repisa 1 y la sexta en la repisa 2; y así sucesivamente (Tabla 2).

La prueba finalizó cuando los escaladores se sintieron tan fatigados como para dejarse caer de la tabla. El tiempo fue registrado junto con el número máximo de repeticiones realizadas y la frecuencia cardíaca máxima alcanzada. La prueba se repitió tras dos horas de descanso.

Pd	Pr	R	Ra	T R (s)	D (s)	T P (s)	D Pr (s)	T Pd (s)	P Pd (s)	Tt (s)
1	R1	6	6	15	5	90	30	90	30	120
	R2	*		*	*	*	*			
	R3	*		*	*	*	*			
2	R1	5	11	15	5	75	25	90	30	240
	R2	1	1	15	5	15	5			
	R3	*		*	*	*	*			
3	R1	4	15	15	5	60	20	90	30	360
	R2	2	3	15	5	30	10			
	R3	*		*	*	*	*			
4	R1	3	18	15	5	45	15	90	30	480
	R2	3	6	15	5	45	15			
	R3	*		*	*	*	*			
5	R1	2	20	15	5	30	10	90	30	600
	R2	4	10	15	5	60	20			
	R3	*		*	*	*	*			
6	R1	1	21	15	5	15	5	90	30	720
	R2	5	15	15	5	75	25			
	R3	*		*	*	*	*			
7	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	840
	R2	5	20	15	5	75	25			
	R3	1	1	15	5	15	5			
8	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	960
	R2	4	24	15	5	60	20			
	R3	2	3	15	5	30	10			
9	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	1080
	R2	3	27	15	5	45	15			
	R3	3	6	15	5	45	15			
10	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	1200
	R2	2	29	15	5	30	10			
	R3	4	10	15	5	60	20			
11	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	1320
	R2	1	30	15	5	15	5			
	R3	5	15	15	5	75	25			
12	R1	*	21	*	*	*	*	90	30	1440
	R2	*	30	*	*	*	*			
	R3	6	21	15	5	90	30			

Tabla 2. Protocolo de esfuerzo intermitente progresivo (test 2). Pd: Período; Pr: presa; R1, R2 y R3:: presa de las repisas 1, 2 y 3; R: repeticiones; Ra: repeticiones acumuladas; Tr(s): tiempo de la repeticiones; D(s): tiempo de descanso; TP(s): tiempo en la presa; DPr(s): Descanso en la presa; TPd(s): trabajo por período; PPd(s) Pausa por período; Tt(s): Tiempo total.

MEDIDAS

En el test de resistencia isométrica continua se registró el tiempo (segundos) durante el que cada escalador se mantuvo en la presa número 1. Este test se realizó dos veces consecutivas con un intervalo de descanso de 30 minutos entre ambas.

Para el test de resistencia isométrica intermitente se registraron las siguientes medidas en las dos repeticiones de la prueba, con un período de descanso de 2 horas entre ambas:

a) Período: el mayor período alcanzado en el protocolo. b)Tiempo total (minutos): tiempo utilizado en la prueba.

Repeticiones totales: número de repeticiones completadas durante los períodos de menor a mayor intensidad utilizando las presas 1, 2 y 3 consecutivamente.

Repeticiones (presa 1, presa 2, presa 3): número de repeticiones completas, respectivamente, en cada presa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se calcularon las medias y desviaciones estándares para describir las variables. Se aplicaron tests no paramétricos (test de Mann-Whitney para dos muestras independientes) para comparar los escaladores de élite y los recreativos. Para evaluar el tamaño del efecto se calculó el estadístico Delta de Cliff. La fiabilidad test-retest se analizó en todas las medidas a través del coeficiente de correlación intraclase con un intervalo de confianza del 95% (CCI; IC95%). Se consideraron diferencias significativas con $p \leq 0.05$. Los datos fueron analizados con el software SPSS®, v. 21.0.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los tests de resistencia continua (test 1) e intermitente (test 2) revelan que los EC muestran una resistencia en agarre superior a los ER en ambas pruebas (Tabla 3).

