

DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA

FACULTAD DE MEDICINA

UNIVERSIDAD DE GRANADA

**DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA**  
**ASPECTOS METODOLÓGICOS**

**PHYSIOLOGICAL DETERMINANTS OF SPORT CLIMBING**  
**METHODOLOGICAL ASPECTS**



**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

**VANESA ESPAÑA ROMERO**

**2008**

Editor: Editorial de la Universidad de Granada  
Autor: Vanesa España Romero  
D.L.: GR. 490-2009  
ISBN: 978-84-691-9291-7



A mis padres y hermanas





DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA  
FACULTAD DE MEDICINA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

# DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA ASPECTOS METODOLÓGICOS

## PHYSIOLOGICAL DETERMINANTS OF SPORT CLIMBING METHODOLOGICAL ASPECTS

VANESA ESPAÑA ROMERO

### DIRECTORES DE TESIS

**Dr. Manuel Castillo Garzón**  
Catedrático de Universidad  
Universidad de Granada  
MD, PhD

**Dr. Ángel Gutiérrez Sainz**  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Granada  
MD, PhD

**Dr. Jonatan Ruiz Ruiz**  
Investigador Posdoctoral  
Universidad de Granada  
PhD

### MIEMBROS DEL TRIBUNAL

**Dr. Luís A Moreno Aznar**  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Zaragoza  
MD, PhD

**Dr. Marcos Gutiérrez Dávila**  
Catedrático de Universidad  
Universidad de Granada  
PhD

**Dr. Jorge Mota**  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Oporto  
PhD

**Dr. Pedro Sáenz-López Buñuel**  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Huelva  
PhD

**Dr. Eduardo Cervelló Gimeno**  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Miguel Hernández de Elche  
PhD



## CONTENIDOS

---

Becas y Financiación [Grants and funding] .....	10
Lista de publicaciones [List of Publications] .....	11
Resumen .....	12
Summary .....	13
Abreviaturas [Abbreviations] .....	14
Introducción [Introduction] .....	15
Objetivos .....	20
Aims .....	21
Referencias [References] .....	22
Material y Métodos [Material and Methods] .....	25
Resultados y Discusión [Results and Discussion] .....	29
1. Perfil del escalador de élite español (Artículo I)	
2. Aspectos metodológicos	
2.1 Grasa Corporal (Artículo II)	
2.2 Fuerza de presión manual (Artículos III, IV, V)	
3. Determinantes fisiológicos del rendimiento en escalada (Artículos VI, VII)	
Conclusiones .....	192
Conclusions .....	193
Curriculum Vitae abreviado [Short CV] .....	195
Agradecimientos [Acknowledgements] .....	201



## **BECAS Y FINANCIACIÓN**

---

El presente trabajo de investigación ha sido posible gracias a las subvenciones obtenidas en los siguientes proyectos de investigación.

- Estudio HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence). Proyecto financiado por la Comunidad Europea: European Community Sixth RTD Framework Programme (Contract FOOD-CT-2005-007034).
- Estudio IDEFICS (Identification and prevention of dietary and lifestyle health effects in children and infants). Proyecto financiado por la Comunidad Europea: European Community Sixth RTD Framework Programme (Contract FOOD-CT-2006-016181-2)
- Estudio ALPHA (Assessing Levels of Physical Activity and Fitness). Proyecto financiado por la Comunidad Europea: Public Health Executive Agency, DG SANCO, Health Information Strand (Ref. 2006120).
- Estudio Utilidad de la cerveza en la recuperación del metabolismo mineral, hormonal e inmunológico de deportistas tras realizar un esfuerzo físico. Proyecto financiado por el Centro de Información Cerveza y Salud.
- Comisión de Doctorado, Universidad de Granada. Ayudas para estancias breves en Centros de Investigación Extranjeros, 2008.
- Ayudas a Grupos de Investigación de la Junta de Andalucía. Grupo de Investigación en Evaluación Funcional y Fisiología del Ejercicio CTS 262. Facultad de Medicina y Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.

## LISTA DE PUBLICACIONES

---

La presente memoria de Tesis está compuesta por los siguientes artículos científicos:

- I. Características de rendimiento, antropométricas y de fuerza muscular en el escalador de élite español.  
España-Romero V, Ortega FB, García-Artero E, Ruiz JR, Gutiérrez A. *Selección: Revista española e iberoamericana de medicina de la educación física y el deporte*. 2006; 15(4): 176-183.
- II. Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry.  
España-Romero V, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Vicente-Rodríguez G, Moreno LA, Castillo MJ, Gutiérrez A. *J Sports Sci*. In press.
- III. Hand-size influences optimal grip span in male and female teenagers.  
Ruiz JR, España-Romero V, Ortega FB, Sjöstrom M, Castillo MJ, Gutiérrez A. *J Hand Surg [Am]*. 2006; 31(8): 1367-1372.
- IV. Hand span influences optimal grip span in boys and girls aged 6-12 years.  
España-Romero V, Artero EG, Santaliestra-Pasías AM, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. *J Hand Surg [Am]*. 2008; 33(3): 378-84.
- V. Elbow position affects handgrip strength in adolescents; Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers.  
España-Romero V, Ortega FB, Vicente-Rodríguez G, Artero EG, Rey PJ, Ruiz JR. *J Strength Cond Res*. In press.
- VI. Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high level sport climbers.  
España-Romero V, Ortega FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. *Submitted*.
- VII. Aspectos fisiológicos de la Escalada deportiva.  
España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Jiménez Pavón D, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. *submitted*

## RESUMEN

---

El interés científico sobre la escalada deportiva ha aumentado considerablemente en los últimos años. El porcentaje de grasa corporal y la fuerza de prensión manual han sido propuestos como posibles determinantes del rendimiento en la escalada deportiva. Por lo tanto, para poder interpretar de una manera más precisa estos parámetros es necesario realizar una estandarización de la metodología de evaluación. Ello a su vez, permitirá estudiar de forma más precisa los posibles determinantes fisiológicos de esta actividad deportiva.

El objetivo general de la presente memoria de Tesis Doctoral fue analizar los posibles determinantes fisiológicos del rendimiento en escalada deportiva, así como estandarizar la metodología existente para evaluar dichos parámetros fisiológicos en escaladores deportivos.

Un total de 42 escaladores de élite de 22 a 39 años, 206 adolescentes de 13 a 18 años, y 123 niños de 6 a 12 años conforman las poblaciones que han participado en los estudios que componen la presente memoria de Tesis doctoral.

Los principales resultados de esta Tesis sugieren que: a) Los escaladores de élite evaluados poseen un alto nivel de rendimiento, presentando, además, un bajo porcentaje de grasa corporal y una gran fuerza de prensión manual en relación al peso corporal. b) Para estimar el porcentaje de grasa corporal en escaladores de élite, las ecuaciones de Durnin para hombres y mujeres parecen ser las más exactas. c) Existe un tamaño de agarre óptimo, basado en el tamaño de la mano, al cual debería ser ajustado el dinamómetro cuando se evalúe la fuerza de prensión manual en niños y adolescentes. d) El protocolo más adecuado para evaluar con dinamómetro la fuerza de prensión manual es con el codo en completa extensión. Además, el dinamómetro TKK proporciona mayor validez y fiabilidad cuando se compara con el dinamómetro DynEx y Jamar. e) El tiempo de escalada hasta la extenuación es un determinante del rendimiento en escalada deportiva de alto nivel.

Los resultados de la presente memoria de Tesis ponen de manifiesto los determinantes fisiológicos de la escalada deportiva además de proporcionar una metodología estándar para evaluar algunos de los parámetros fisiológicos más importantes de esta modalidad deportiva.

## SUMMARY

---

Research on sport climbing has increased during the last years. Percentage body fat and handgrip strength have been suggested as possible determinants of sport climbing performance. Therefore, to interpret those parameters it is needed to standardise the testing methodology. Development of accurate methodology may help to better elucidate the physiological determinants in sport climbing.

The overall objective of this Thesis was to analyse the physiological determinants of sports climbing performance, as well as to standardise the testing methodology to evaluate those physiological parameters among elite sport climbers.

A total of 42 elite sport climbers (age 22 to 39 years), 206 adolescents (aged 13 to 18 years) and 123 children (age 6 to 12 years) were involved in the present work.

