

España-Romero, V.; Artero, E.G.; Ortega, F.B.; Jiménez-Pavón, D.; Gutiérrez, A.; Castillo, M.J. y Ruiz, J.R. (2009). Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 9 (35) pp. 264-298 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artescalada129.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artescalada129.htm)

REVISIÓN

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA

PHYSIOLOGY OF SPORT CLIMBING

España-Romero, V.¹; Artero, E.G.¹; Ortega, F.B.¹; Jiménez-Pavón, D.²; Gutiérrez, A.¹; Castillo, M.J.¹ y Ruiz, J.R.^{1,3}

¹ Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de Granada. España. E-mail: vanespa@ugr.es

² Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Politécnica de Madrid. España. artero@ugr.es, ortegaf@ugr.es, davidjimenez@ugr.es, gutierre@ugr.es, mccgarzon@ugr.es

³ Unit for Preventive, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge, Sweden, ruizj@ugr.es

Clasificación UNESCO: 2411

Recibido 27 de enero de 2009

Aceptado 28 de mayo de 2009

RESUMEN

El presente trabajo revisa la literatura científica existente sobre la escalada deportiva con el objetivo de analizar en profundidad las características antropométricas y fisiológicas del escalador deportivo, así como las exigencias fisiológicas en el desarrollo de la actividad. La literatura revisada sugiere que los escaladores se caracterizan por tener un bajo peso corporal y un bajo porcentaje de masa grasa. También una alta fuerza de prensión manual y una alta fuerza resistencia. Algunos autores han considerado el consumo máximo de oxígeno como un determinante del rendimiento en escalada, sin embargo los resultados son contradictorios. Otros parámetros fisiológicos son analizados durante y después de la escalada. Se han detectado importantes diferencias metodológicas entre los estudios analizados, sugiriendo la necesidad de estandarizar los protocolos de evaluación en este deporte. La presente revisión contribuye de manera significativa a un mayor conocimiento de las características de este deporte y de quienes las practican, identificando diversas áreas de interés que requieren futuro estudio.

PALABRAS CLAVES: Escaladores deportivos, composición corporal, características cineantropométricas, fuerza muscular, resistencia muscular, flexibilidad, capacidad aeróbica, frecuencia cardiaca, lactato en sangre.

ABSTRACT

The purpose of the present paper is to review the existing research on anthropometric and physiological characteristics of sport climbers as well as the physiological responses during the sport climbing. The literature suggests that the sport climbers are characterised by both a low percentage body fat and body mass. A high handgrip strength and high endurance strength also are specific characteristics of sport climbers. In contrast, it is not clear whether maximal oxygen consumption is a determinant of sport climbing performance. Several physiological parameters have been analysed during and after sport climbing such as heart rate, blood lactate and maximal strength. We have observed many differences in the assessment methodology between the studies, suggesting that a standardization of the evaluation protocols is needed in this sport discipline. This review provides a wide knowledge of the characteristics of this sport, as well as identifies particular areas that require further attention.

KEY WORDS: Sport climbing, body composition, cineanthropometric characteristics, muscular strength, endurance strength, flexibility, aerobic capacity, heart rate, blood lactate.

INTRODUCCIÓN

La escalada deportiva nace a mediados de los años 80 [1]. La dificultad de las rutas de escalada ha aumentado de forma considerable en los últimos años, debido en gran parte al uso de seguros fijados de forma permanente en la roca. Como consecuencia de ello, los deportistas pueden concentrarse principalmente en las dificultades físicas y técnicas que exige una ruta de escalada determinada. De este modo, los aspectos psicológicos, como por ejemplo el miedo a la caída, han pasado a ser menos determinantes del rendimiento en esta modalidad deportiva [2, 3].

En la misma línea, la aparición del rocódromo ha ayudado a que el escalador pueda entrenar con mayor asiduidad y, por tanto, mejorar su forma física y rendimiento. El rocódromo es una estructura urbana con presas o agarres que trata de simular la roca (Figura 1) [4]. Esta estructura está diseñada principalmente para deportistas que por falta de tiempo u otros motivos como el frío o la lluvia, no pueden realizar esta actividad en su ámbito natural, la montaña. Con los años, su popularidad ha ido en aumento, y gracias al desarrollo de la tecnología, hoy día los rocódromos permiten la práctica de la escalada desde un nivel iniciación hasta competiciones internacionales. La

primera competición internacional realizada en un rocódromo data del año 1989 [1, 3].



Figura 1. Escalada en rocódromo

Los escaladores han desarrollado varios sistemas subjetivos para clasificar el nivel de dificultad y peligro de una ruta de escalada. Entre los factores que determinan el nivel específico de una ruta de escalada, se incluyen la fuerza y resistencia requerida para completar la ruta, la protección o cantidad de seguros presentes en la ruta, el grado de inclinación de la pared, el tamaño de los agarres y la dificultad técnica de los movimientos.

Los sistemas de clasificación varían entre países, pero los más usados son el sistema americano (*Yosemite Decimal System*, YDS) y la escala francesa (sistema europeo) (Tabla 1) [1, 3]. El sistema YDS usa números decimales para indicar la dificultad total de la ruta. Actualmente se extiende desde 5.0 (muy fácil) hasta 5.15 (muy difícil). Además, las letras a, b, c y d, son usadas desde el nivel 5.10 hacia arriba (Tabla 1). De este modo, una ruta de 5.11b debería ser más difícil que una ruta de 5.11a para la mayoría de los escaladores. La escala francesa usa números enteros desde 3 (muy fácil) hasta 9 (muy difícil), con las letras a, a+, b, b+ y c, c+, desde el 6. De este modo, una ruta clasificada como 6b+ debería ser más difícil que una ruta clasificada como 6b, y esta a su vez más difícil que otra clasificada como 6a+. Actualmente el nivel más difícil confirmado en el mundo es 5.15b/9b.

El presente trabajo revisa la literatura científica existente sobre esta modalidad deportiva con el objetivo de analizar en profundidad las características antropométricas y fisiológicas del escalador deportivo, así como las exigencias fisiológicas en el desarrollo de la actividad.

Tabla 1. Sistemas de clasificación de las rutas de escalada.

Escala decimal de Yosemite	Escala francesa
5,1	
5,2	
5,3	
5,4	3
5,5	3+
5,6	4
5,7	4+
5,8	5
5,9	5+
5,10a	6a
5,10b	6a+
5,10c	6b
5,10d	6b+
5,11a	6c
5,11b	6c+
5,11c	7a
5,11d	7a+
5,12a	7b
5,12b	7b+
5,12c	7c
5,12d	7c+
5,13a	8a
5,13b	8a+
5,13c	8b
5,13d	8b+
5,14a	8c
5,14b	8c+
5,14c	9a
5,14d	9a+
5,15a	9b

CARACTERÍSTICAS DEL ESCALADOR DEPORTIVO

- Composición corporal

El peso corporal y el porcentaje de grasa corporal (%GC) han sido las variables más estudiadas en relación a la escalada deportiva. En la tabla 2 se presentan las características de composición corporal del escalador mostradas en diferentes trabajos de investigación.

Tabla 2. Características antropométricas en escaladores.

Estudio	Sujetos	Edad (años)	Nivel ^(a)	Talla (cm)	Peso (kg)	Grasa corporal (%)	Ecuaciones/método
Watts y col. [2]	21 H (semifinalistas)	27	8b	178,0 ± 6,5	66,6 ± 5,5	4,7 ± 1,3	Jackson & Pollock ¹
	7 H (finalistas)	24	8c	179,0 ± 5,2	62,4 ± 4,5	4,8 ± 2,3	
	18 M (semifinalistas)	28	7c	165,0 ± 4,0	51,5 ± 5,1	10,7 ± 1,7	
	6 M (finalistas)	27	8a	162,0 ± 4,6	46,8 ± 4,9	9,6 ± 1,9	
Billat y col. [28]	4 H	22		180,0 ± 9,9	71,0 ± 9,0		
Grant y col. [6]	10 H (élite)	28	> 6a	178,9 ± 8,5	74,5 ± 9,6	14,0 ± 3,7	Durnin et al. ²
	10 H (principiantes)	32	< 6a	179,4 ± 7,9	72,9 ± 10,3	15,3 ± 3,0	
Watts y col. [15]	11 H	29	7a - 8b	175,6 ± 8,9	65,9 ± 8,6	5,4 ± 1,5	Jackson & Pollock ¹
Mermier y col. [24]	9 H	27		175,5 ± 5,6	66,3 ± 6,1	6,8 ± 2,6	Pesaje hidrostático
	5 M	32		164,7 ± 5,6	54,5 ± 3,9	14,6 ± 2,3	
Booth y col. [4]	6 H	25	6b - 7a	175,7 ± 3,3	62,6 ± 3,3		
Mermier y col. [12]	24 H	30	6b	177,4 ± 8,8	72,8 ± 11,6	9,8 ± 3,5	Jackson & Pollock ¹
	20 M	32	5	166,4 ± 5,7	60,1 ± 5,9	20,7 ± 4,9	
Watts y col. [14]	7 H	31	8a+	176,8 ± 7,3	68,6 ± 6,9	5,1 ± 7,9	Jackson & Pollock ¹
	8 H	31	8b	173,0 ± 5,6	65,5 ± 5,4	5,4 ± 2,1	
Grant y col. [5]	10 M (élite)	31	> 6a	166,0 ± 0,07	59,5 ± 7,4	24,8 ± 3,7	Durnin et al. ²
	10 M (principiantes)	24	< 6a	164,0 ± 0,04	59,9 ± 5,7	26,0 ± 3,6	
Sheel y col. [20]	6 H, 3 M	18	7b - 9a	168,5 ± 7,2	62,2 ± 9,2	7,7 ± 2,7	ACSM ³
Watts y col. [13]	52 H	14	7a	162,2 ± 15,6	51,5 ± 13,6	4,4 ± 2,2	Jackson & Pollock ¹