	EE (n = 7) M±De	ER (n = 14) M±De	Z de Mann-Whitney	p	Delta de Cliff
Test 1 (Esfuerzo isométrico)					
Test Isométrico (s)	182.7±23.9	126.1±37.5	-2.632	0.007	0.61
Test 2 (Esfuerzo intermitente)					
Período	8.8±0.8	5.0±1.0	-3.671	<0.001	1.00
Tiempo total (min)	17.6±1.5	9.9±1.9	-3.671	<0.001	1.00
Repeticiones totales	52.7±4.5	29.6±6.1	-3.670	<0.001	1.00
Repeticiones presa 1	21.0±0.0	19.6±1.7	-2.402	0.038	0.57
Repeticiones presa 2	26.7±2.1	9.9±4.5	-3.676	<0.001	1.00
Repeticiones presa 3	5.0±2.8	-	-	-	-
FC máx (lat/min)	136.7±6.5	134.1±7.1	-0.638	0.535	0.17
FC (media)	90.7±5.3	91.8±3.9	-0.262	0.799	0.07

Tabla 3. Rendimiento isométrico e intermitente de los escaladores recreativos y de élite (M: media; DE: desviación estándar). Prueba no paramétrica de Mann-Whitney y tamaño del efecto Delta de Cliff; p: nivel de significación crítico.

Los datos del test 1 mostraron que el tiempo de suspensión continua medio del grupo EC (182.67±23.9 s) fue 56.5 segundos mayor que el de ER (126.08±37.5 s) (gráfico 1), siendo dicha diferencia estadísticamente significativa (p = 0.007). El estadístico Delta de Cliff indica que existe un tamaño del efecto grande. El CCI muestra que la fiabilidad test-retest es excelente en este tipo de prueba (CCI = 0.96; IC95%: 0.90-0.98).

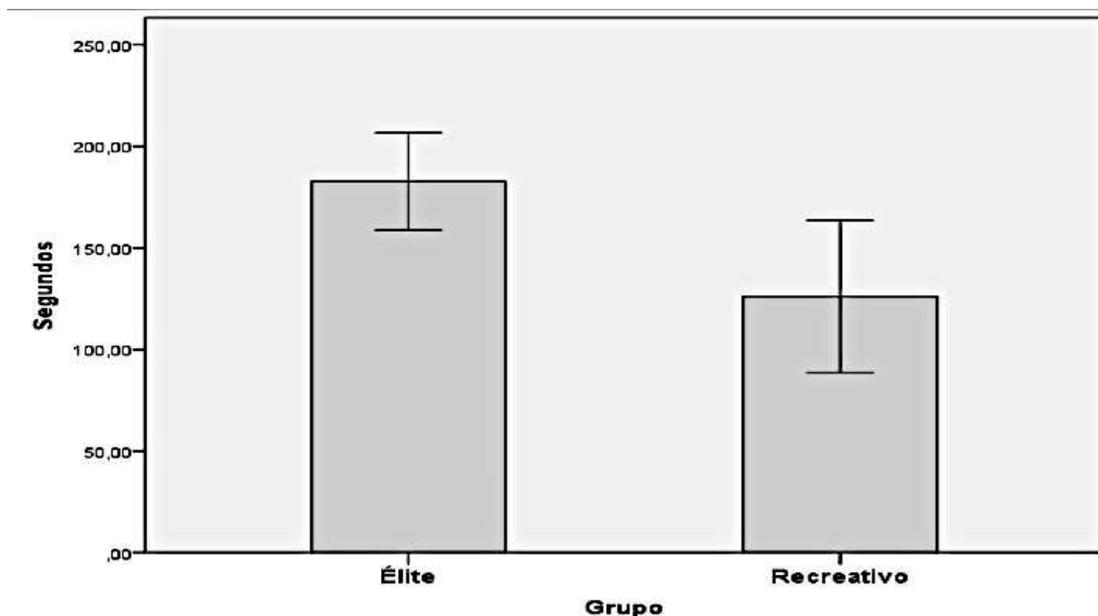


Gráfico 1. Rendimiento (tiempo total en segundos) de escaladores de élite y recreativos en el test isométrico (barras de error: ± 1 desviación estándar).