The main outcomes were: a) Spanish elite sport climbers have a high level performance. In addition, they have a low percentage body fat and a high relative handgrip strength. b) The Durnin's equation is the most accurate for estimating percentage body fat in sport climbers. c) There is an optimal grip span, established according to the hand size, to which the dynamometer should be adjusted when measuring handgrip strength in adolescents and children. d) The most appropriate protocol to assess maximal handgrip strength is with elbow in full extension. In addition, TKK dynamometer provides the highest criterion related validity and reliability compared to DynEx and Jamar dynamometers. e) Climbing time to exhaustion seems to be a determinant of climbing performance among a high level sport climbing .

The results of the present Doctoral Thesis highlight the physiological determinants in sport climbing. In addition, it provides a standard testing methodology to evaluate some of the most important physiological parameters in this sports discipline.

## ABREVIATURAS

---

ANOVA	Analysis of the variance
ASHT	American Society of Hands Therapists
BD	Body density
BF	Body fat
CI	Confidence interval
DT	Desviación típica
DXA	Dual-energy X-ray absorptiometry
EUROFIT	Council of Europe Committee for the Development of Sport
FC	Frecuencia cardiaca
GC	Grasa corporal
HELENA	Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence
IF	Índice de fatiga
ISAK	International Society for the Advancement of Kinanthropometry
SD	Standard deviation
SEEDO	Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad
SPSS	Statistical package for the social sciences
VO <sub>2max</sub>	Maximal oxygen consumption
VO <sub>2peak</sub>	Peak oxygen consumption
YDS	Yosemite decimal scale

## INTRODUCCIÓN

---

La escalada deportiva nace a mediados de los años 80 [1]. Desde entonces, la dificultad de las rutas de escalada, esto es, la dificultad del recorrido en la pared por el que el escalador progresa escalando, ha aumentado gracias a los seguros que se fijan permanentemente en la roca. Como consecuencia de ello, los escaladores han podido concentrarse principalmente en las dificultades físicas y técnicas que exige una determinada ruta de escalada, pasando a ser los aspectos psicológicos, como por ejemplo el miedo a la caída, un factor menos influyente en el rendimiento de 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 [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, en la montaña. Con los años, su popularidad ha ido en aumento, y gracias al desarrollo de la tecnología, hoy día en un rocódromo se puede practicar la escalada desde nivel iniciación hasta competiciones internacionales. La primera competición internacional realizada en un rocódromo data del año 1989 [1, 3].

### Nivel de dificultad en la escalada deportiva

Los escaladores han desarrollado varios sistemas subjetivos para clasificar el nivel de dificultad y peligro de una ruta de escalada. Entre los factores que contribuyen a asignar 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, y la dificultad técnica de los movimientos [1].

Los sistemas de clasificación varían entre países, pero los más usados son el sistema americano, esto es, la escala decimal de Yosemite (*Yosemite Decimal System*, YDS) y la escala francesa (sistema europeo) [1, 3]. El sistema americano 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. Por su parte, 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 grado 6. De este modo, una ruta clasificada como 6b+ debería ser más difícil que una ruta graduada de 6b, y ésta a su vez más difícil que otra clasificada como 6a+. Actualmente el nivel más difícil confirmado en el mundo es 5.15b ó 9b [5].

### **Características de rendimiento del escalador/a**

El aumento en el número de practicantes en esta modalidad deportiva y la proliferación de facilidades de la escalada urbana, a través de rocódromos y eventos competitivos, han contribuido al interés científico sobre la escalada deportiva en los últimos años [1, 3, 5]. Algunos autores han centrado sus trabajos en las características antropométricas y fisiológicas que definen al escalador [2, 6-11], mientras que otros se han interesado por las respuestas fisiológicas del organismo durante la escalada [4, 12-19]. Entre los posibles determinantes de la escalada, el porcentaje de grasa corporal y la fuerza de prensión manual han sido propuestos como los más importantes.

#### *- Porcentaje de grasa corporal*

Varios estudios han puesto de manifiesto la importancia de tener un bajo porcentaje de grasa corporal para poder alcanzar un alto rendimiento en escalada [3, 8-10], ya que un exceso de grasa corporal podría aumentar el esfuerzo muscular necesario para mantenerse o progresar por la pared [3]. Como consecuencia, el porcentaje de grasa corporal es uno de los parámetros más comúnmente medido entre los escaladores. Algunos métodos avanzados, tales como pesaje hidrostático, técnicas de agua marcada, pletismografía por desplazamiento de aire ó absorciometría dual de rayos-x permiten evaluar el porcentaje de grasa corporal de forma objetiva y precisa [20-22]. 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 porcentaje de grasa corporal en este tipo de estudios, y ha sido el método empleado en la mayoría de estudios de escalada deportiva [2, 8-11, 13, 14, 23, 24].

Los valores de porcentaje de grasa corporal varían en función del estudio, posiblemente por las diferentes ecuaciones antropométricas utilizadas. Para estimar el porcentaje de grasa corporal las ecuaciones más utilizadas han sido las de densidad corporal de Jackson & Pollock [23] empleando tres pliegues [9, 11], siete pliegues [2, 8, 10, 14] y

nueve pliegues cutáneos [13]. En otros estudios, han sido las ecuaciones de densidad corporal de Durnin & Womersley [24] tomando 4 pliegues cutáneos [6, 7]. La validez de estas ecuaciones en esta particular población deportiva no ha sido analizada con detenimiento, por lo que aún no ha sido del todo dilucidado si estas ecuaciones son las más adecuadas para estimar con precisión el porcentaje de grasa corporal en escaladores de élite.

#### *- Fuerza de prensión manual*

La fuerza de prensión manual se refiere a la fuerza máxima isométrica generada - principalmente- por los músculos del antebrazo y de la mano al realizar una prensión manual. Durante la escalada deportiva se utilizan una gran variedad de agarres que implican estos músculos [3]. Esto nos hace pensar que el escalador debe de poseer una alta fuerza de prensión manual. Sin embargo, la fuerza máxima de prensión manual del escalador expresada en valores absolutos, esto es en kilogramos de fuerza, parece no ser mayor que la fuerza observada en la población normal no practicante de escalada [3]. No obstante, cuando los valores de fuerza son expresados en relación al peso corporal de la persona, esto es, fuerza relativa, los escaladores sí parecen presentar una fuerza significativamente mayor que la población normal. Es por esto que la fuerza relativa de prensión manual ha sido empleada para caracterizar a los escaladores [3, 11].

El método empleado para evaluar la fuerza de prensión manual en la mayoría de los trabajos de escalada deportiva ha sido el dinamómetro manual [2, 6-10, 14, 18, 25]. El test de fuerza máxima con el dinamómetro manual se considera un test que, además de sencillo y económico, aporta una enorme información sobre el estado de salud de la persona [26, 27]. Sin embargo, el resultado de este test puede estar influenciado por varios factores tales como la edad, el género o diferentes ángulos del hombro, codo, antebrazo y muñeca [28-33]. Härkönen y col. [34] demostraron que la fuerza registrada variaba en función de la posición del agarre de la mano, lo cual era a su vez afectado ligeramente por la forma de la mano. En la misma línea, Ruiz y col. [35] mostraron en adultos la existencia de una longitud idónea de agarre en el dinamómetro, para obtener los valores máximos de fuerza de prensión manual de la persona, observando además que dicha longitud idónea venía determinada por el tamaño de la mano en las mujeres. Estos resultados sugieren la necesidad de una estandarización en el protocolo de evaluación de esta capacidad, para así obtener valores de fuerza máxima válidos y fiables, tanto en escaladores deportivos como en la población general.



*- Consumo máximo de oxígeno*

Junto con el porcentaje de grasa corporal y la fuerza de prensión manual, el consumo máximo (o pico) de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) ha sido otro parámetro fisiológico analizado en los trabajos científicos sobre escalada deportiva [4, 12, 13, 15, 16, 18]. Varios estudios han aportado valores de  $VO_{2max}$  evaluados a partir de los métodos de laboratorio más habituales, tales como tapiz rodante o cicloergómetro [12, 13, 15, 16, 18]. Sin embargo, estos métodos podrían no estar evaluando el verdadero  $VO_{2max}$  de los escaladores, dada su poca similitud con el gesto técnico propio de la escalada, especialmente en relación al trabajo requerido por los grupos musculares del tren superior [3]. De este modo, la posible interpretación de estos datos de cara a determinar intensidades relativas de esfuerzo en la escalada, es bastante limitada. Sólo Booth y col. [4] utilizaron un ergómetro especial de escalada para evaluar el  $VO_{2pico}$  específico de este deporte. Aun así, pese al avance en la metodología para su evaluación, no se sabe con certeza si la capacidad aeróbica es realmente un predictor del rendimiento en escalada, o si mejoras en la capacidad aeróbica estarían asociadas a mejoras en el rendimiento en esta modalidad deportiva [1, 3].