	38 M	14	6c	151,3 ± 11,9	40,6 ± 9,6	12,2 ± 2,6	
Quaine y col. [25]	10 H	24	8a	178,1 ± 5,0	74,0 ± 3,0		
España-Romero y col. [11]	11 H	26	8a		66,0 ± 3,1	6,2 ± 3,8	Jackson & Pollock ¹
	12 M	27	7b+		48,5 ± 4,3	12,9 ± 2,2	
de Geus y col. [27]	15 H	21	7b - 8a	176,1 ± 4,2	64,1 ± 7,9	6,7 ± 2,4	Impedanciometría bioeléctrica ⁴
Bertuzzi y col. [16]	6 (principiantes)	24	< 6c+	170,0 ± 6,8	64,0 ± 7,2	10,6 ± 3,7	Jackson & Pollock ¹
	7 (élite)	20	> 7c	173,3 ± 4,2	62,4 ± 3,3	6,6 ± 2,3	
España-Romero y col. [18]	6 H, 6 M (expertos)	30	7b	166,5 ± 6,1	58,5 ± 8,3	20,4 ± 6,7	DXA ⁵
	2 H, 2 M (élite)	30	8a	169,5 ± 8,1	62,5 ± 5,9	17,8 ± 9,4	

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; H, hombre; M, mujer; ¹Jackson & Pollock [10]; ²Durnin et al. [17]; ³ACMS, American Collegue Sports Medicine; ⁴Analizador Tanita (TBF 300, Japón); ⁵DXA, absorciometría dual de rayos-x

Peso corporal

Los valores de peso corporal oscilan entre 62,4 hasta 74,5 kg en hombres y alrededor de 50-55kg en mujeres. Las diferencias de los valores observados en la tabla 2 podrían ser debidas al nivel de escalada de la muestra que participó en el estudio [1]. A pesar de estas discrepancias, tal y como apunta Grant y col. [5, 6], en actividades donde el peso corporal se eleva o se mantiene elevado en contra de la gravedad, un peso extra supone una desventaja.

Porcentaje de grasa corporal

Métodos sofisticados tales como el pesaje hidrostático, técnicas de agua marcada, pletismografía por desplazamiento de aire o absorciometría dual de rayos-x (DXA), permiten evaluar el %GC de forma objetiva y precisa [7-9]. Sin embargo la aplicabilidad de estos métodos fuera del laboratorio o en grandes poblaciones es bastante limitada. Por ello, la antropometría es uno de los métodos más usados para estimar el %GC en estudios de campo, y ha sido el método empleado en la mayoría de trabajos de escalada deportiva [2, 10-17].

Los valores de %GC varían en función del estudio. En algunos estudios se han utilizado las ecuaciones de Jackson & Pollock [10] para estimar el %GC empleando tres pliegues [11, 12], siete pliegues [2, 13-15] o nueve pliegues cutáneos [16]. Asimismo, otros estudios han utilizado las ecuaciones de Durnin & Womersley [17], que incluyen la medida de 4 pliegues cutáneos [5, 6].

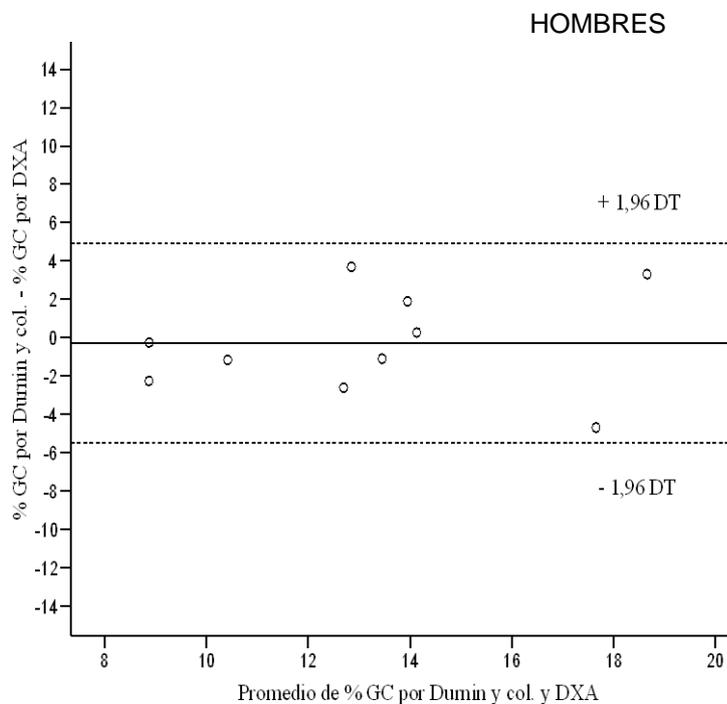
Watts y col. [2] evaluaron a 39 escaladores (18 mujeres) participantes en una competición internacional, de los cuales 13 deportistas (6 mujeres) se clasificaron para la final. Los valores de %GC calculados en los escaladores finalistas fueron de $4,8 \pm 2,3\%$ para hombres y $9,6 \pm 1,9\%$ para mujeres. En la tabla 2 se observan valores similares presentados por el mismo autor en otros estudios [13-15]. Bertuzzi y col. [16] presentaron datos de 6 escaladores con un nivel de escalada menor de 6c+, a los que denominó principiantes, y 7 escaladores con un nivel mayor de 7c, a los que denominó élite. El %GC fue de $10,6 \pm 3,7\%$ y $6,6 \pm 2,3\%$ en el grupo de principiantes y élite, respectivamente. España-Romero y col. [11] evaluaron a 23 participantes de la Copa de España (11 hombres y 12 mujeres), mostrando un %GC de $6,2 \pm 3,8\%$ para hombres y $12,9 \pm 2,2\%$ para mujeres. En los trabajos mencionados, el %GC se estimó a partir de la ecuación de Jackson & Pollock [10], utilizando la suma de pliegues cutáneos.

Por otro lado, Grant y col. estudiaron a 10 escaladores de élite y 10 escaladores principiantes masculinos [6], y 10 escaladoras de elite y 10 escaladoras principiantes femeninas [5]. No se observaron diferencias significativas en cuanto al %GC entre ambos grupos de nivel, ni en hombres (14% vs 15,3%) ni en mujeres (25,8 vs 26%). La ausencia de diferencias significativas entre ambos grupos de nivel podría ser debida al punto de corte empleado para considerar al grupo de élite, ya que un nivel de 6a debería ser

considerado intermedio según los estándares de la competición moderna [3]. En estos estudios [5, 6] se usaron la ecuaciones de Durnin & Womersley [17], utilizando la suma de pliegues cutáneos.

Los valores de %GC varían desde 4,4% hasta 24,8% en hombres y desde 9,6% hasta 26% en mujeres. Las diferencias en los valores de %GC observados en la tabla 2 podrían ser debidas al nivel de escalada de los participantes. Además, la cualificación y grado de sistematización del antropometrista pueden afectar a la fiabilidad y validez de los resultados. Las diferentes ecuaciones utilizadas para estimar el %GC también han podido contribuir a las discrepancias de los datos. Las diferencias encontradas en los valores de %GC dificultan la comparación entre estudios, incluso llegando a ser una limitación [1].

Nuestro grupo ha testado recientemente la validez de las ecuaciones más utilizadas para la estimación del %GC a partir de los pliegues cutáneos en escaladores, entre ellas las ecuaciones de Jackson & Pollock y Durnin & Womersley [18]. El %GC estimado mediante DXA se usó como método de referencia. Los resultados de este estudio mostraron que de las 17 ecuaciones estudiadas, las ecuaciones de Durnin & Womersley [17] parecen ser las más exactas para estimar el %GC en mujeres y hombres escaladores (Figura 2). En general, el resto de las ecuaciones subestimaban el %GC, hasta alrededor de un 8%, cuando eran comparadas con el DXA [19].



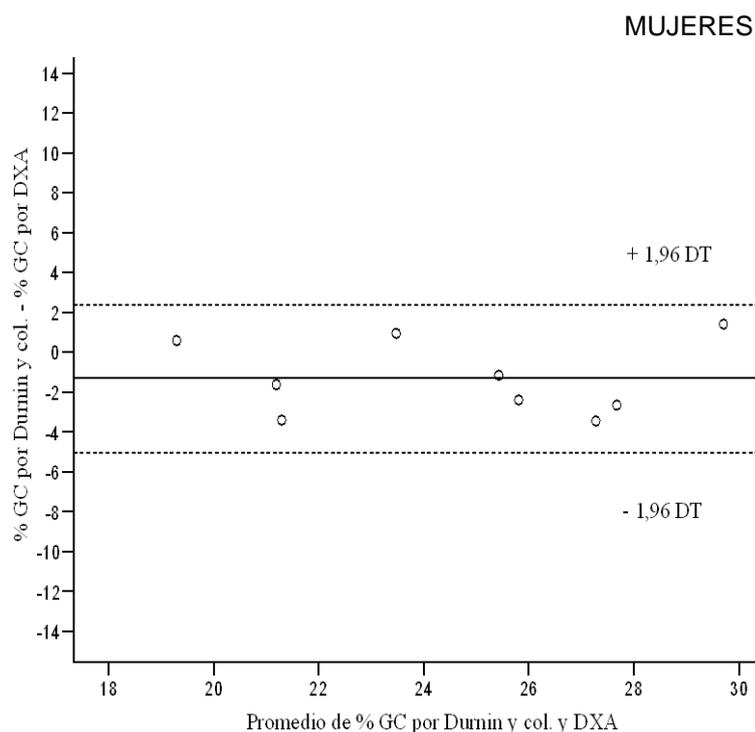


Figura 2. Comparación del porcentaje de grasa corporal (%GC) estimado entre la ecuación de Durnin y col. y absorciometría dual de rayos-x (DXA) en hombres y en mujeres. La línea central representa la diferencia entre los métodos. Las líneas discontinuas superiores e inferiores indican los límites de acuerdo al 95% (diferencia entre métodos $\pm 1,96$ DT de las diferencias).