En el test de resistencia intermitente (test 2), los escaladores de élite han alcanzado un período medio de 8.8, en comparación con el período 5 que en promedio han alcanzado los escaladores del grupo recreativo. En relación con la

fiabilidad, la prueba muestral una consistencia excelente entre el test y el retest (CCI = 0.91; IC95%: 0.80-0.96). Además, los escaladores de élite estuvieron un promedio de 7 minutos más que los recreativos en suspensión (17.57 ± 1.50 min vs 9.93 ± 1.9 min, respectivamente, (gráfico 2), y realizaron 23.14 repeticiones más (52.71 ± 4.50 vs 29.57 ± 6.12 respectivamente). El CCI muestra una elevada fiabilidad para el tiempo total de suspensión (CCI = 0.98;

IC95%: 0.94-0.99), así como para el número total de repeticiones (CCI = 0.99; IC95%: 0.97-1.00). En las presas 1, 2 y 3 los escaladores de élite fueron capaces de llevar a cabo un mayor número de repeticiones que los recreativos (ver tabla 3). El CCI muestra una elevada consistencia interna (repisa 1: CCI = 0.85, IC95%: 0.66-0.93; repisa 2: CCI = 0.99, IC95%: 0.96-0.99; repisa 3: CCI = 0.95; IC95%: 0.73-0.99). Las diferencias fueron altamente significativas ($p < 0.001$), gráfico

En cambio, no hubo diferencias significativas entre los grupos en la frecuencia cardíaca máxima ($p = 0.535$). Los escaladores de élite mostraron una frecuencia cardíaca máxima de 136.71 ± 6.5 latidos por minuto, frente a los 134.07 ± 7.1 de los escaladores recreativos.