A la luz de los estudios analizados, es necesario una estandarización de la metodología de evaluación que permita obtener datos realmente válidos y fiables. Ello, a su vez, permitirá un estudio más profundo sobre los posibles determinantes fisiológicos de la escalada deportiva. Un análisis detallado de estas cuestiones es de suma importancia para que tanto investigadores, como entrenadores y escaladores, puedan planificar programas de entrenamiento adecuados a esta actividad deportiva. Además ayudaría a analizar otros aspectos de este deporte que aún no se han desarrollado en profundidad.

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

SISTEMA AMERICANO	SISTEMA EUROPEO
Escala decimal de Yosemite (YDS)	Escala Francesa
5.9	5
5.10a	5+
5.10b	6a
5.10c	6a+
5.10d	6b
5.11a	6b+
5.11b	6c
5.11c	6c+
5.11d	7a
5.12a	7a+
5.12b	7b
5.12c	7b+
5.12d	7c
5.13a	7c+
5.13b	8a
5.13c	8a+
5.13d	8b
5.14a	8b+
5.14b	8c
5.14c	8c+
5.14d	9a
5.15a	9a+
5.15b	9b
5.15c	9b+

## **OBJETIVOS**

---

### **General:**

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral fue analizar los determinantes fisiológicos del rendimiento en escalada deportiva, así como estandarizar la metodología existente para evaluar dichos parámetros fisiológicos en escaladores deportivos de alto nivel.

### **Específicos:**

- I.** Describir el nivel de rendimiento, características antropométricas y fuerza muscular del escalador de élite español.
- II.** Comparar la mayoría de las ecuaciones usadas para estimar el porcentaje de grasa corporal a través de pliegues cutáneos en escaladores de élite con el porcentaje de grasa corporal evaluado por absorciometría dual de rayos-X.
- III.** Determinar si el tamaño de la mano de los adolescentes influye sobre la máxima fuerza de prensión manual.
- IV.** Determinar si el tamaño de la mano de los niños/as de 6 a 12 años influye sobre la máxima fuerza de prensión manual.
- V.** Comparar la medida de fuerza de prensión manual en dos posiciones del codo (0 y 90 grados) usando tres dinamómetros diferentes: Jamar, DynEx y TKK, en adolescentes. Además, examinar la validez y fiabilidad de estos tres dinamómetros.
- VI.** Estudiar qué características fisiológicas y cineantropométricas determinan el rendimiento de escalada en una muestra homogénea de escaladores de alto nivel.
- VII.** Revisar las características específicas del escalador deportivo, así como de las exigencias fisiológicas en el desarrollo de la actividad.

## AIMS

---

### **Overall:**

The overall objective of this Thesis was to analyse the physiological determinants of sports climbing performance, as well as to standardise the testing methodological to evaluate those physiological parameters among sports climbers.

### **Specific:**

- I.** To analyse performance, anthropometric and muscle strength characteristics in Spanish elite sport climbers.
- II.** To compare the most commonly used equations for estimating percentage of body fat from skinfolds thickness in elite sport climbers with percentage of body fat measured by dual-energy X-ray absorptiometry.
- III.** To determine if there is an optimal grip span for determining the maximum handgrip strength in adolescents.
- IV.** To determine if there is an optimal grip span for determining the maximum handgrip strength in boys and girls aged 6-12 years.
- V.** To compare the handgrip strength measurements in adolescents at two different elbow angles (i.e. 0 and 90 degrees) using three different dynamometers: the Jamar, DynEx and TKK. Moreover, the criterion related validity and reliability of the studied dynamometers were also analysed.
- VI.** To improve our understanding of which physiological and cineanthropometric characteristics determine climbing performance in a homogeneous sample of high level sport climbers.
- VII.** To revise the specific characteristics of sports climber and the physiology responses during sport climbing.

## REFERENCIAS

---

- 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 Sheel AW. Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med.* 2004;38:355-9.
- 6 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.
- 7 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.
- 8 Watts PB, Joubert LM, Lish AK, *et al.* Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br J Sports Med.* 2003;37:420-4.
- 9 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.
- 10 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.
- 11 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.
- 12 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.
- 13 Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E, *et al.* Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101:293-300.
- 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 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.
- 16 Watts PB, Drobish KM. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:1118-22.
- 17 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.
- 18 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.
- 19 Morrison AB, Schoffl VR. Review of the physiological responses to rock climbing in young climbers. *Br J Sports Med*. 2007.
- 20 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.
- 21 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.
- 22 Fields DA, Goran MI. Body composition techniques and the four-compartment model in children. *J Appl Physiol*. 2000;89:613-20.
- 23 Jackson AS, Pollock ML. Practical Assessment of body composition. *Physician and Sport Medicine*. 1985;13:75-90.
- 24 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.
- 25 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.
- 26 Metter EJ, Talbot LA, Schragger M, *et al*. Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2002;57:B359-65.
- 27 Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, *et al*. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *Bmj*. 2008;337:a439.
- 28 Richards LG, Olson B, Palmiter-Thomas P. How forearm position affects grip strength. *Am J Occup Ther*. 1996;50:133-8.

- 29 Su CY, Lin JH, Chien TH, *et al.* Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75:812-5.
- 30 Mathiowetz V, Rennells C, Donahoe L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. *J Hand Surg [Am].* 1985;10:694-7.
- 31 Kraft GH, Detels PE. Position of function of the wrist. *Arch Phys Med Rehabil.* 1972;53:272-5.
- 32 Watanabe T, Owashi K, Kanauchi Y, *et al.* The short-term reliability of grip strength measurement and the effects of posture and grip span. *J Hand Surg [Am].* 2005;30:603-9.
- 33 Kato T, Miyamoto K, Shimizu K. Postural reaction during maximum grasping maneuvers using a hand dynamometer in healthy subjects. *Gait Posture.* 2004;20:189-95.
- 34 Harkonen R, Piirtomaa M, Alaranta H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. *J Hand Surg [Br].* 1993;18:129-32.
- 35 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.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

---

El material y métodos de la presente memoria de Tesis se muestran en una tabla resumen que presenta la información metodológica más relevante de los artículos que componen la presente memoria de Tesis.





**Tabla.** Resumen de la metodología utilizada en los artículos que componen la presente memoria de Tesis.

<b>Artículo</b>	<b>Diseño</b>	<b>Sujetos</b>	<b>VARIABLES ESTUDIADAS</b>	<b>Metodología</b>
<b>I.</b> Características de rendimiento, antropométricas y de fuerza muscular en el escalador de élite español	Transversal	23 escaladores elite; 11 hombres 12 mujeres Edad: 22-34 años	Rendimiento, experiencia, volumen de entrenamiento, peso corporal, pliegues cutáneos, fuerza de prensión manual, masa grasa y masa libre de grasa	Cuestionario de rendimiento de escalada, procedimiento estándar de antropometría, plicómetro Holtain, y dinamómetro manual TKK
<b>II.</b> Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry	Transversal	19 escaladores elite; 10 hombres 9 mujeres Edad: 23-39 años	Porcentaje de grasa corporal	Procedimiento estándar de antropometría, plicómetro Slim guide, 17 ecuaciones antropométricas y absorciometría dual de rayos-x
<b>III.</b> Hand span influences optimal grip span in male and females teenagers	Experimental Artículo metodológico	101 niños 106 niñas Edad: 13-18 años	Fuerza de prensión manual y tamaño de la mano	Dinamómetro manual (TKK)
<b>IV.</b> Hand span influences optimal grip span in boys and girls aged 6-12 years	Experimental Artículo metodológico	123 niños 70 niñas Edad: 6-12 años	Fuerza de prensión manual y tamaño de la mano	Dinamómetro manual (TKK)
<b>V.</b> Elbow position affects handgrip strength in adolescents; Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers	Experimental Artículo metodológico	31 niños 35 niñas Edad: 12-16 años	Fuerza de prensión manual en diferentes posiciones del brazo (0° vs 90°) Validez y fiabilidad de dinamómetros	Dinamómetro manual (TKK, DynEx y Jama)
<b>VI.</b> Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high level sport climbers	Transversal	16 escaladores elite; 8 hombres 8 mujeres Edad: 23-39 años	Masa grasa, masa libre de grasa y densidad mineral ósea. Longitud de brazos, ratio brazo/altura, antebrazo (área, anchura, masa grasa, masa libre de grasa, y densidad mineral ósea) y longitudes de mano y dedos. Flexibilidad, fuerza muscular y capacidad aeróbica	Absorciometría dual de rayos-x, cinta métrica, cajón de flexibilidad, dinamómetro manual, medidor de gases portátil, ergómetro específico de escalada
<b>VII.</b> Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva	Revisión	Escaladores/as	Composición corporal, características cineantropométricas, fuerza y resistencia muscular, flexibilidad, capacidad aeróbica	Revisión bibliográfica y contextualización de resultados propios



## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

Los resultados y discusión se presentan a continuación en la forma en que han sido previamente publicados/sometidos en revistas científicas.