Masa libre de grasa

Pocos estudios se han encontrado que analicen la masa libre de grasa en escaladores deportivos. España-Romero y col. [18] evaluaron la composición corporal en 12 escaladores expertos (nivel >7b) y 4 escaladores de élite (nivel >8a) mediante el DXA. Los valores de masa libre de grasa fueron $42,9 \pm 8,69$ kg en escaladores expertos y $47,2 \pm 8,93$ kg en escaladores de élite. No se observaron diferencias significativas entre estos valores. Aun así se necesitan más estudios para establecer conclusiones sobre este parámetro.

Por lo tanto, la literatura sugiere que el escalador de élite se caracteriza por tener un bajo peso corporal y un bajo %GC en comparación con la población normal no practicante de escalada [1-3, 13], pero no confirma si ambas características son un requisito para la escalada de alto rendimiento

- Características cineantropométricas

En algunos estudios se han evaluado parámetros como la longitud de brazos, de piernas, envergadura y ratio brazos/altura o ratio envergadura/altura. En la tabla 3 se presentan las características cineantropométricas en escaladores mostradas por los diferentes trabajos de investigación.

Tabla 3. Características cineantropométricas en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel ^(a)	Longitud brazos (cm)	Longitud piernas (cm)	Envergadura (cm)	Ratio brazos/altura	Ratio Envergadura/altura
Grant y col. [6]	10 H (elite)	28	> 6a	73,8 ± 3,9*	114,6 ± 4,6*			
	10 H (principiantes)	32	< 6a	76,1 ± 4,2*	119,2 ± 7,0*			
Mermier y col. [12]	24 H	30	6b			185,4 ± 9,6	1,0	± 0,02
	20 F	32	5			168,6 ± 8,4	1,0	± 0,03
Grant y col. [5]	10 M (principiantes)	31	< 6a	66,1 ± 4,0*	103,0 ± 5,0*			
	10 M (elite)	24	> 6a	66,8 ± 3,9*	104,3 ± 3,0*			
Watts y col. [13]	52 H	14	7a				1,02	± 0,02
	38 M	14	6c				1,01	± 0,02
Sheel y col. [20]	6 H, 3 M	18	7b - 9a			172,0 ± 7,1		
Bertuzzi y col. [16]	6 (principiantes)	24	< 6c+			173,3 ± 10,6		
	7 (elite)	20	> 7c			176,8 ± 2,3		
España-Romero y col. [18]	6 H, 6M (expertos)	30	7b	72,6 ± 4,07*			0,4	± 0,02
				72,4 ± 4,41 ⁺				
				72,5 ± 4,22 [§]				
2 H, 2M (elite)	30	8a	74,8 ± 5,69*			0,4	± 0,02	
			74,1 ± 5,47 ⁺					
			74,4 ± 5,58 [§]					

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; * Lado derecho; ⁺ Lado izquierdo; [§] Media lado derecho e izquierdo

Grant y col. [5, 6] compararon la longitud de brazo derecho y de pierna derecha en un grupo de escaladores de élite (nivel >6a) con un grupo de escaladores principiantes. Por otro lado Bertuzzi y col. [16] compararon la envergadura de brazos en un grupo denominado principiantes (nivel <6c+) con un grupo de élite (nivel >7c). Los valores no fueron significativamente diferentes entre el grupo de escaladores élite y principiantes en ninguno de los estudios [5, 6, 16]. España-Romero y col. [18] tampoco observaron diferencias significativas en la longitud de brazos y en la ratio brazo/altura en un grupo de 12 escaladores expertos (nivel >7b) y 4 escaladores de élite (nivel >8a) (Tabla 3). Sin embargo, Watts y col. [13] evaluaron la ratio envergadura/altura en 90 escaladores de élite (38 mujeres) con un nivel de escalada superior a 7a y encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$) cuando los compararon con 45 sujetos no escaladores (1,01 vs 0,95, en escaladores y no escaladores, respectivamente).

De los estudios analizados se desprende que tener una longitud de brazos mayor y una ratio brazo/altura no influye sobre el rendimiento de la escalada deportiva. Aunque el estudio de Watts et al. [13] sugiere la necesidad de analizar estas variables en profundidad.

- **Fuerza y resistencia muscular**

Numerosos estudios han evaluado tanto la fuerza máxima como la fuerza-resistencia de tren superior, centrándose fundamentalmente en la fuerza y resistencia de prensión manual y fuerza de dedos. En las tablas 4 y 5 se presentan valores de fuerza máxima y fuerza-resistencia mostrados en diferentes trabajos de investigación.

Fuerza de prensión manual

El dinamómetro manual es el método más empleado para evaluar la fuerza de prensión manual en la mayoría de los trabajos de escalada deportiva [2, 5, 6, 11, 13-15, 19, 20]. La tabla 4 muestra los valores de fuerza, tanto en valores absolutos, i.e. en kilogramos de fuerza, como relativos al peso corporal, i.e. en kilogramos de fuerza/kilogramos de peso corporal.

Tabla 4. Fuerza de presión manual en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel ^(a)	Método	Fuerza (kg)	Fuerza relativa (kg/kg)
Watt y col. [2]	21 H (semifinalistas)	27	8b	Dinamometría manual	51,6 ± 6,4	0,8 ± 0,06
	7 H (finalistas)	24	8c		48,7 ± 9,1	0,8 ± 0,13
	18 M (semifinalistas)	28	7c		34,6 ± 5,2	0,7 ± 0,06
	6 M (finalistas)	27	8a		30,3 ± 3,1	0,6 ± 0,04
Grant y col. [6]	10 H (elite)	28	> 6a	Dinamometría manual	54,3 ± 2,3 ⁺	
					53,7 ± 2,1 ⁺	
				Dinamómetro especial para dedos		
				Prueba 1	45,5 ± 3,0 ⁺	
		45,0 ± 3,5 ⁺				
	Prueba 2	22,6 ± 2,4 ⁺				
		23,3 ± 2,6 ⁺				
	10 H (principiantes)	32	< 6a	Dinamometría manual	48,2 ± 2,3 ⁺	
					45,4 ± 2,1 ⁺	
				Dinamómetro especial para dedos		
Prueba 1				36,6 ± 2,9 ⁺		
				35,3 ± 3,3 ⁺		
Prueba 2				24,4 ± 2,3 ⁺		
	24,3 ± 2,5 ⁺					
Watts y col. [15]	11 H	29	7a - 8b	Dinamometría manual	59,4 ± 7,0	0,9 ± 0,09
Grant y col. [5]	10 M (elite)	31	> 6a	Dinamometría manual	34,5 ± 1,2 ⁺	
					31,3 ± 1,4 ⁺	
				Dinamómetro especial para dedos		
	Prueba 1	32,8 ± 1,8 ⁺				

						31,3 ± 1,4 ⁺	
					Prueba 2	19,7 ± 1,8 ⁺	
						19 ± 1,4 ⁺	
	10 M (principiantes)	24	< 6a	Dinamometría manual		24,5 ± 1,0 ⁺	
				Dinamómetro especial para dedos		28,0 ± 1,3 ⁺	
				Prueba 1		26,6 ± 1,4 ⁺	
						25,3 ± 1,2 ⁺	
				Prueba 2		17,4 ± 1,5	
						14,4 ± 1,5	
Ferguson & Brown, [21]	5 H	22	7a - 8a	Dinamómetro manual modificado		72,8 ± 3,5	
Watts y col. [14]	7 H	31	8a+	Dinamometría manual		51,6 ± 7,9 ^d	0,6 ± 0,06
	8 H	31	8b			51,7 ± 7,5 ^d	0,8 ± 0,08
Sheel y col. [20]	6 H, 3 M	18	7b - 9a	Dinamometría manual		48,2 ± 11,9 ^d	0,8 ± 0,12 ^d
						45,8 ± 11,7 nd	0,8 ± 0,10 nd
Mermier y col. [12]	24 H	30	6b				0,7 ± 0,14 ^d
	20 F	32	5				0,5 ± 0,10 ^d
Watts y col. [13]	52 H	14	7a	Dinamometría manual		36,5 ± 12,9 [^]	0,7 ± 0,13
	38 M	14	6c			25,1 ± 6,8	0,6 ± 0,08
Watts y col. [26]	16 H y 15 M	13	7a+	Dinamómetro especial para dedos			
				Prueba 1		27,4 ± 8,4 ⁺	
						26,1 ± 9,2 ⁺	
				Prueba 2		28,4 ± 8,9 ⁺	
						27,3 ± 8,6 ⁺	

Nuñez y col. [36]	8 H	28	6c - 7c	Dinamometría manual	41,6 ± 7,5 [*] 42,9 ± 11,81 ⁺	
España-Romero y col. [11]	11 H	26	8a	Dinamómetro manual	56,3 ± 4,3 [*]	0,9 ± 0,1 [*]
					56,9 ± 5,9 ⁺	0,9 ± 0,1 ⁺
	12 M	27	7b+	113,2 ± 8,9	1,7 ± 0,1	
				31,8 ± 4,3 [*]	0,7 ± 0,1 [*]	
España-Romero y col. [18]	6 H, 6 M (expertos)	30	7b	Dinamómetro manual	30,6 ± 4,8 ⁺	0,7 ± 0,1 ⁺
					62,3 ± 9,1	1,3 ± 0,2
					41,5 ± 11,8 [*]	0,7 ± 0,1
	2 H, 2 M (élite)	30	8a	Dinamómetro manual	40,1 ± 11,6 ⁺	0,7 ± 0,1
					81,6 ± 23,3	1,4 ± 0,25
					45,2 ± 5,4 [*]	0,7 ± 0,03 [*]
					42,3 ± 6,2 ⁺	0,7 ± 0,05 ⁺
					87,4 ± 11,6	1,4 ± 0,09

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; ^{*} mano derecha; ⁺ mano izquierda; ^d lado dominante; nd lado no dominante; [^] media de valores de fuerza en mano derecha e izquierda.