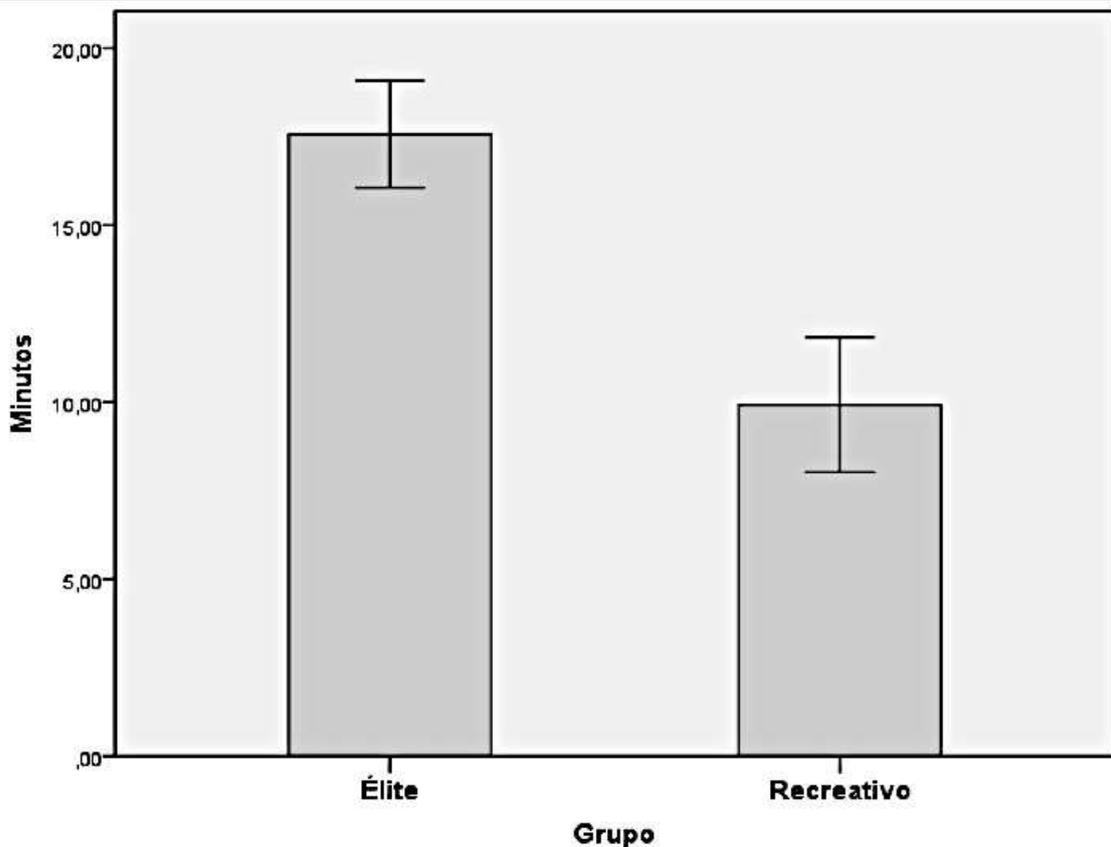


Gráfico 2. Rendimiento (tiempo total en segundos) de escaladores de élite y recreativos en el test intermitente (barras de error: ± 1 desviación estándar).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos apuntan a la existencia de diferencias entre los escaladores de élite y recreativos, lo que podría influir en el rendimiento en escalada. Asimismo, se confirma que la tabla de entrenamiento multiagarre es un método adecuado y fiable para evaluar el rendimiento en escaladores.

Respecto a la fiabilidad de la tabla de entrenamiento, estos resultados muestran que se trata de un método consistente para evaluar la resistencia en escaladores de élite y recreativos. Otros estudios han evaluado la fiabilidad para pruebas de potencia (Laffaye, Collin, Levernier, Padulo, 2014; Draper, Dickson et al 2011), pero, hasta donde sabemos, este estudio es pionero en la evaluación de la resistencia.

En términos cinemáticos, la escalada consiste fundamentalmente en empujar y tirar: las piernas empujan y los brazos tiran (Booth, Marino, Hill, Gwinn 1999). El uso excesivo de la fuerza de empuje de los brazos conlleva una disminución de la eficiencia debido a que los músculos más pequeños de los brazos se fatigan más rápidamente que los músculos más grandes de las piernas, lo que conduce a una disminución del rendimiento en escalada y a un incremento del estrés fisiológico (Janot, Steffen, Porcari, Maher 2000).

Durante la escalada, la fuerza de agarre de los dedos es un factor decisivo (Quaine y Vigouroux, Martin 2003; Vigouroux, Quaine, Labarre-Villa, Moutet 2006). En ocasiones, es necesario aplicar una elevada fuerza de forma sostenida para asegurar el mantenimiento de una posición estática en la pared. En otros casos, las acciones de fuerza de apoyo o suspensión se realizan intermitentemente.

Los resultados obtenidos en los tests 1 y 2 apuntan a diferentes grados de adaptación en escaladores de élite y recreativos durante ambos tipos de resistencia. Esto confirma la importancia de la musculatura flexora del brazo durante una ascensión difícil. También confirma el valor de las pruebas realizadas en este estudio como medidas específicas del rendimiento en escalada.

Los escaladores de élite alcanzaron un mayor rendimiento en ambos tests que los recreativos. Estos hallazgos, similares a los obtenidos por otros autores (Green y Stannard 2010; Mermier, Janot, Parker, Swan 2000; Quaine, Vigouroux, Martin 2003), sugieren que conforme progresa el ascenso, los escaladores inexpertos llegan antes a la fatiga y son menos capaces de mantener la posición de apoyo o suspensión. Los escaladores de élite tienen un mayor grado de adaptación, debido a la mayor capacidad para realizar un esfuerzo isométrico de los músculos del antebrazo (Schöffl, Mockel et al, 2006; Sheel 2004).

El agotamiento físico se caracteriza en escalada por una fatiga del antebrazo, cambios en la presión arterial, aumento de la frecuencia cardíaca y de los niveles de lactato en sangre (Bertuzzi, Gagliardi, Franchini, Kiss 2001), especialmente en aquellas rutas de mayor dificultad (Sheel, 2004).