# **1. PERFIL DEL ESCALADOR DE ÉLITE ESPAÑOL**

(Artículo I)



**CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO, ANTROPOMÉTRICAS  
Y DE FUERZA MUSCULAR  
EN EL ESCALADOR DE ÉLITE ESPAÑOL**

España-Romero V, Ortega FB, García-Artero E,  
Ruiz JR, Gutiérrez Sainz A

**Selección: Revista española e iberoamericana de medicina  
de la educación física y el deporte**

2006; 15(4): 176-183





## Fisiología del Ejercicio

# Características de rendimiento, antropométricas y de fuerza muscular en el escalador de elite español

V. España-Romero, F. B. Ortega Porcel, E. García-Artero, J. R. Ruiz, A. Gutiérrez Sainz

## Performance, anthropometric and muscle strength characteristics in Spanish elite rock climbers

### Resumen

**Objetivo:** Analizar las características de rendimiento, antropométricas y de fuerza muscular en escaladores de élite.

**Material y métodos:** Se registraron los años de escalada, días de escalada a la semana, vías más duras "a vista" y "trabajada", peso corporal, pliegues cutáneos y fuerza de prensión manual en 23 escaladores de élite (11 hombres y 12 mujeres). Además, se determinaron los porcentajes de masa grasa y masa libre de grasa.

**Resultados:** Los escaladores estudiados presentaban más de ocho años de experiencia, y alcanzaban niveles de escalada correspondientes al séptimo grado al primer intento y octavo grado en sucesivos intentos (máximo posible noveno grado). El porcentaje de masa grasa fue  $6,2 \pm 4,0$  % en hombres y  $12,0 \pm 2,2$  % en mujeres. La fuerza de prensión manual ( $\Sigma$  derecha e izquierda) en términos absolutos fue  $113,2 \pm 8,9$  kg y  $62,3 \pm 9,1$  kg, y en términos relativos  $1,7 \pm 0,1$  kg/kg peso y  $1,3 \pm 0,2$  kg/kg peso en hombres y mujeres, respectivamente.

**Conclusiones:** Estos resultados demuestran un alto nivel de rendimiento y son muy similares a los que presentan escaladores de élite mundial.

Selección, 2006; 15 (4):176-183

**Palabras clave:** Composición corporal. Antropometría. Fuerza muscular. Escalada en roca. Deportistas de élite.

### Summary

**Objective:** To analyse performance, anthropometric and muscle strength characteristics in elite rock climbers.

**Materials and methods:** Years of climbing experience, days/week of climbing, hardest outdoor "onsight", hardest outdoor "red point", body weight, skinfold thicknesses and handgrip strength were measured in 23 Spanish elite climbers (11 men and 12 women). Percentages of fat mass and fat free mass were assessed.

**Results:** Years of climbing exceeded 8 years. The climbing ability was seventh grade in the first attempt and eighth grade in the second or more attempts (maximum ninth grade). Percentage of fat mass was  $6.2 \pm 4.0\%$  in men and  $12.0 \pm 2.2\%$  in women. Handgrip strength ( $\Sigma$  right and left hand) was  $113.2 \pm 8.9$  kg and  $62.3 \pm 9.1$  kg for men and women respectively, and handgrip to body weight ratio was  $1.7 \pm 0.1$  and  $1.3 \pm 0.2$  in men and women, respectively.

**Conclusions:** These results show a high performance level and are similar to world cup sport climbers' results.

**Key words:** Body Composition. Anthropometric. Muscular Strength. Rock Climbing. Elite sports.

Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de Granada (Granada)  
EFECTS-262 (Evaluación Funcional y Fisiología del ejercicio. Ciencia y Tecnología para la Salud)

Recibido: 20.07.06  
Aceptado: 18.12.06

## Introducción

La escalada deportiva nace a mediados de los años 80. La dificultad de las vías de escalada (recorrido en la pared por el que se progresa escalando) ha aumentado gracias a los seguros que se fijan permanentemente en la roca. Como consecuencia de ello, los deportistas pueden concentrarse principalmente en las dificultades físicas y técnicas que exige una vía de escalada determinada, siendo los aspectos psicológicos un factor menos influyente en el rendimiento en esta modalidad deportiva (1).

En la misma línea, el nacimiento 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 simula la roca. Esta estructura está diseñada principalmente para deportistas que por falta de tiempo no pueden realizar esta actividad en su ámbito natural (i.e. en la montaña). En un rocódromo se puede practicar la escalada desde nivel iniciación hasta competiciones internacionales. La primera competición internacional realizada en un rocódromo data de 1989.

Los estudios científicos acerca de esta modalidad deportiva son escasos (2), y son menos los estudios que analizan en detalle las características del escalador de élite (1). En la revisión realizada para este artículo, no se encontraron datos publicados relativos a las características que presentan los escaladores de élite españoles. El objeto de este estudio es describir el nivel de rendimiento, características antropométricas y la fuerza muscular de escaladores de élite que participaron en diferentes pruebas de la Copa de España en el 2005. Ello nos permitirá, en primer lugar, caracterizar al escalador de élite español, y en segundo lugar, poder comparar al escalador de élite de nivel nacional (Copa de España) con los escaladores de élite de nivel mundial (Copa del Mundo) (1).

## Material y métodos

De un total de 59 participantes en la Copa de España de escalada deportiva, 23 participantes (11 hombres y 12 mujeres) decidieron voluntariamente participar en este estudio, tras haber sido debidamente informados del propósito y protocolo del mismo. La recogida de datos se llevó a cabo a lo largo de las 3 pruebas que componen la Copa de España entre mayo y junio de 2005.

### Variables de rendimiento en escalada

Los deportistas completaron un cuestionario espe-

cialmente diseñado (2) para estimar el rendimiento en escalada. Los datos permitieron recabar información acerca de la experiencia (años escalando), volumen de entrenamiento (días/semana de escalada) y rendimiento deportivo. Este último se definió como la vía más dura "a vista" (ascensión realizada sin previo estudio ni entrenamiento) y vía más dura "trabajada" (lograda tras estudio y entrenamiento previo) (1), siguiendo el sistema de clasificación utilizado habitualmente en España, el sistema de clasificación francés (Tabla I). Sin embargo, para facilitar el tratamiento estadístico de los datos, el grado de escalada fue convertido a una escala numérica estándar siguiendo la tabla de equivalencias propuesta por Watts y cols. (1).

### Variables antropométricas y de composición corporal

El método utilizado para estimar la composición corporal fue la antropometría. A continuación se detalla el equipo que se utilizó y la metodología para cada una de las medidas antropométricas. Todas las mediciones fueron realizadas tres veces, cuando una se desvió claramente de las otras, ésta fue desechada y

TABLA I		
Carta de conversión usada para estandarizar el grado de dificultad de la escalada deportiva		
Clasificación francesa		Conversión del grado
6	A	1,00
	a+	1,25
	B	1,50
	b+	1,75
	C	2,00
7	c+	2,25
	A	2,50
	a+	2,75
	B	3,00
	b+	3,25
8	C	3,50
	c+	3,75
	A	4,00
	a+	4,25
	B	4,50
9	b+	4,75
	C	5,00
	c+	5,25
	A	5,50
	a+	5,75

(Watts y cols., 1993)

las dos restantes promediadas. La denominación usada para referirse a los puntos anatómicos es la propia de la Sociedad Internacional para el desarrollo de la Cineantropometría o *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (ISAK) (3).

#### *Peso*

El peso corporal fue determinado con los sujetos descalzos, con pantalón corto y camiseta interior, usando una báscula modelo Seca 714 con precisión de 100 g (rango 0,1-130 kg).