La fuerza de prensión manual en escaladores ha sido habitualmente evaluada en ambas manos [2, 5, 6, 11, 19] o en la mano dominante del sujeto [12, 14, 20]. Teniendo en cuenta el uso de ambas manos en la ejecución de este deporte, nosotros recomendamos evaluar siempre ambas manos.

Los valores de fuerza en escaladores son muy similares entre estudios, y se encuentran alrededor de 30kg en mujeres y de 50kg en hombres. En el estudio de Fergurson & Brown [21] el valor de fuerza es considerablemente mayor (72,8kg) que en el resto de trabajos, posiblemente por el dinamómetro modificado que utilizan para evaluar la fuerza de prensión manual.

Al comparar los valores de fuerza de prensión manual en escaladores con la población normal americana no practicante de escalada, parecen no existir diferencias importantes en cuanto a la fuerza expresada en valores absolutos [3]. Sin embargo, cuando los valores de fuerza son expresados en relación al peso corporal - fuerza relativa -, los escaladores parecen tener una fuerza significativamente mayor que la población americana normal [3, 12]. Por otro lado, cuando comparamos la fuerza de prensión manual de escaladores con la población normal española no practicante de escalada, se observan diferencias significativas tanto en la fuerza absoluta como en la fuerza relativa ($P < 0,001$). Las mujeres escaladoras presentaron una fuerza de prensión manual en la suma de mano derecha e izquierda de $65,41 \pm 11,29\text{kg}$ frente a la fuerza presentada por mujeres no escaladoras españolas de $44,55 \pm 10,46\text{kg}$. En hombres se observaron valores de $100,71 \pm 9,22\text{kg}$ en escaladores frente a $69,92 \pm 18,31\text{kg}$ en no escaladores. En cuanto a la fuerza relativa se observaron los mismos resultados que en la población americana. Por lo tanto, una menor masa corporal para un nivel dado de fuerza de prensión manual, podría ser una característica específica del escalador [1].

En ocasiones se ha cuestionado el uso del dinamómetro manual como método para evaluar la fuerza en escalada. Algunos autores sugieren que carece de especificidad en relación a la posición que adoptan las manos en los agarres que se encuentran en las vías de escalada [1, 3]. Desde nuestro punto de vista, el dinamómetro es un instrumento sencillo de utilizar, de bajo coste y que aporta información válida sobre la fuerza de prensión manual y a su vez sobre la fuerza relativa y debe seguir utilizándose. Tanto es así que nuestro grupo ha propuesto una metodología de evaluación de la fuerza de prensión manual en niños [19], adolescentes [22] y adultos [23] que permite adaptar de forma precisa el agarre del dinamómetro al tamaño de la mano, obteniendo de esta forma una media más precisa y válida.

Fuerza resistencia de prensión manual

La escalada deportiva implica repetidas contracciones musculares isométricas de la mano y antebrazo [4, 24]. Durante la escalada es esencial poder usar una variedad de agarres diferentes [1]. En la tabla 5 se presentan los valores de fuerza resistencia de prensión manual presentados en diferentes trabajos de investigación.

Tabla 5. Fuerza resistencia en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel ^(a)	Fuerza máxima		Método	Protocolo	Duración (seg)
				(kg)	(%) [§]			
Grant y col. [6]	10 H (elite)	28	> 6a			Barra de dominadas	máximo nº dominadas	16,2 ± 7,2 [*]
	10 H (principiantes)	32	< 6a				máximo t en barra	53,1 ± 13,2
							máximo nº dominadas	3,0 ± 9,0 [*]
							máximo t en barra	31,4 ± 9,0
Watts y col. [15]	11 H	29	7a - 8b	59,3 ± 7,1	70	Dinamómetro manual	hasta extenuación	52,2 ± 14,8
Ferguson & Brown, [21]	4 H	22	7a - 8a	74,5 ± 0,7	40	Dinamómetro manual	hasta extenuación	140 ± 11,1
					40		5 seg C; 2 seg D	853,0 ± 75,6
Mermier y col. [12]	24 H	30	6b		50	Dinamómetro manual	hasta extenuación	79,7 ± 37,17
						Barra de dominadas	máximo t en barra	51,8 ± 14,62
	20 F	32	5			Dinamómetro manual	hasta extenuación	79,8 ± 29,82
						Barra de dominadas	máximo t en barra	25,0 ± 14,41
Grant y col. [5]	10 M (elite)	31	> 6a			Barra de dominadas	máximo nº dominadas	27,5 ± 19,4 [*]
	10 M (principiantes)	24	< 6a				máximo t en barra	2,1 ± 3,0
							máximo nº dominadas	13,7 ± 8,1 [*]
							máximo t en barra	0,2 ± 0,7
Quaine y col. [25]	10 H	24	8a	42,9 ± 4,7	80	Dinamómetro manual	5 seg C; 5 seg D	235
España-Romero y col. [18]	6 H, 6M (expertos)	30	7b			Dinamómetro manual	20 CM; 2,5 seg	0,3 ± 0,11 ^{IF}
	2 H, 2 M (elites)	30	8a				20 CM; 2,5 seg	0,4 ± 0,22 ^{IF}

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; H, hombre; M, mujer; nº, número; t, tiempo; % de fuerza máxima; ^{*} repeticiones C, contracción; D, descanso; CM, contracción máxima; ^{IF} índice de fatiga.

Ferguson & Brown [21] evaluaron la fuerza resistencia en 5 escaladores de élite (nivel desde 7a hasta 8a) y 5 no escaladores. En este estudio se registró el tiempo que el sujeto era capaz de mantener el 40% de la fuerza máxima. No se encontraron diferencias significativas entre escaladores de élite y no escaladores ($140 \pm 11,1$ vs $122 \pm 14,2$ segundos, respectivamente). Además, se evaluó la fuerza resistencia a través de repetidas contracciones isométricas. Para ello, los sujetos realizaron 5 segundos de contracción seguidos de 2 segundos de descanso, al 40% de la fuerza máxima y hasta la extenuación, empleando un dinamómetro manual modificado. El tiempo hasta la extenuación en escaladores fue aproximadamente dos veces mayor que en no escaladores ($853 \pm 75,6$ vs $429 \pm 68,9$ segundos, respectivamente), lo cual sugiere que la habilidad para realizar repetidas contracciones isométricas puede ser un importante determinante del rendimiento en la escalada de alto nivel.

Quaine y col. [25] evaluaron la fuerza resistencia de prensión manual mediante contracciones submáximas de flexión de dedos en 10 escaladores de élite (nivel de 8a) y 10 no escaladores. Los sujetos realizaron 5 segundos de contracción seguidos de 5 segundos de descanso al 80% de la fuerza máxima hasta la extenuación en un dinamómetro manual. El test fue realizado sobre una placa de acero en cuyo interior se encontraba un sensor de fuerza. El tiempo hasta la extenuación fue significativamente mayor en los escaladores cuando se comparó con los no escaladores. Los no escaladores fueron capaces de mantener 12 contracciones (115 segundos), mientras que los escaladores fueron capaces de realizar 19 contracciones (235 segundos).

España-Romero y col. [18] evaluaron la fuerza resistencia de prensión manual en 12 escaladores expertos (nivel >7b) y 4 escaladores de élite (nivel >8a). Los sujetos realizaron 20 contracciones máximas seguidas de 2,5 segundos de descanso en un dinamómetro manual. La variable analizada fue el índice de fatiga, y no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos. Es importante destacar que el elevado nivel de escalada y homogeneidad de la muestra estudiada puede explicar el resultado obtenido. Futuros trabajos deberán discernir si dichos valores de índice de fatiga son o no diferentes entre escaladores y no escaladores. En este sentido, algunos autores han sugerido que los escaladores podrían tener un índice de fatiga menor con un mejor índice de recuperación en comparación con la población normal no escaladora [21], sugiriendo como posible causa una mayor capacidad de vasodilatación [21]. Ello indica la importancia que podría tener la capacidad del escalador para realizar repetidas contracciones isométricas de los músculos de la mano y antebrazo sin llegar a una fatiga que perjudique el rendimiento [1].

También se han utilizado otros test específicos de fuerza resistencia, como por ejemplo máximo número de dominadas (flexiones en barra) o máximo tiempo de suspensión en barra [5, 6, 12]. Los resultados muestran valores más altos para los escaladores de élite en comparación con los

escaladores principiantes [5, 6], lo que sugiere que estos parámetros podrían ser importantes en esta modalidad deportiva.

Debido a los diferentes métodos para evaluar la fuerza resistencia, es preciso ser cauto a la hora de comparar los valores de fuerza obtenidos en diferentes estudios. La importancia que parece tener esta variable en la escalada deportiva hace necesaria una estandarización de su metodología de evaluación.

Fuerza de dedos

La fuerza de dedos ha sido evaluada en escaladores mediante un aparato desarrollado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Glasgow [5, 6]. Más tarde, Watts y col. [26] emplearon un método similar para evaluar la fuerza de dedos en escaladores de élite. Los resultados de estos trabajos se han mostrado en la tabla 4.

Este parámetro ha sido propuesto por algunos autores como la principal característica de los escaladores [5], pues se ha observado que éstos son capaces de generar una fuerza significativamente mayor que sujetos no escaladores (38,8 vs 26,6 kg). Sin embargo, Giles y col. [1] consideran que estas mediciones específicas en la fuerza de dedos no son representativas de la fuerza usada durante la escalada deportiva porque se está evaluando de forma aislada y no mientras se realizan movimientos específicos de este deporte. Desde nuestro punto de vista, prácticamente ningún test de fuerza es exactamente específico al deporte realizado en condiciones reales, sin embargo, los test de fuerza fiables y válidos aportan información relevante sobre aspectos fisiológicos y mecánicos del músculo que resultan de gran interés para investigadores, entrenadores y atletas.