La respuesta adaptativa al ejercicio isométrico se debe en parte al incremento del flujo de sangre y del área vascular, así como a las adaptaciones metabólicas de la musculatura involucrada (Fryer, Stoner et al 2015; O'Leary, Augustyniak, Ansorge, Collins 1999), lo que lleva a mejorar la capacidad vasodilatadora y al incremento en el suministro de nutrientes y de la eliminación de los residuos metabólicos en los períodos de descanso. A la postre, esto fortalece la capacidad del escalador para realizar contracciones repetidas y sostenidas (Ferguson y Brown 1997).

La tasa cardíaca también cambia durante una ruta difícil. Los valores obtenidos en el test 2 sugieren que la demanda cardíaca no fue muy elevada, por lo que no se observaron diferencias significativas entre los escaladores de élite y recreativos. Sin embargo, otros autores han mostrado un notable incremento en la tasa cardíaca durante la escalada, observando además que dicho parámetro se incrementa con la dificultad de la ruta (Janot, Steffen, Porcari, Maher, 2000; Schöffl, Mockel et al 2006; Sheel, 2004; Sheel, Seddon et al 2003; Watts y Drobish, 1998). Es necesaria más investigación para estudiar los cambios en la tasa cardíaca durante la escalada, así como las posibles diferencias entre escaladores expertos y ocasionales, ya que en este estudio no se pudo observar dicha diferencia.

Schöffl et al (2006) observaron una correlación positiva entre el incremento de la frecuencia cardíaca y la dificultad de la ruta. El incremento de la actividad cardíaca ha sido atribuida a la contracción isométrica repetida de los músculos flexores de los dedos (Sheel, 2004), lo que provoca no solo un incremento de la presión arterial (Ferguson y Brown, 1997), sino también un aumento desproporcionado de la frecuencia cardíaca en relación al VO_2 (Billat, Palleja et al 1995; Mermier et al 2000; Schöffl et al 2006; Sheel, 2004; Watts y Drobish, 1998).

En el test 2, los escaladores se ejercitaron hasta el agotamiento, causado por el número de contracciones y por la técnica de agarre. El agarre en regleta (crimp grip) requiere una fuerza de agarre mayor que el agarre en pendiente (slope grip).

Por lo tanto, es esencial esclarecer el motivo por el que la frecuencia cardíaca no se incrementó con el aumento de la actividad flexora en este estudio. Una posible explicación está vinculada con los requisitos técnicos de escalada.

El mantenimiento de la posición se consigue fundamentalmente gracias a los pies. Sin embargo, los escaladores expertos también hacen un uso táctico de las manos para buscar el apoyo más adecuado, usando los pies

fundamentalmente en movimientos que implican pasos estratégicos precisos (Bourdin, Teasdale, Nougier, 1998).

Los escaladores más experimentados gastan menos energía que los escaladores inexpertos, incluso en las rutas más complicadas. La habilidad y la técnica juegan un papel fundamental en el gasto energético, a la vez que influye en la respuesta cardíaca al ejercicio (Janot et al 2000).

Los aspectos psicológicos también deberían ser tenidos en cuenta para explicar el rendimiento en rutas difíciles. Una elevada frecuencia cardíaca puede estar más relacionada con los factores psicológicos, como la ansiedad, que con el grado de agotamiento fisiológico (Sanchez, Boschker, Llewellyn 2010). Janot et al (2000) hallaron que la frecuencia cardíaca es más elevada en escaladores principiantes que en experimentados, tanto antes de emprender la ruta, como durante el acto de escalada. En los tests llevados a cabo en este estudio, los escaladores han percibido un nivel de riesgo limitado, y por lo tanto, el reto psicológico no ha sido un factor clave.

A pesar de que la frecuencia cardíaca es elevada durante la escalada, aparentemente, el mayor incremento en los escaladores experimentados se produce durante las primeras etapas de la actividad (Schöffl et al 2006); por el contrario, el incremento en la tasa cardíaca en la última etapa de la escalada es superior en los escaladores recreativos que en los de élite (Ferguson y Brown, 1997).