#### *Pliegues cutáneos*

Los pliegues cutáneos se midieron en el hemicuerpo derecho, de forma estándar. Se midieron mediante un plicómetro modelo Holtain (rango 0-40 mm), con una presión constante de 10 g/mm<sup>2</sup> de superficie de contacto. Los pliegues cutáneos que fueron medidos para calcular la densidad corporal fueron tricípital, pectoral, abdominal y muslo anterior en hombres, y tricípital, subescapular, supraespinal y muslo en mujeres. El pliegue tricípital fue medido verticalmente, en la parte posterior del brazo, a la altura del punto medio entre el acromion y el borde más próximo y lateral de la cabeza del radio (marca acromial-radial medial). El pliegue pectoral se midió en el punto medio de la línea axila-pezones, en dirección oblicua hacia abajo. El abdominal, verticalmente a 5 cm a la derecha de la cicatriz umbilical. El pliegue del muslo anterior se tomó verticalmente en el punto medio de la línea que une el pliegue inguinal y el borde superior de la rótula. El subescapular a 2 cm por debajo del ángulo de la escápula, con una inclinación de 45°. El pliegue supraespinal fue medido en la intersección de dos líneas, aquella que une la marca iliocrestal (extremo inferior del borde de la espina iliaca antero-superior) con el borde axilar anterior, y la línea horizontal a nivel de la marca iliocrestal (punto en el aspecto más lateral del tubérculo iliaco, situado en la cresta iliaca).

#### *Perímetros corporales*

Los perímetros corporales se midieron con una cinta métrica de metal de 0,5 cm marca Lufcking (rango 0 - 150 cm). Se midieron los perímetros del brazo relajado, del antebrazo, tórax, muslo medio y pierna. El perímetro del brazo relajado se midió en la marca anatómica utilizada para el pliegue tricípital, es decir, punto acromio-radial medial. El perímetro del antebrazo se midió en el nivel de máxima anchu-

ra. El perímetro del tórax se midió a nivel de la marca anatómica denominada mesosternal, que se define como punto medio del cuerpo del esternón a nivel de la articulación de éste con la cuarta costilla (articulación condroesternal), al final de una espiración normal. El perímetro del muslo medio se midió en la marca trocantereo-tibial-lateral media, es decir, en el punto equidistante entre el trocanter mayor del fémur y el borde lateral de la cabeza tibial. El perímetro de la pierna se tomó en el nivel de máxima anchura del gastrocnemio.

#### *Diámetros Óseos*

Los diámetros óseos se midieron con un pie de rey modelo Holtain (rango 0-14 cm) en las localizaciones anatómicas de muñeca, biepicondilar del húmero y biepicondilar del fémur. El diámetro de la muñeca se consideró como la distancia entre las superficies externas de las dos apófisis estiloides. El biepicondilar del húmero como la distancia entre las superficies externas de los epicóndilos, con el brazo flexionado a 90°. Para el diámetro biepicondilar del fémur se midió la distancia entre las superficies externas de los dos cóndilos femorales, con el sujeto sentado y la rodilla flexionada a 90°.

Entre los índices antropométricos de composición corporal fueron estimados los porcentajes de masa grasa y masa libre de grasa. Se emplearon las ecuaciones de Jackson y Pollock (4) para hombres y Jackson y cols. (5) para mujeres para el cálculo de la densidad corporal. A partir de ésta se obtuvo el porcentaje de masa grasa por la fórmula de Brozek (6), de acuerdo con estudios científicos previos realizados con escaladores (1, 7-10).

#### **Variables de fuerza muscular**

El parámetro de fuerza muscular utilizado en este estudio fue la fuerza de prensión manual. Ésta se midió mediante un dinamómetro manual electrónico (DYnex™ de MD Systems, Inc., precisión ± 0,1 kg). Se realizaron tres intentos alternativos con cada mano (aleatoriamente) permitiendo a los escaladores descansar un minuto entre intentos. El escalador se mantuvo en una posición de pie, con los brazos paralelos al cuerpo y sin contacto alguno con éste. La variable de fuerza máxima de presión manual (fuerza máxima de prensión manual absoluta) se obtuvo tras calcular la media de los tres intentos para ambas manos. Este valor de fuerza máxima también fue expresado en relación a la masa corporal de cada individuo, lo que se considera como fuerza relativa.

### Análisis estadístico

Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica (DT). La normalidad de la distribución de las variables se analizó mediante el test de Shapiro-Wilk, para un nivel de significación del 10%. Las variables continuas normales fueron analizadas mediante análisis de la varianza de una vía (ANOVA de una vía). El análisis estadístico fue realizado con el programa estadístico SPSS versión 12.0 fijando el nivel mínimo de significación en el 5%.

### Resultados

#### Variables de rendimiento en escalada

Las variables relacionadas con el rendimiento de los escaladores se presentan en la Tabla II. Los escaladores evaluados, 11 hombres y 12 mujeres, poseían una experiencia de escalada de  $11 \pm 4,4$  años para los hombres y  $8 \pm 3,5$  años para las mujeres, y todos escalaban más de 5 días a la semana. En cuanto al rendimiento, todos ellos lograron superar vías "a vista", esto es al primer intento de un nivel medio entre 7c+ / 8a para hombres y entre 7b+ / 7c para mujeres, según la escala de clasificación francesa. Cuando la vía se "trabaja", es decir cuando hay preparación específica previa, tanto los hombres como las mujeres superaron el octavo grado de dicha escala, llegando hasta una media de 8b+ / 8c en la categoría masculina. En el rendimiento de escalada existen diferencias

significativas entre hombres y mujeres, tanto en las vías "a vista" ( $P \leq 0,5$ ) como en las vías "trabajadas" ( $P \leq 0,01$ ).

#### Variables de composición corporal

Los parámetros antropométricos de los escaladores de la copa de España se detallan en la Tabla III. El peso medio de los escaladores de la copa de España es  $66 \pm 3,1$  kg para los hombres y  $48,5 \pm 4,3$  kg para mujeres. El porcentaje de masa grasa es  $6,2 \pm 3,8$  y  $12,9 \pm 2,2$  en hombres y mujeres respectivamente, y el promedio de masa libre de grasa para los hombres es  $62,1 \pm 3,8$  kg y para las mujeres  $41,9 \pm 2,3$  kg. Existen diferencias significativas entre géneros en estos parámetros de peso, porcentaje de masa grasa y en el promedio de masa libre de grasa ( $P \leq 0,001$ ).

#### Variables de fuerza muscular

Los resultados de fuerza máxima de presión manual se presentan en la Tabla IV. Los valores de fuerza de presión manual fueron significativamente mayores en los hombres, tanto cuando se expresan en valores absolutos ( $P \leq 0,01$ ) como relativos al peso corporal ( $P \leq 0,01$ ). En las mujeres hubo una pequeña diferencia, aunque estadísticamente significativa, entre mano derecha e izquierda ( $31,8 \pm 4,3$  kg mano derecha vs  $30,6 \pm 4,8$  kg mano izquierda).

### Discusión

#### Variables de rendimiento en escalada

Este estudio nos aporta información sobre el perfil de los escaladores de élite que han participado en la Copa de España de escalada deportiva del 2005. Se trata concretamente de 23 escaladores con experiencia, ya que tanto los hombres como las mujeres practican este deporte desde hace más de ocho años. El volumen de entrenamiento tanto para hombres como para mujeres es de más de cinco días a la semana de escalada.

El nivel de rendimiento que poseen estos deportistas es alto y pueden ser considerados como expertos según la clasificación usada por Wall y cols. (2). Este nivel es mayor para los hombres que para las mujeres. El rendimiento entre los competidores del mismo sexo es muy homogéneo, tanto en las vías realizadas "a vista" como en las "vías trabajadas", tal y como nos indican los pequeños valores de desviación típica (Tabla II).