- **Flexibilidad**

Algunos autores han señalado que la flexibilidad es un componente importante para alcanzar la excelencia en la escalada deportiva [1, 3]. Ciertas posiciones y movimientos específicos de la escalada requieren un amplio rango de movimiento en algunas articulaciones.

Durante la escalada, el cuerpo, especialmente el centro de gravedad, debe estar muy cerca de la superficie de la roca mientras los pies se mueven, lo que implica una extrema abducción y rotación externa de la cadera. Los movimientos donde un pie se eleva hasta o por encima de la cadera mientras el otro se mantiene por debajo requieren un notable grado de flexibilidad del tren inferior (Figura 3) [3]. A pesar de estas observaciones se han publicado pocos datos de flexibilidad específica en escaladores.



Figure 3. Escaladora realizando un movimiento de escalada donde el pie se eleva hasta la cadera mientras el otro se mantiene por debajo, indicando la importancia teórica de la flexibilidad de cadera para este deporte.

Grant y col. [6] emplearon diferentes tests de flexibilidad, test *sit & reach*, test de elevar un pie y test de abducción de caderas en 10 escaladores de élite, 10 principiantes y 10 no escaladores masculinos [6]. También evaluaron a 10 escaladoras de elite, 10 principiantes y 10 no escaladoras [5]. A pesar de utilizar test específicos de flexibilidad, ni en un caso ni en otro, los escaladores presentaron valores significativamente diferentes en comparación con los no escaladores. Aunque esto podría ser debido al bajo nivel que presentaban los participantes de élite según los estándares de la competición actual (nivel >6a). España-Romero y col. [18] también emplearon el test *sit & reach* para evaluar el grado de flexibilidad en 12 escaladores expertos (nivel >7b) y 4 escaladores de élite (nivel >8a), pero no encontraron diferencias significativas entre ambos grupos.

De todos los trabajos revisados, tan sólo uno parece indicar una asociación significativa entre el grado de flexibilidad y el rendimiento [12].

Mermier y col. evaluaron el rango de movimiento de cadera y hombros en hombres y mujeres escaladores de distintos niveles [12]. Los autores observaron que la flexión y abducción de cadera podían predecir débilmente el rendimiento de escalada.

Los resultados observados parecen indicar que, los movimientos específicos de la escalada requieren cierto grado de flexibilidad, especialmente en cadera y hombros. Aun así, dado el bajo número de estudios que evalúan los parámetros de flexibilidad específicos para este deporte, se necesitan más trabajos que analicen si un alto nivel de flexibilidad es un requisito para alcanzar la excelencia en este deporte.

- Capacidad aeróbica

El consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) es la variable fisiológica más utilizada, aunque no la única, para definir la capacidad aeróbica de una persona. Es el punto en el cual el consumo de oxígeno se estabiliza creando una meseta en un ejercicio creciente hasta la máxima intensidad. Esta meseta no siempre aparece, particularmente con niños y ancianos, entonces se registra el consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}). En la tabla 6 se presentan los valores de VO_{2max} o VO_{2pico} en escaladores mostrados en diferentes trabajos de investigación.

Tabla 6. Resumen de consumo de oxígeno máximo en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel ^(a)	Test	VO_{2max} (ml/kg/min)
Billat y col. [28]	4 H		7b	Tapiz rodante	54,8 ± 5,0
				Tracción barra	22,3 ± 2,6
Watts & Drobish. [30]	9 H, 7 M	26	5 - 7a	Tapiz rodante	50,5 ± 7,5
Booth y col. [4]	6 H	25	6b - 7a	Ergómetro escalada	43,8 ± 2,2*
Sheel y col. [20]	6 H, 3 M	18	7b - 9a	Cicloergómetro	45,5 ± 6,6
de Geus y col. [27]	15 H	21	7b - 8a	Tapiz rodante	52,2 ± 5,1
Bertuzzi y col. [16]	6 (principiantes)	24	< 6c+	Cicloergómetro adaptado parte superior del cuerpo	35,5 ± 5,2
	6 (elite)	20	> 7c		36,5 ± 6,2
España-Romero y col. [18]	6 H, 6 M (expertos)	30	7b	Ergómetro escalada	51,3 ± 4,5*
	2 H, 2 M (elites)	30	8a		51,9 ± 3,4*

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; H, hombre; M, mujer; VO_{2pico}

El VO_{2max} en escaladores ha sido habitualmente evaluado mediante tests de laboratorio, realizados tanto en tapiz rodante como en cicloergómetro [16, 20, 27, 28]. En un intento por asemejar las condiciones del test a las características de la escalada, algunos de estos estudios incluían también ejercicios del tren superior [16, 28], y otros han empleado tests específicos en un ergómetro especial para escalada [4, 18].

La evaluación del VO_{2max} mediante tapiz rodante o cicloergómetro podrían no reflejar el verdadero VO_{2max} de los escaladores, dada su poca similitud con el gesto técnico que se produce en la escalada, especialmente en relación al trabajo requerido por la parte superior del cuerpo [3]. Al evaluar el VO_{2max} de este modo, no es posible diferenciar las contribuciones relativas de la musculatura superior e inferior del cuerpo [29]

Varios trabajos han evaluado el VO_{2max} en tapiz rodante a través de test incremental progresivo hasta el agotamiento. Aunque el nivel de los escaladores varía de unos estudios a otros, los valores observados de VO_{2max} se encuentran entre 50,5 y 54,8 ml/kg/min [27, 28, 30] (tabla 6). En el caso del cicloergómetro, el valor promedio de VO_{2max} aportado por Sheel y col. [20] en una muestra de 6 escaladores (3 mujeres) fue de 45,5 ml/kg/min. Estos valores de VO_{2max} en escaladores, medidos en tapiz rodante y/o cicloergómetro, son muy similares al VO_{2max} de atletas o gimnastas [3]. Sin embargo, son considerablemente inferiores a los observados en atletas de resistencia (rango entre 65 y 80 ml/min/kg) [3]. Resultado coherente, pues la escalada es un deporte que se desarrolla a altas intensidades y con un importante componente anaeróbico, como se discutirá más adelante.

La posible interpretación de estos datos de cara a determinar intensidades relativas de esfuerzo en escalada es limitada [3], dado que el porcentaje de VO_{2pico} de una ruta determinada se establece habitualmente en función del VO_{2max} analizado previamente en tapiz rodante o cicloergómetro, y no en función del VO_{2max} medido mediante test específicos para esta modalidad deportiva.

En este sentido, varios autores han examinado el VO_{2max} realizando ejercicios de tren superior [16, 28]. En el estudio de Billat y col. [28] los sujetos estaban sentados sobre un banco y debían agarrar y traccionar una barra. El test comenzó con un peso de 2,5 kg. Los sujetos debían mover la barra 1 metro verticalmente en 1 segundo (equivalente a una potencia de 25 W). La potencia fue incrementada en 25 W cada 2 minutos. La media de VO_{2max} estimado fue 22,3 ml/kg/min. Bertuzzi y col. [16] evaluaron el VO_{2max} en un cicloergómetro adaptado a la parte superior del cuerpo en un grupo de 7 escaladores (nivel <6c+) y un grupo de 6 escaladores de mayor nivel (>7c). No se encontraron diferencias significativas en el VO_{2max} entre el primer y segundo grupo (35,5 ± 5,2 y 36,5 ± 6,2 ml/kg/min, respectivamente).

El VO_{2max} de escaladores también ha sido medido con tests específicos para esta modalidad deportiva, mediante el empleo de un ergómetro específico

de escalada (Brewer's Ledge, Inc., Jamaica Plain, Mass., USA) (Figura 4). Booth y col. [4] evaluaron el VO_{2pico} en 7 escaladores (1 mujer) con un nivel medio de 6b+. Los sujetos realizaron 3 pruebas de 5 minutos con 20 minutos de descanso entre pruebas sobre una ruta de nivel 5. Las velocidades en la primera y segunda prueba fueron de 8 y 10 m/min, respectivamente. La velocidad en la tercera prueba fue de 12 m/min durante los primeros 4 minutos. En el quinto minuto la velocidad aumentó a 14 m/min, en el sexto minuto a 16m/min y se mantuvo esa velocidad hasta la extenuación. España-Romero y col. [18] emplearon el mismo test en 12 escaladores expertos (nivel >7a) y 4 escaladores de élite (nivel >8a). Los valores de VO_{2pico} presentados por España-Romero y col. [18] son ligeramente superiores a los presentados por Booth y col. [4] ($54,1 \pm 4,3$ vs 43.8 ± 2.2 ml/min/kg, respectivamente), lo cual puede ser debido al mayor nivel de escalada de los participantes.



Figura 4. Medición del consumo máximo (pico) de oxígeno en un ergómetro específico de escalada, utilizando un analizador de gases portátil.

Además del VO_{2pico} , España-Romero y col. [18] analizaron también el tiempo de escalada hasta la extenuación. Al comparar a los escaladores expertos (nivel >7a) con el grupo de élite (nivel >8a), los autores observaron que el tiempo de escalada hasta la extenuación, y no el VO_{2max} , era el parámetro que diferenciaba a ambos grupos (407,7 segundos en élite vs 770,2 segundos en expertos)(Figura 5). La comparación de estos datos con los de otros estudios no es posible ya que el tiempo de escalada hasta la extenuación no se ha estudiado anteriormente en ningún trabajo de escalada deportiva [18].

Los resultados obtenidos por España y col. requieren ser confirmados y contrastados por futuros estudios, para poder afirmar que tener una capacidad aeróbica alta está relacionado con un mayor rendimiento en escalada, o que mejoras en la capacidad aeróbica se asocien con mejoras en el rendimiento de escalada.