El control psicológico es un componente importante en escalada. Los cambios en la frecuencia cardíaca pueden suceder en situaciones de extrema dificultad, así como en los momentos de agotamiento físico, debido al grado de estrés psicológico, que varía en función de la habilidad técnica y la experiencia del escalador para superar dichas situaciones.

Para finalizar, la capacidad para realizar agarres repetidos en diferentes posiciones y usando diferentes presas parece determinar el rendimiento en escalada. Esta capacidad, junto con una elevada capacidad técnica y una adecuada preparación física y psicológica, permite a los escaladores de élite escalar durante más tiempo que los escaladores recreativos, así como alcanzar un mayor rendimiento.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio son de interés para el entrenamiento de la resistencia de los escaladores por dos motivos:

- a) Primero, estos resultados refuerzan la noción que la musculatura flexora de los dedos de la mano es un elemento clave para alcanzar un mayor rendimiento en escalada. Los preparadores deben tener este

aspecto en consideración a la hora de programar el entrenamiento de resistencia.

- b) Segundo, se ha desarrollado un método fiable y consistente para evaluar la resistencia de la musculatura flexora de los dedos de la mano, que incluye una tabla de entrenamiento multiagarre que ha mostrado una alta capacidad discriminante entre los escaladores recreativos y de élite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertuzzi RCM, Gagliardi JFL, Franchini E, Kiss, MA. Anthropometric characteristics and motor performance of Brazilian indoor rock climbers at the advanced and intermediate levels. *Brazilian Journal of Science and Movement*. (2001); 9 (1): 7-12. DOI: 10.18511/0103-1716.

Billat V, Palleja P, Charlaix T, Rizzardo P, Janel N. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *J Sports Med Phys Fitness*. (1995); 35 (1): 20-4. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07623-X.

Booth J, Marino F, Hill, C, Gwinn T. Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *B J Sports Med*. (1999); 33: 14-8. DOI: 10.1136/bjism.33.1.14.

Bourdin C, Teasdale, N, Nougier V. Attentional demands and the organization of reaching movements in rock climbing. *Res Q Exerc Sport*. (1998); 69 (4): 406-10. DOI: 10.1080/02701367.1998.10607715

Cutis A, Bollen SR Grip strength and endurance in rock climbers. *Proc Inst Mech Eng H*. (1993); 207 (2): 87-2. DOI: 10.1243/PIME_PROC_1993_207_275_02

Draper N, Dickson T, Blackwell G, Priestley S, Fryer S, Marshall, H, Marshall, Shearman J, Hamlin M, Winter D, Ellis G. Sport-specific power assessment for rock climbing. *J Sports Med Phys Fitness*. (2011); 51(3): 417-25.

Ferguson RA, Brown MD. Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Eur J Appl Physiol*. (1997); 76 (2): 174-80. DOI: 10.1007/s004210050231

Fryer S, Stoner L, Lucero A, Witter T, Scarrott C, Dickson T, Cole M, Draper N. Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *Int J Sports Med*. (2015); 36 (2): 137-42. DOI: 10.1055/s-0034-1385887

Fryer S, Stoner L, Scarrott C, Lucero A, Witter T, Love, R, Dickson T, Draper N. Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *J Sports Sci*. (2015); 33 (5): 518-26. DOI: 10.1080/02640414.2014.949828

Giles LV, Rhodes EC, Taunton JE. The physiology of rock climbing. *Sports Med*. (2006); 36 (6): 529-45. DOI: 10.2165/00007256-200636060-00006

Grant S, Hasler T, Davies C, Aitchison TC, Wilson J, Whittaker A. A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *J Sports Sci*. (2001); 19 (7): 499-05. DOI: 10.2165/00007256-200636060-00006

Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison TC. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci.* (1996); 14 (4): 301-09. DOI: 10.1080/02640419608727715

Grant S, Shields C, Fitzpatrick V, Loh WM, Whittaker A, Watt I, Kay JW. Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *J Sports Sci.* (2003); 21 (8): 621-30. DOI: 10.1080/0264041031000101953

Green JG, Stannard SR. Active recovery strategies and handgrip performance in trained vs. untrained climbers. *J Strength Con Res.* (2010); 24 (2): 494-01. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181c06af3

Janot JM, Steffen JP, Porcari JP, Maher MA. Heart rate responses and perceived exertion for beginner and recreational sport climbers during indoor climbing. *J Exercis Physiol Online.* (2000); 3 (1).