TABLA II

**Variables relacionadas con el rendimiento en escalada. Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica**

Variables	Hombres n = 11	Mujeres n = 12
Edad (años)	26 $\pm$ 2,6	27 $\pm$ 4,5
Experiencia (años escalando)	11 $\pm$ 4,4	8 $\pm$ 3,5
Volumen de entrenamiento (días/semana de escalada)	5 $\pm$ 1,1	5 $\pm$ 1,2
Rendimiento Grado máximo "a vista"	3,8 $\pm$ 0,5	3,3 $\pm$ 0,5*
Rendimiento Grado máximo "trabajado"	4,7 $\pm$ 0,7	4,1 $\pm$ 0,4*

*Diferencias entre hombres y mujeres \* ( $P \leq 0,5$ ); + ( $P \leq 0,01$ )*

TABLA III		
Parámetros antropométricos y composición corporal. Los valores se presentan como media $\pm$ desviación típica		
	Hombres (n = 11)	Mujeres (n = 12)
Peso	66 $\pm$ 3,1	48,5 $\pm$ 4,3*
<b>Pliegues cutáneos (mm)</b>		
Tricipital	3,6 $\pm$ 1,9	6,5 $\pm$ 2,8
Pectoral	3,7 $\pm$ 0,2	
Abdominal	8,0 $\pm$ 6,1	
Muslo Anterior	8,5 $\pm$ 8,3	17,0 $\pm$ 2,5
Supraespinal		4,2 $\pm$ 2,5
Subescapular		5,6 $\pm$ 3,0
<b>Perímetros corporales (cm)</b>		
Antebrazo	29,1 $\pm$ 1,0	23,5 $\pm$ 1,1
Brazo relajado	30,9 $\pm$ 1,5	24,9 $\pm$ 1,5
Tórax	87,0 $\pm$ 2,6	70,7 $\pm$ 2,6
Muslo medio	52,4 $\pm$ 2,1	48,0 $\pm$ 2,6
Gemelo	36,6 $\pm$ 1,3	32,3 $\pm$ 1,5
<b>Diámetros (cm)</b>		
Muñeca	5,9 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,3
Biepicondilar del húmero	8,6 $\pm$ 0,3	7,0 $\pm$ 0,5
Biepicondilar del fémur	10,5 $\pm$ 0,4	9,4 $\pm$ 0,5
<b>Composición corporal</b>		
Suma de 3 pliegues (mm)	20,2 $\pm$ 13,9 (pectoral+abdominal+muslo)	27,9 $\pm$ 6,4 (tricipital+supraespinal+muslo)
Densidad corporal (g/cm <sup>3</sup> )	1,09	1,07
Masa grasa (%) (Brozek y cols., 1963)	6,2 $\pm$ 3,8	12,9 $\pm$ 2,2*
Masa magra (kg)	62,1 $\pm$ 3,8	41,9 $\pm$ 3,0*
<i>Diferencias entre hombres y mujeres * (P <math>\leq</math> 0,001)</i>		

TABLA IV		
Fuerza máxima obtenida mediante el test de dinamometría manual. Los valores se presentan como media $\pm$ desviación típica		
	Hombres (n = 11)	Mujeres (n = 12)
<i>Mano</i>		
Fuerza máx. (kg)		
Derecha	56,3 $\pm$ 4,3	31,8 $\pm$ 4,3*
Izquierda	56,9 $\pm$ 5,9	30,6 $\pm$ 4,8* +
Derecha + Izquierda	113,2 $\pm$ 8,9	62,3 $\pm$ 9,1*
Fuerza relativa (kg/kg peso)		
Derecha	0,9 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1*
Izquierda	0,9 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1*
Derecha + Izquierda	1,7 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,2*
<i>Diferencias entre hombres y mujeres * (P <math>\leq</math> 0,01) y entre mano derecha e izquierda + (P <math>\leq</math> 0,001).</i>		

### VARIABLES DE COMPOSICIÓN CORPORAL

En cuanto a las variables relacionadas con los parámetros antropométricos y de composición corporal, Watts y cols. (1) publicaron valores de pliegues cutáneos de escaladores de élite en un campeonato del mundo muy similares a los que nosotros hemos encontrado en los escaladores de élite españoles. Además, el porcentaje de masa grasa de los escaladores españoles fue similar a los presentados por otros autores (1, 7, 11). Como era de esperar, los valores de masa grasa de los escaladores de élite son más bajos que los datos de referencia de la población española sedentaria sana (SEEDO) (12). Este porcentaje también es bajo cuando se compara con valores de jugadores masculinos de fútbol, de 8 a 14%, o jugadores de rugby, de 11 a 15% (13), lo cual parece ser una ventaja en aquellas disciplinas, como la escalada, que requieren sostener el propio peso por un tiempo mantenido y progresar por la pared. De hecho, el exceso de masa grasa supone un lastre durante la escalada, incrementando el esfuerzo muscular continuo y disminuyendo la eficiencia energética para el desarrollo de esta actividad deportiva. Por esta razón, el porcentaje de masa grasa se considera como un posible índice predictor de rendimiento en la escalada deportiva (14). Además de esto, existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en el peso, porcentaje de masa grasa y masa libre de grasa. Los escaladores masculinos presentan un mayor peso corporal que se distribuye en un menor porcentaje de grasa y mayor masa libre de grasa. La masa muscular está incluida en la masa libre de grasa y esta es superior en hombres que en mujeres. Esta podría ser una de las causas de que el rendimiento de los escaladores masculinos sea mayor que el de las mujeres. A pesar de esto, son necesarios más estudios para esclarecer las relaciones existentes entre los diferentes parámetros de composición corporal y el rendimiento deportivo.

En este estudio, no se ha observado una gran diferencia entre los escaladores de nivel nacional y mundial. Sin embargo, es sabido que en deportistas de alto nivel las diferencias antropométricas y funcionales son mínimas, pero suficientes para determinar diferencias en el rendimiento deportivo.

### VARIABLES DE FUERZA MUSCULAR

En relación a la fuerza de prensión manual, las mujeres tuvieron valores significativamente más bajos que los hombres, incluso cuando ésta fue expresada en función del peso corporal, fuerza relativa. Estas dife-

rencias pueden estar parcialmente explicadas por la menor masa libre de grasa y mayor masa corporal observada en las mujeres. En la población sedentaria sana de todas las edades las mismas diferencias con respecto a la fuerza manual han sido publicadas (15, 16). Los valores obtenidos en los escaladores españoles fueron más altos que los que se han publicado para población española sedentaria sana (15). Por el contrario, Grant y cols. (17) no encontraron diferencias en los valores de fuerza máxima de prensión manual de los escaladores de grado medio-bajo con respecto a la población americana sedentaria, pero sí observaron gran simetría de fuerza máxima entre mano derecha e izquierda en estos deportistas a diferencia de esta población estudiada.

Los escaladores masculinos españoles presentaron valores de fuerza de prensión manual similares entre ambas manos, en concordancia con estos datos publicados previamente (17). Por el contrario, en las mujeres se registraron valores de fuerza de prensión manual más altos en la mano derecha comparada con la mano izquierda. Esto puede ser debido a que el hombre, tras varios años de escalada y gracias a un perfil hormonal más favorable para ello, logra un mayor desarrollo de la fuerza llegando a igualar la mano más débil con respecto a la más fuerte. Esto podría indicar, en el caso de la mujer, que el avance en el rendimiento en la escalada podría ser debido no sólo a la fuerza sino también a un gran desarrollo de la técnica. Ello explicaría que en ellas se mantenga la diferencia de fuerza entre ambas manos.

Algunos autores han sugerido que la fuerza máxima expresada en valores absolutos no es una característica indicadora de rendimiento en la escalada (1, 13, 17-19). Por el contrario, la fuerza relativa (fuerza expresada en relación al peso corporal) podría ser un indicador más preciso de la fuerza asociada al rendimiento, al menos en este grupo de población.

### COMPARACIÓN CON VALORES DE ESCALADORES DE ÉLITE MUNDIAL

Los valores referentes al grado realizado "a vista" (Figura 1), peso corporal (Figura 2), porcentaje de masa grasa (Figura 3), fuerza máxima de prensión manual (Figura 4) y fuerza relativa de la mano derecha (Figura 5) de los escaladores de élite de la Copa de España de 2005 se han comparado con los valores de escaladores de élite de una prueba de la Copa del mundo denominada "On - site Difficulty" (1). Dicha prueba se llevó a cabo en el año 1993. A pesar de los años transcurridos, no se ha encontrado en la literatura científica datos más actuales de este nivel.

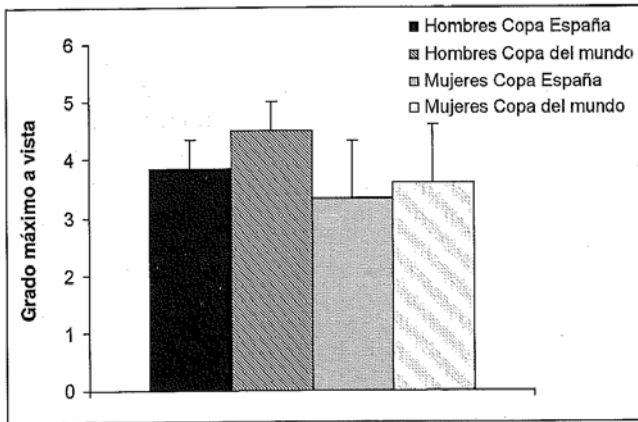


Figura 1. Grado máximo a vista de competidores Copa de España y Copa del mundo. Sistema de conversión del grado utilizado por Watts y cols. (1993). Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica.