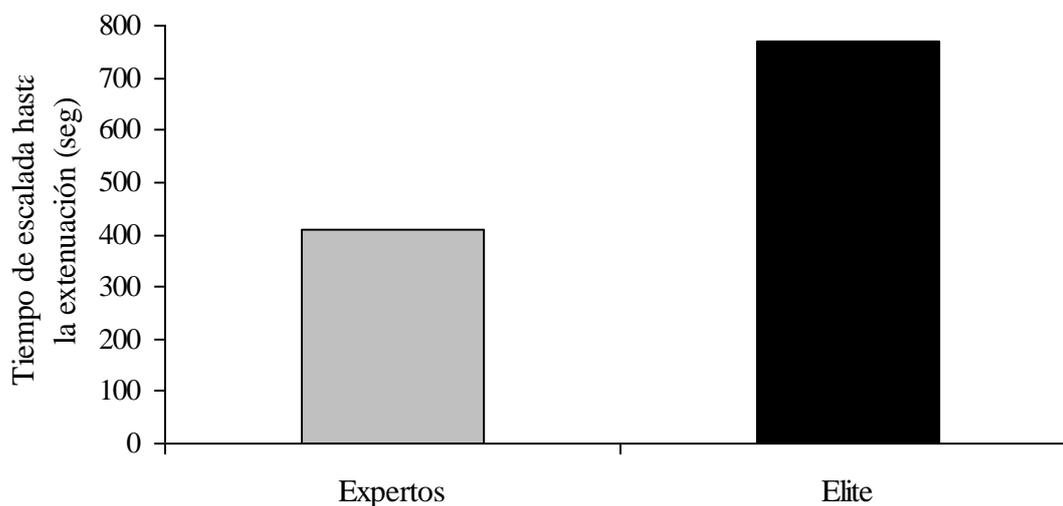


Figura 5. Tiempo hasta la extenuación en un ergómetro específico de escalada en 12 escaladores de nivel experto (nivel >7b) y 4 escaladores de nivel élite (nivel >8a). $P < 0.001$.

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD

Frente a los trabajos de laboratorio, otros estudios han centrado su interés en analizar las adaptaciones fisiológicas que se producen en el organismo del deportista durante la práctica de la escalada o inmediatamente al término de esta.

Efectos durante la escalada

- Consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca

El $VO_{2\text{pico}}$ y la frecuencia cardiaca (FC) han sido monitorizados durante una ruta de escalada en rocódromo [14, 16, 20, 24, 27, 28], en roca natural [4] y/o en un ergómetro específico de escalada [4, 30]. En la tabla 7 se presentan los valores de $VO_{2\text{pico}}$ y FC durante la escalada mostrados en diferentes trabajos de investigación.

Varios estudios han evaluado el $VO_{2\text{pico}}$ y la FC durante una ruta en rocódromo y han observado que el incremento de la FC es mayor que el incremento del $VO_{2\text{pico}}$. La evolución de estos parámetros sugiere que VO_2 -FC no presentan la evolución habitual observada en la mayoría de actividades deportivas [16, 20, 24, 30].

Billat y col. [28] evaluaron el $VO_{2\text{pico}}$ en cuatro sujetos durante la ascensión de dos rutas de 7b. La primera ruta era vertical (ángulo de 90°) con movimientos técnicamente complejos, mientras que la segunda ruta era desplomada (ángulo mayor de 90°). Los valores medios de $VO_{2\text{pico}}$ fueron $24,9 \pm 1,2$ y $20,5$ ml/min/kg para la ruta vertical y desplomada, respectivamente. Los valores de FC fueron 176 ± 14 para la ruta vertical y $159 \pm 14,7$ lat/min para la ruta desplomada. Los valores más altos encontrados en la ruta vertical frente a la ruta desplomada podrían ser debido al ritmo de escalada de los sujetos, a los agarres que componían la ruta y al tiempo de reposo empleado en los agarres. Se encontraron diferencias significativas en los tiempos del ritmo de escalada (dinámico vs estático), encontrando mayores tiempos estáticos en la ruta desplomada. Aunque había un ritmo dinámico en las dos rutas, los agarres en la ruta desplomada eran mayores, lo cual permitía descansos intermedios que no podían realizarse en la ruta vertical. Esta ausencia de descansos intermedios podría ser la causa de valores mayores en la ruta vertical. En el caso particular de la ruta vertical, estos valores fueron un 46% del $VO_{2\text{max}}$ y un 84% de la FC máxima obtenidos en el test en tapiz rodante. A pesar de que ambos parámetros están por debajo de los valores máximos obtenidos en tapiz rodante, se observa que la intensidad relativa de la FC es mayor que la intensidad relativa del VO_2 [28]. Sheel y col. [20] evaluaron las respuestas fisiológicas en dos rutas de escalada en 9 escaladores (3 mujeres) de élite (nivel 7b-9a). Las rutas fueron previamente equipadas según la marca personal de cada escalador. De este modo, la ruta más fácil se definía como tres niveles por debajo del mejor nivel realizado por el escalador, y la ruta más difícil como dos niveles por debajo. El $VO_{2\text{pico}}$ fue significativamente mayor en la ruta más difícil comparado con la ruta más fácil ($22,7 \pm 3,3$ vs $20,1 \pm 3,3$ ml/min/kg, respectivamente). Además se encontraron diferencias significativas en los valores de FC entre ambas rutas (144 ± 14 vs $129,13 \pm 13$ lat/min para la ruta más difícil y más fácil, respectivamente). Los valores de $VO_{2\text{pico}}$ y de FC estaban por debajo de los valores obtenidos en cicloergómetro, 67% y 45% del $VO_{2\text{max}}$ y 89% y 66% en FC, en la ruta más difícil y más fácil, respectivamente.

De Geus y col. [27] realizaron un trabajo similar en el que evaluaron las respuestas fisiológicas en 4 rutas del mismo nivel (7c). Las rutas tenían diferentes ángulos y sentidos, estas eran, ruta 1: escalada hacia arriba en una pared vertical; ruta 2: escalada hacia arriba en una pared desplomada (ángulo entre 120 y 135°); ruta 3: escalada en travesía en una pared vertical; y ruta 4: escalada en travesía en una pared desplomada (ángulo entre 135 y 180°). Los resultados de este estudio indicaron que el $VO_{2\text{pico}}$ obtenido en la escalada en travesía en pared vertical ($39,1 \pm 5,3$ ml/kg/min) fue significativamente menor que en las otras tres rutas (Tabla 7). En cuanto a los valores de FC, éstos fueron significativamente mayor en la escalada hacia arriba ($173,8$ lat/min en la ruta vertical y $175,1$ lat/min en la ruta desplomada) comparado con la escalada en travesía ($164,5$ lat/min en la ruta vertical y $167,3$ lat/min en la ruta desplomada). El rango de valores observados estaban entre el 75-85% del $VO_{2\text{max}}$ y el 85-92% de la FC máxima evaluados previamente en tapiz rodante.

En este estudio también se observa que el incremento de la FC es mayor que el incremento del VO_{2pico} .

Watts & Drobish [30] evaluaron a 16 sujetos (7 mujeres) en un ergómetro específico de escalada (Figura 4). Los sujetos escalaron en cuatro ocasiones una ruta durante 4 minutos, en ángulos diferentes, 80° , 86° , 91° y 102° , con 6 minutos de descanso entre rutas. El nivel de dificultad fue aproximadamente de 5 en el menor ángulo y 6c en el mayor ángulo. El VO_{2pico} permaneció constante respecto al ángulo de escalada mientras que la FC se elevaba al aumentar el ángulo de la ruta (Tabla 7). Estos autores observaron durante la escalada un 62% del VO_{2max} y un 83,9% de la FC máxima analizados previamente en tapiz rodante.

Algunos autores sugieren que el aumento de la FC en las rutas de escalada mientras el VO_{2pico} se mantiene más bajo podría ser debido al uso de contracciones isométricas intermitentes de la musculatura del antebrazo y brazo [20, 27, 28, 30]. Los metabolitos se acumulan dentro del tejido que está trabajando estimulando el reflejo metabólico del músculo induciendo a una respuesta del sistema simpático, como es el aumento de la FC. Esta respuesta podría ser la responsable de la disociación entre FC y VO_{2pico} [1, 4, 20, 21, 29, 31].

La evolución observada de la FC y el VO_{2pico} también podrían ser debido a la posición de los brazos durante la escalada ya que los brazos se mantienen estirados por encima de la cabeza y por tanto del nivel del corazón [24]. Estas posiciones de brazos parecen estar asociadas a un mayor aumento de la FC comparado con los valores de FC cuando el ejercicio de brazos se realiza al nivel de la cintura [29]. Las posiciones de los brazos escalando tienen un amplio rango, variando desde el nivel de los pies hasta movimientos por encima de la cabeza. A pesar de esto, durante la mayor parte del tiempo empleado en realizar una ruta de escalada, los brazos se encuentran al mismo nivel del corazón o por encima del mismo y esto podría ser una explicación del aumento elevado de la FC.

El incremento de la FC también podría estar causado por el estrés psicológico o ansiedad que proporciona el miedo a la caída [24]. En algunos casos, podrían observarse diferencias significativas en los valores de FC entre escaladores principiantes y escaladores expertos. Jannot y col. [32] encontraron que antes y durante la escalada, los escaladores con experiencia presentaron valores de FC significativamente menor que los escaladores principiantes. Los escaladores con experiencia estaban escalando al 71%-74% de la FC máxima, mientras que los escaladores principiantes estaban escalando al 76%-90% de la FC máxima teórica. Aun así, factores como familiarización de la ruta, la técnica o el estrés psicológico pueden afectar a las variaciones de la FC [29].