Laffaye G, Collin JM, Levernier G, Padulo, J. Upper-limb Power Test in Rock-climbing. *Int J of Sports Med.* (2014); 35(8), 670-75. DOI: 10.1055/s-0033-1358473

Mermier CM, Janot JM., Parker DL, Swan JG. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. (2000); *B J Sports Med.* 34 (5): 359-65. DOI: 10-1136/bjism.34.5.359

Mermier CM, Robergs RA, McMinn SM, Heyward, VH. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *B J Sports Med.* (1997); 31 (3), 224-228. DOI: 10.1136/bjism.31.3.224

O'Leary DS, Augustyniak RA, Ansorge EJ, y Collins HL. Muscle metaboreflex improves O₂ delivery to ischemic active skeletal muscle. *Am J Physiol.* (1999); 276 (4), 1399-403. DOI: 10.1152/ajpheart.1999.276.4.H1399

Philippe M, Wegst D, Müller, T, Raschner, C, Burtscher M. Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *Eur J of Appl Physiol.* (2012); 112 (8): 2839-847. DOI: 10.1007/s00421-011-2260-1

Quaine, F, Vigouroux L, Martin, L. Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Int J Sports Med.* (2003); 24 (6), 424-27. DOI: 10.1055/s-2003-41174

Sanchez X, Boschker, MS, Llewellyn, DJ. Pre-performance psychological states and performance in an elite climbing competition. *Scand J Med and Sci Sports.* (2010); 20 (2): 356-63. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2009.00904.x

Schöffl VR, Klee S, Strecker, W. Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. *B J Sports Med.* (2004); 38 (4): 422-25. DOI: 10.1136/bjism.2002.003996

Schöffl, VR, Möckel, F, Köstermeyer G., Roloff I, Küpper T. Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *Int J Sports Med.* (2006); 27 (3): 205-11. DOI: 10.1055/s-2005-837622

Sheel, AW. Physiology of sport rock climbing. *B J Sports Med.* (2004); 38 (3): 355-59. DOI: 10.1136/bjism.2003.008169

Sheel AW, Seddon N, Knight A, McKenzie DC, Warburton DE. Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal

cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc.* (2003); 35 (7): 1225-231. DOI: 10.1249/01.MSS.0000074443.17247.05

Vigouroux L, Quaine F, Labarre-Vila A, Moutet F. Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *J Biomech.* (2006); 39 (14): 2583-592. DOI: 10.1016/j.biomech.2005.08.27

Watts PB Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol.* (2004); 91 (4): 361-72. DOI: 10.1007/s00421-003-1036-7

Watts PB, Daggett M, Gallagher P, Wilkins B. Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *Int J Sports Med.* (2000); 21 (3): 185-90. DOI: 10.1055/s-2000-302

Watts PB, Drobish KM. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sports Exerc.* (1998); 30 (7): 1118-122. DOI: 10.1097/00005768-199807000-00015

Watts PB, Jensen RL, Gannong E, Kobeinia R, Maynard J, Sansom J. Forearm EMG during rock climbing differs from EMG during handgrip dynamometry. *Int J Exerc Sci.* (2008); 1(1): 4-13. <https://digitalcommons.wku.edu/ijes/vol1/Iss1/2>

Watts PB, Joubert LM, Lish, AK, Mast JD, Wilkins B. Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *B J Sports Med.* (2003); 37 (5): 420-24. DOI: 10.1136/bjism.37.5.420

Watts PB, Martin DT, Durtschi S. Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci.* (1993); 11 (2): 113-17. DOI: 10.1080/02640419308729974

Wilkins B, Watts PB, Wilcox A. Metabolic responses during rock climbing in expert sport rock climbers (abstract). *Med Sci Sports Exerc.* (1996); 28 (5), 159.

Número de citas totales / Total referentes: 34 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own referentes: 0 (0%)