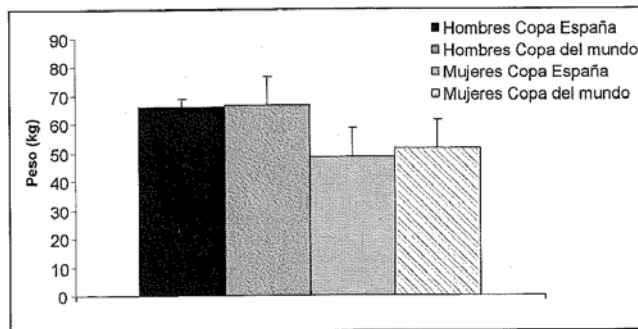


Figura 2. Peso corporal de competidores en Copa de España y Copa del mundo. Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica.

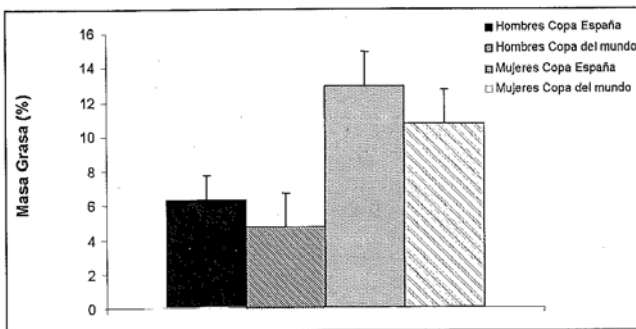


Figura 3. Porcentaje de masa grasa estimado a partir de la fórmula de Brozek y cols. (1963) en competidores de Copa de España y Copa del mundo. Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica.

La categoría masculina de la copa del mundo supera el octavo grado de escalada "a vista", en la escala de clasificación francesa. Los escaladores españoles alcanzan este mismo nivel sólo tras estudiar y entrenar

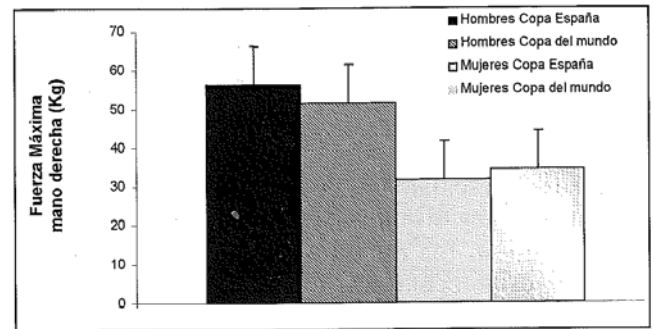


Figura 4. Fuerza máxima de mano derecha de competidores en Copa de España y Copa del mundo. Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica.

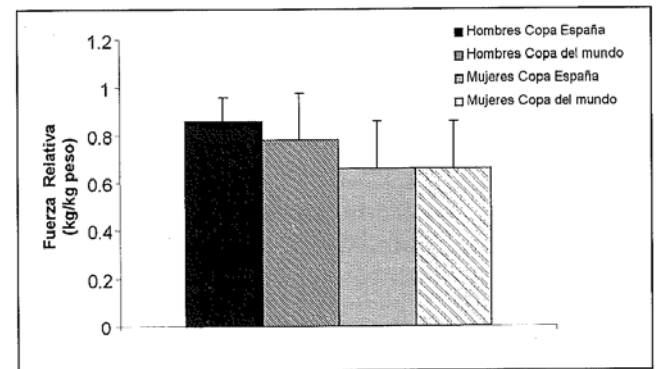


Figura 5. Fuerza relativa de competidores en Copa de España y Copa del mundo. Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación típica.

la vía previamente (Figura 1). Los escaladores de la copa del mundo presentaban un peso ligeramente superior (Figura 2), mientras que su porcentaje de masa grasa es menor (Figura 3). Por tanto, la masa libre de grasa de los escaladores de la copa del mundo es mayor, lo que podría explicar el mejor rendimiento de éstos comparado con los escaladores españoles.

Es necesario destacar que la fórmulas de estimación de la densidad corporal son del mismo autor, aunque se ha empleado la suma de tres pliegues (4, 5) en lugar de siete (20), pudiendo existir alguna mínima variación. Para el cálculo del porcentaje de masa grasa sí se utilizó la misma ecuación (6). A pesar de la similitud en las ecuaciones utilizadas, convendría resaltar que pueden existir diferencias metodológicas (material antropométrico, puntos anatómicos para la medición de los pliegues, condiciones ambientales, etc). Por otro lado, el rendimiento que se observa en la categoría femenina es muy homogéneo, pues en ambas competiciones las mujeres alcanzan el séptimo grado "a vista". Tanto en hombres como en mujeres, los valores de fuerza máxima de presión manual expresada



en términos absolutos (Figura 4) y relativos (Figura 5) es similar en los escaladores de ambas competiciones. Esto podría indicar que hay otros factores que podrían influir en el rendimiento en la escalada.

En resumen, los escaladores de élite españoles presentan un bajo porcentaje de masa grasa, comparable al que ha sido publicado en otros grupos de escaladores de élite mundial. Esto es lógico si tenemos en cuenta que la escalada deportiva es una modalidad que requiere -junto a un gran dominio de la técnica- poseer poca masa grasa, debido a que ésta supone un lastre para superarse por la pared. Por este mismo motivo, los escaladores poseen una gran fuerza de presión manual en relación al peso corporal.

En el futuro sería interesante analizar las características antropométricas en diferentes niveles de escalada deportiva y compararlas con este nivel de élite, lo que permitiría determinar si los parámetros antropométricos son o no determinantes para el rendimiento en esta modalidad deportiva.

Correspondencia:  
Dra. V. España Romero  
Grupo EFFECTS-262  
Departamento de Fisiología Médica  
Facultad de Medicina  
Universidad de Granada  
E-18071 Granada  
vanesaespana05@yahoo.es

## Bibliografía

1. Watts PB, Martin DT, Durtschi S. Anthropometry profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci* 1993; 11(2):113-117.
2. Wall CB, Starek JE, Fleck SJ, Byrnes WC. Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J Strength Cond Res* 2004; 18(1):77-83.
3. ISAK. *International Standards for Anthropometric Assessment. 1º Impresión. Australia 2001. ISBN 0 868037125.*
4. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978; 40: 487-504.
5. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12: 175-182.
6. Brozek J; Grand F; Anderson JT; Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 1963; 110: 113-140.
7. Watts PB, 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(4): 255-260.
8. Mermier CM, Robergs RA, Mcminn SM, Heyward. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br J Sports Med* 1997; 31(3):224-8.
9. Watts PB, Coleman M, Clure M, Dagget, Gallagher P, et al. Metabolic and cardiovascular responses during work on a high ropes course. *J Sports Med Phys Fitness* 1999; 39(1):37-41.
10. Watts PB, Daggett M, Gallagher P, Wilkins B. Metabolic responses during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *Int J Sports Med* 2000; 21(3):185-90.
11. Mermier CM, Janot JM, Parker DL, Swan JG. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med* 2000; 34(5): 359-66.
12. *Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad. (SEEDO) Consenso SEEDO 2000 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica. Med Clin (Barc) 2000. 115:587-597.*
13. Ruiz JR, González-Gross M, Mesa JL. Aspectos fisiológico-deportivos del futbolista de élite. Selección, *Revista Española e Iberoamericana de Medicina de la Educación Física y el Deporte* 2004; 13(3): 124-129.
14. Watts PB, Joubert LM, Lish AK, Mast, Wilkins B. Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br J Sports Med* 2003; 37(5): 420-424.
15. Castillo Garzón MJ, Ortega Porcel FB, Ruiz-Ruiz J. Improvement of physical fitness as anti-aging intervention. *Med Clin* 2005; 124(4):146-55.
16. Ruiz JR, España-Romero V, Ortega FB, Sjöström M, Castillo MJ, Gutierrez A. Hand-size influences optimal grip span in male and female adolescents. *J Hand Surgery (Am)* 2006; 31: 1367-72.
17. 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): 301-309.
18. Nuñez Alvarez VM, Edir Da Silva M, Bernardo V, Gómez Puerto JR, Poblador M, Lancho Alonso JL. Estudio de la fuerza en la escalada deportiva. *Arch Med Dep* 2005; 105(22):27-32.
19. Ferguson RA, Brown MD. Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and trained sedentary subjects. *Eur J Appl Physiol* 1997; 76(2):174-80.
20. Jackson AS, Pollock ML. Practical assessment of body composition. *Physician and Sports Medicine* 1985; 13: 75-90.