De forma general podemos observar que durante la escalada el VO_{2pico} oscila desde 20,6 hasta 44,1 ml/min/kg en rutas desde 4 hasta 7c. La mayoría

de autores proponen que durante esta actividad deportiva el $VO_{2\text{pico}}$ se mantiene en rangos bajos mientras que la FC aumenta. Sin embargo, otros autores han afirmado que es necesaria una proporción específica del $VO_{2\text{max}}$ [20, 27]. En la literatura podemos encontrar pocos estudios que analicen en profundidad las demandas fisiológicas de la escalada deportiva, por tanto no podemos afirmar que una proporción elevada del $VO_{2\text{max}}$ sea necesaria para escalar, de ser así podría ser una variable a tener en cuenta en el entrenamiento, sin embargo necesitamos estudios más específicos en esta área para confirmar estos resultados.

Efectos post-escalada

- Lactato en sangre

En la tabla 7 se presentan los valores de lactato en sangre después de realizar una ruta de escalada.

El rango de valores de lactato en sangre varía desde 1,6 mmol/L en una ruta de 4 hasta 6,1 mmol/L en una ruta de 7c. Las variaciones en los valores observados, podrían ser debidas a las variaciones en los métodos de valoración, a la dificultad de la ruta de escalada y al nivel de rendimiento de los participantes. Dichas diferencias entre los estudios comprometen la correcta comparación de los resultados.

La mayoría de los valores de lactato observados en los diferentes estudios (Tabla 7) superan los 4 mmol/L. En base al umbral anaeróbico teórico fijado en 4 mmol/L, los resultados sugieren una importante implicación de los sistemas energéticos anaeróbicos en la escalada.

El aumento del ácido láctico en sangre ha sido correlacionado con una mayor disminución de la fuerza resistencia ($r = 0,76$) pero no con disminución de la fuerza máxima ($r = 0,56$) en escaladores [15]. Los niveles de lactato en sangre pueden permanecer elevados incluso 20 minutos después de la actividad [14, 15], sin embargo este tiempo puede ser inferior realizando una recuperación activa [14].

Podríamos concluir que el aumento en el nivel de rendimiento de escalada podría aumentar la tolerancia al lactato y eliminar ácido láctico durante la escalada podría ser un beneficio para esta actividad deportiva.

Tabla 7. Parámetros fisiológicos en la escalada deportiva.

Estudio	Características	Duración (seg)	VO2 (ml/kg/min)	FC (lat/min)	Lactato (mmol/L)
Billat y col. [28]	7b, ruta vertical, rocódromo	180 – 300	24,9 ± 1,2	176 ± 14	5,8 ± 1,0
	7b, ruta desplomada, rocódromo	210 – 255	20,6 ± 0,9	159 ± 15	4,3 ± 0,8
Mermier y col. [24]	4, 90°, rocódromo		20,7 ± 8,1	142	1,6 ± 0,6
	5, 106°, rocódromo		21,9 ± 5,3	155	2,4 ± 0,7
	7a, 151°, rocódromo		24,9 ± 4,9	163	3,2 ± 1,0
Watts & Drobish, [30]	Ergómetro escalada, varios ángulos				
	80° (equivalente a 5)		31,3 ± 4,0*	156,0 ± 17,0*	3,6 ± 1,2*
	86°		31,7 ± 4,6*	165,0 ± 16,0*	4,0 ± 1,3*
	91°	240	31,2 ± 4,6*	171,0 ± 17,0*	4,9 ± 1,6*
	96°		29,5 ± 4,6*	173,0 ± 15,0*	5,1 ± 1,3*
	102° (equivalente a 6c)		30,9 ± 3,7*	171,0 ± 16,0*	5,9 ± 1,2*
Booth y col. [4]	5c, roca	456 ± 0,33	32,8 ± 2,0		4,5 ± 0,5
Watts y col. [14]	7b+, rocódromo	157 ± 0,41	31,9 ± 5,3*	162,0 ± 17,0	5,7 ± 1,7 6,8 ± 1,9
Sheel y col. [20]	Rocódromo, ruta fácil (3 niveles por debajo del máximo)	90 – 210	20,1 ± 3,3	129,0 ± 13,0	
	Rocódromo, ruta difícil (2 niveles por debajo del máximo)		22,7 ± 3,7	144,0 ± 14,0	
de Geus y col. [27]	7c, hacia arriba en pared vertical (90°)	244,0 ± 38,0	44,1 ± 5,8	173,8 ± 8,8	5,9 ± 1,6
	7c, hacia arriba en pared desplomada (120-135°)	189,0 ± 25,0	41,6 ± 4,1	175,1 ± 13,9	6,2 ± 1,6
	7c, travesía en pared vertical (90°)	195,0 ± 47,0	39,1 ± 5,3	164,5 ± 10,5	4,8 ± 1,3

	7c, travesía en pared desplomada (135-180°)	190,0 ± 68,0	40,5 ± 4,3	167,3 ± 9,9	5,5 ± 1,6
Bertuzzi y col. [16]	6a, 90°, rocódromo (25 movimientos)		37,2 ± 7,6	162,0 ± 8,0	2,4 ± 0,9
	6c+, 120°, rocódromo (25 movimientos)		38,0 ± 6,3	175,0 ± 5,0	3,7 ± 0,8
	7b+, 110°, rocódromo (25 movimientos)		38,6 ± 5,4	181,0 ± 7,0	3,9 ± 1,8

^(a) Ver tabla 1 para definición de grados; seg, segundos; FC, frecuencia cardiaca; * valores medios

- Fuerza y resistencia muscular

Watts y col. [15] estudiaron la evolución de la fuerza y la resistencia muscular durante la escalada en 11 sujetos (nivel desde 7b hasta 8b) que escalaban una vía de 7b constantemente hasta la fatiga. La media del tiempo de escalada fue de $12,9 \pm 8,5$ minutos. Los autores observaron un detrimento del 22% en la fuerza máxima de prensión manual evaluada con dinamómetro y del 57% en la fuerza resistencia evaluada a través del máximo tiempo empleado en mantener el 70% de la fuerza máxima. Tanto la fuerza máxima como la resistencia permanecieron por debajo de sus niveles iniciales después de 20 minutos de recuperación, aunque la fuerza máxima se recuperó más rápido que la fuerza resistencia. El descenso en la fuerza máxima estaba correlacionado significativamente con el tiempo de escalada ($r = 0,70$), pero no con la acumulación del lactato ($r = 0,56$). El descenso en la fuerza resistencia estaba correlacionado significativamente con el tiempo de escalada ($r = 0,70$) y con la acumulación de lactato en sangre ($r = 0,76$).

Watts y col. [14] mostraron que la recuperación activa facilitaba el retorno del ácido láctico a los niveles iniciales antes de escalar una nueva ruta en los 30 minutos siguientes. Estos autores no estudiaron si la recuperación rápida del lactato en sangre a través de una recuperación activa tenía un impacto positivo sobre el rendimiento de escalada en rutas posteriores.

Los estudios de Quaine han sido una notable aportación sobre las demandas de fuerza de las manos y los dedos durante la escalada [33, 34]. Este grupo empleó una estructura vertical de escalada con un aparato tridimensional que registraba la fuerza en cada mano y pie mientras el escalador se mantenía en la estructura. Las fuerzas de la mano eran alrededor de 5-6 kg cuando estaban apoyados cuatro puntos (dos manos y dos pies) y alrededor de 9-10 kg con tres puntos (dos pies y una mano). Estos valores de fuerza son menores que la fuerza máxima de dedos registrada por Grant et al. [5, 6]. Las diferencias podrían ser debidas a que Grant y col. evaluaron específicamente la fuerza de dedos sin el uso de los pies para mantenerse, lo cual podría minimizar la fuerza de las manos.

Las diferentes rutas de escalada y la variedad de agarres que la componen requieren una habilidad específica para aplicar rápidamente la fuerza requerida en cada agarre y mantener el contacto con la roca. El porcentaje de fuerza desarrollado por el músculo podría ser más importante que la fuerza máxima, pero no hemos encontrado estudios que se centren en esta área en la escalada deportiva [1].

CONCLUSIONES

En base a la literatura revisada, las características antropométricas y fisiológicas del escalador deportivo (Figura 6) son: 1) Un bajo peso corporal así como un bajo %GC. Conviene destacar que las ecuaciones de Durnin & Womersley parecen ser las más precisas para estimar el %GC en escaladores.

2) Valores altos de fuerza de prensión manual. En este contexto, para una evaluación más precisa y válida de la fuerza de prensión manual se sugiere adaptar el tamaño del agarre del dinamómetro al tamaño de la mano de cada individuo, utilizando las ecuaciones disponibles para tal fin en la literatura. 3) Valores altos de fuerza resistencia de prensión manual, especialmente para realizar contracciones isométricas repetidas. 4) Existen resultados que sugieren que la capacidad aeróbica, concretamente la resistencia a una intensidad dada más que el $\dot{V}O_{2max}$, puede ser determinante para el rendimiento en escalada deportiva. Sin embargo, son necesarios más estudios que confirmen estos resultados. 5) Del mismo modo, se requieren futuros estudios que evalúen parámetros de flexibilidad específicos de la escalada, tales como la abducción y rotación externa de cadera, así como el rango de movimiento del hombro. Los estudios realizados hasta la fecha han utilizado principalmente tests de flexibilidad que no evalúan estos parámetros.

La revisión sobre las adaptaciones fisiológicas que se producen en el organismo del deportista durante la práctica de la escalada o inmediatamente al término de esta sugiere que: 1) Resulta difícil evaluar los parámetros fisiológicos de la escalada deportiva debido a la variedad de factores que presenta. Entre estos factores se pueden encontrar los metros de la ruta, el número de movimientos, tamaño de los agarres, distancia entre seguros, y grado de inclinación de la pared. 2) El número de estudios centrados en estos aspectos de la escalada deportiva es limitado. 3) Por otro lado, es preciso destacar que ciertas discrepancias en los datos analizados pueden ser debidas a los diferentes métodos utilizados, lo cual sugiere la necesidad de estandarizar los protocolos de evaluación en este deporte.

La presente revisión contribuye de manera significativa a un mayor conocimiento de las características de este deporte y de quienes las practican, identificando diversas áreas de interés que requieren futuro estudio. Las conclusiones derivadas ayudarán a orientar la investigación en escalada, así como una planificación del entrenamiento deportivo más basada en la evidencia científica y menos en las percepciones subjetivas de escaladores y entrenadores.

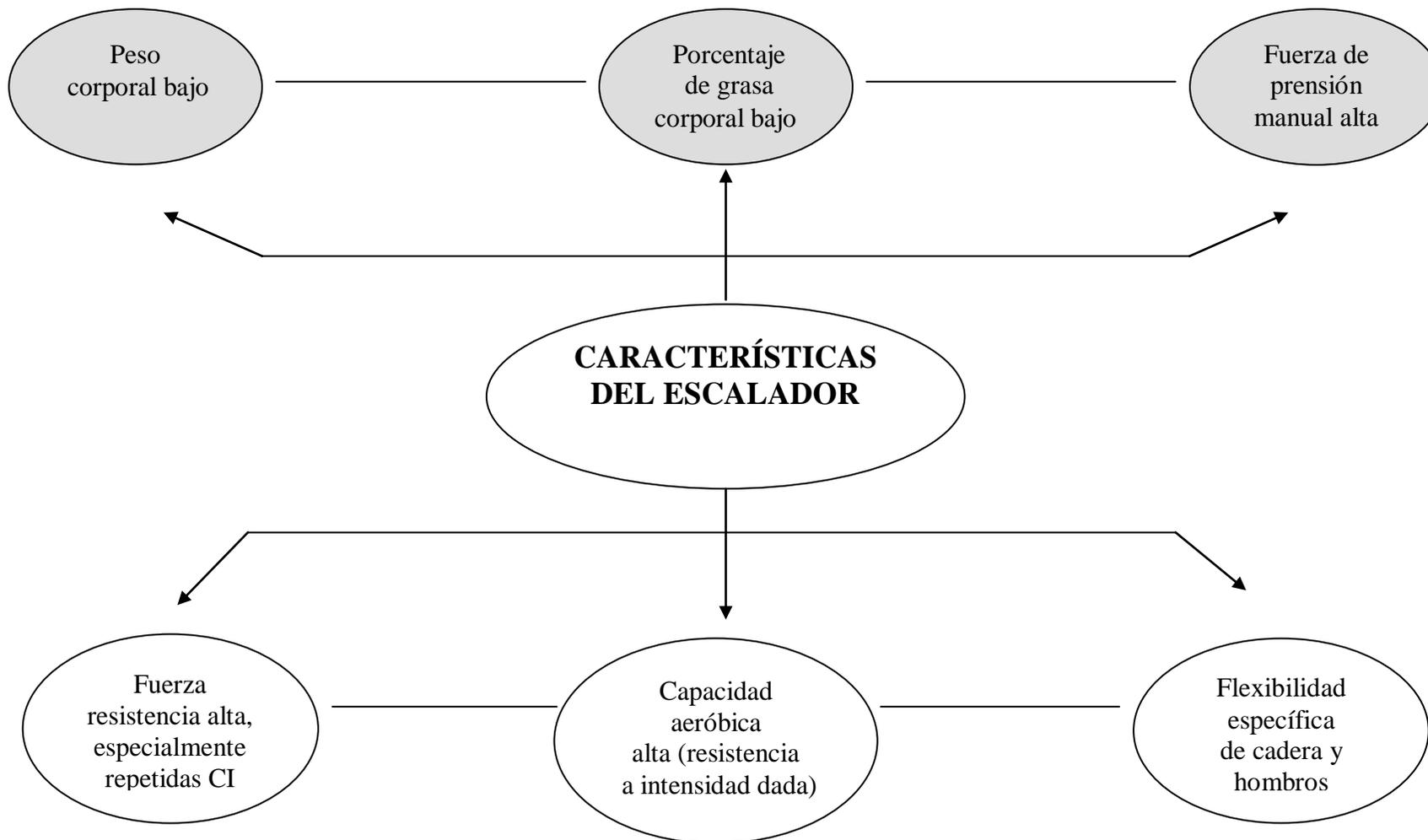


Figura 6. Características antropométricas y fisiológicas del escalador deportivo. CI, contracciones

■ Variables más frecuentemente estudiadas y mediante procedimientos estandarizados.

□ Variables con resultados contradictorios o evaluadas mediante métodos no estandarizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Giles LV, Rhodes EC, Taunton JE. The physiology of rock climbing. *Sports Med.* 2006;**36**:529-45.
- 2 Watts PB, Martin DT, Durtschi S. Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci.* 1993;**11**:113-7.
- 3 Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol.* 2004;**91**:361-72.
- 4 Booth J, Marino F, Hill C, *et al.* Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *Br J Sports Med.* 1999;**33**:14-8.
- 5 Grant S, Hasler T, Davies C, *et al.* A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *J Sports Sci.* 2001;**19**:499-505.
- 6 Grant S, Hynes V, Whittaker A, *et al.* Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci.* 1996;**14**:301-9.
- 7 Wells JC, Fuller NJ, Dewit O, *et al.* Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr.* 1999;**69**:904-12.
- 8 Parker L, Reilly JJ, Slater C, *et al.* Validity of six field and laboratory methods for measurement of body composition in boys. *Obes Res.* 2003;**11**:852-8.
- 9 Fields DA, Goran MI. Body composition techniques and the four-compartment model in children. *J Appl Physiol.* 2000;**89**:613-20.
- 10 Jackson AS, Pollock ML. Practical Assessment of body composition. *Physician and Sport Medicine.* 1985;**13**:75-90.
- 11 España-Romero V, Ortega Porcel F, García-Artero E, *et al.* [Performance, anthropometric and muscle strength characteristics in Spanish elite rock climbers]. *Selección: Revista Española e Iberoamericana de la Medicina de la Educación Física y el Deporte.* 2006;**15**:176-83.
- 12 Mermier CM, Janot JM, Parker DL, *et al.* Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med.* 2000;**34**:359-65; discussion 66.
- 13 Watts PB, Joubert LM, Lish AK, *et al.* Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br J Sports Med.* 2003;**37**:420-4.
- 14 Watts PB, Daggett M, Gallagher P, *et al.* Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *Int J Sports Med.* 2000;**21**:185-90.
- 15 Watts P, Newbury V, Sulentic J. Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *J Sports Med Phys Fitness.* 1996;**36**:255-60.
- 16 Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E, *et al.* Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol.* 2007;**101**:293-300.
- 17 Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974;**32**:77-97.

- 18 España-Romero V, Ruiz JR, Ortega Porcel F, *et al.* Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry. *J Sports Sci.* Submitted.
- 19 España-Romero V, Artero EG, Santaliestra-Pasias AM, *et al.* Hand span influences optimal grip span in boys and girls aged 6 to 12 years. *J Hand Surg [Am]*. 2008;**33**:378-84.
- 20 Sheel AW, Seddon N, Knight A, *et al.* Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;**35**:1225-31.
- 21 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 Occup Physiol.* 1997;**76**:174-80.
- 22 Ruiz JR, Espana-Romero V, Ortega FB, *et al.* Hand span influences optimal grip span in male and female teenagers. *J Hand Surg [Am]*. 2006;**31**:1367-72.
- 23 Ruiz-Ruiz J, Mesa JL, Gutierrez A, *et al.* Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *J Hand Surg [Am]*. 2002;**27**:897-901.
- 24 Mermier CM, Robergs RA, McMinn SM, *et al.* Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br J Sports Med.* 1997;**31**:224-8.
- 25 Quaine F, Vigouroux L, Martin L. Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Int J Sports Med.* 2003;**24**:424-7.
- 26 Watts P, Randall L. Reliability of peak forces during a finger curl motion common in rock climbing. *Measurement in Physical Education and Exercise Science.* 2003;**7**:263-7.
- 27 de Geus B, Villanueva O'Driscoll S, Meeusen R. Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *Eur J Appl Physiol.* 2006;**98**:489-96.
- 28 Billat V, Palleja P, Charlaix T, *et al.* Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;**35**:20-4.
- 29 Sheel AW. Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med.* 2004;**38**:355-9.
- 30 Watts PB, Drobish KM. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;**30**:1118-22.
- 31 O'Leary DS, Augustyniak RA, Ansoerge EJ, *et al.* Muscle metaboreflex improves O₂ delivery to ischemic active skeletal muscle. *Am J Physiol.* 1999;**276**:H1399-403.
- 32 Janot JM, Steffen JP, Porcari JP, *et al.* Heart rate responses and perceived exertion for beginner and recreational sport climbers during indoor climbing. *J Exerc Physiol.* 2000;**3**:1-7.
- 33 Quaine F, Martin L, Leroux M, *et al.* Three-dimensional joint moments analysis in a vertical quadrupedal posture associated with a leg release. *Arch Physiol Biochem.* 1997;**105**:136-43.
- 34 Quaine F, Martin L. A biomechanical study of equilibrium in sport rock climbing. *Gait Posture.* 1999;**10**:233-9.

- 35 Gutin B, Islam S, Manos T, *et al.* Relation of percentage of body fat and maximal aerobic capacity to risk factors for atherosclerosis and diabetes in black and white seven- to eleven-year-old children. *J Pediatr.* 1994;**125**:847-52.
- 36 Nuñez Álvarez VM, Da Silva ME, Viana B, *et al.* [Study of force in sports climbings]. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2005;**XXII**:27-32.
- 37 Seguin R, Nelson ME. The benefits of strength training for older adults. *Am J Prev Med.* 2003;**25**:141-9.

[Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte](#)- vol. 9 - número 35 - septiembre 2009 - ISSN: 1577-0354