## **2. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

### **2.1 GRASA CORPORAL**

(Artículo II)



**BODY FAT MEASUREMENT IN ELITE SPORT CLIMBERS:  
COMPARISON OF SKINFOLD THICKNESS EQUATIONS  
WITH DUAL ENERGY X-RAY ABSORPTIOMETRY**

España-Romero V, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG,  
Vicente-Rodríguez, Moreno LA, Castillo MJ, Gutiérrez A

**J Sports Sci**

*In press*



**Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry**

España-Romero V<sup>1</sup>, Ruiz JR<sup>1,2</sup>, Ortega FB<sup>1</sup>, Artero EG<sup>1</sup>, Vicente-Rodríguez G<sup>3</sup>, Moreno LA<sup>3</sup>, Castillo MJ<sup>1</sup>, Gutiérrez A<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Department of physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada, Spain.

<sup>2</sup> Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge, Sweden.

<sup>3</sup> E.U. Health Sciences, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain

**Running title:** Body fat in sport climbers

**Address for correspondence:**

Vanesa España-Romero. Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, 18012, Granada, Spain. Tel: +34 958 243 540, Fax: +34 958 249 015, E-mail:

[vanespa@ugr.es](mailto:vanespa@ugr.es)

## ABSTRACT

The aim of this study was to compare equations for estimating percentage body fat (%BF) from skinfold thickness in elite sport climbers by assessing their degree of agreement with %BF measured using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). Skinfold thickness was measured in a convenience sample of 19 elite sport climbers (9 women and 10 men). Mean age was 31.2 (5.0) and 28.6 (3.6) in men and women, respectively. %BF was estimated using 17 different equations, and it was also measured by DXA. A significant inter-methods difference was observed for all equations, except for Durnin's equation in men (inter-methods difference: -0.57% and -0.29%; 1.96 SD: 5.56 and 5.23 for Siri's and Brozek's equation, respectively) and women (inter-methods difference: -0.67% and -1.29%, for Siri's and Brozek's equation, respectively), and for Wilmore's equation using Siri's body fat equation in women (inter-methods difference: -1.86%). In women, limits of agreement were lower when using Durnin's equation compared to Wilmore's equation (1.96 SD: 3.86% vs 5.13%, respectively). In conclusion, out of the 17 studied equations, the Durnin's equation is the most accurate in estimating %BF in both male and female elite climbers. Therefore, Durnin's equation could be used to assess %BF in elite sport climbers if more accurate methods are not available. The generalisability of the results is limited by the fact that the sample was not randomly selected.

**Key words:** Skinfold thickness equations, fat mass, dual-energy X-ray absorptiometry, sport climbing.

## INTRODUCTION

Sport climbing is being increasingly practiced either as a training mode for rock climbing or as a recreational activity (Watts, 2004). It can be performed either indoors or outdoors. Indoor sport climbing is characterised by movements on the walls fitted with artificial hand and foot holds. Outdoor sport climbing requires similar movements but performed in natural rocks (Booth *et al.*, 1999). Research on rock climbing has increased during the last years and it has been mainly focused on energy demands (Mermier *et al.*, 1997; Watts & Drobish, 1998; Booth *et al.*, 1999; Watts *et al.*, 2000; Watts, 2004; Giles *et al.*, 2006) and on the climbers' anthropometric characteristics (Watts *et al.*, 1993; Mermier *et al.*, 1997; Watts *et al.*, 2003).

Several studies have highlighted the importance of having a low percentage body fat (%BF) for high climbing performance (Grant *et al.*, 1996; Booth *et al.*, 1999; Watts *et al.*, 2003; Watts, 2004; España-Romero *et al.*, 2006; Giles *et al.*, 2006). Consequently, %BF is routinely measured among climbers. Underwater weighing, air displacement plethysmography, labelled water techniques or dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) are considered reference methods to assess body composition (Wells *et al.*, 1999; Fields & Goran, 2000; Parker *et al.*, 2003). However, these methods are still not suitable enough to be used in field-based studies. Anthropometry is one of the most widely used methods in field-based studies, and it has also been used in sport climbing.

There are several skinfold-based equations to assess %BF through anthropometry (Table 1). Several studies have analysed the validity of these equations against DXA in different populations (Sartorio *et al.*, 1997; De Lorenzo *et al.*, 1998; Rodriguez *et al.*, 2005).

In sport climbing, %BF has commonly been estimated with the Jackson and Pollock's body density equation (Jackson & Pollock, 1985; Siri, 1993), and then with the Brozek's equation (Brozek *et al.*, 1963) to estimate body fat (Watts *et al.*, 1993; Watts *et al.*, 1996; Mermier *et al.*, 1997; Watts, 1999; Mermier *et al.*, 2000; Watts *et al.*, 2000). However, the validity of



these equations has not been thoroughly studied in this particular sport discipline, therefore whether these equations can accurately estimate %BF in elite climbers is not known.

The aim of the present study was to compare the most commonly used equations for estimating %BF from skinfold thickness in elite sport climbers against DXA.

**\*\*\*Table 1 near here\*\*\***

## **METHODS**

### **Participants**

A convenience sample of 19 Caucasian elite sport climbers (9 women and 10 men) participated in the study. Written informed consent was obtained from all participants. The study was approved by the Review Committee for Research Involving Human Subjects of the University of Granada. We collected detailed information about climbing experience and performance (Wall *et al.*, 2004). All participants were free of disease and confirmed to have a minimum of three years of climbing experience. Climbing frequency was, at least, three days per week. Self-reported onsight climbing performance was determined as the most difficult trial completed on lead, based on the Yosemite decimal system (Watts, 2004). This system is based on a decimal scale ranging from 5.0 (very easy) to 5.15 (very difficult). Routes of  $\geq 5.10$  are further subdivided into a, b, c and d grade (Bertuzzi *et al.*, 2007). Currently, the hardest confirmed grade in the world is 5.15a (Giles *et al.*, 2006). Self-reported onsight climbing performance of our participants ranged from 5.11a to 5.12d in women and from 5.11c to 5.13d in men. The climbing ability variable was converted to a standard numerical scale to enable calculations and statistical analyses (Watts *et al.*, 1993).

### **Anthropometric measurements**

Anthropometric measurements were performed following the International Society for the Advancement of Kinanthropometric's protocol (ISAK., 2001). All anthropometric measurements were conducted by the same technician, who was previously certificated by the ISAK. The technical error of the measurements was within the ISAK standards (Gore *et al.*, 1996). Intra-tester error was 2.96% for skinfold thickness measurements, and 0.29% for the other measurements.

Body weight was measured with a Seca scale (SECA, Vogel & Halke GmbH & CO. KG, Hamburg, Germany; precision of 0.1 kg) and with participant in underwear and barefoot.

Height was measured with a stadiometer incorporated in the scale (SECA, Vogel & Halke GmbH & CO. KG, Hamburg, Germany, precision of 0.1 cm). The participant was instructed to take and hold a full breath. Stretched height with the head at the Frankfort plane was recorded.

Skinfold thickness was measured on the right side of the body to the nearest 0.1 mm with a skinfold calliper (Slim guide Tom Kit Rosscraft® Canada) at the following sites: *triceps*, a vertical fold halfway between the acromion process and the superior head of the radius, in the posterior aspect of the arm; *biceps*, at the same level as the triceps skinfold and directly above the centre of the cubital fossa; *subscapular*, about 20 mm below the inferior angle of the scapula and 45° to the lateral side of the body; *iliac crest*, immediately above the marked iliocrestale (the point on the most lateral aspect of the iliac tubercle, which is on the iliac crest). The line of the skinfold generally runs slightly downward posterior-anterior, as determined by natural fold lines of the skin. According to the ISAK' protocol, the iliac crest site is very similar to the site that Durnin (Durnin & Womersley, 1974) called the suprailiac skinfold in women; *supraspinale* is raised at the intersection of two lines, the line from the marked iliospinale (the most inferior or undermost part of the tip of the anterior superior iliac crest) to the anterior axillary border, and the horizontal line at the level of the marked iliac crest skinfold. Supraspinale skinfold runs medially downward at about 45° angle; *abdominal*, a vertical fold raised 5 cm from the right hand side of the navel; *thigh*, in the midline of the anterior aspect of the thigh, midway between the inguinal crease and the proximal border of the patella; and *medial calf*, at the level of the maximum calf circumference, on the medial aspect of the calf.

The *arm relaxed* circumference was also measured on the right side of the body to the nearest 0.1 cm. It was measured halfway between the acromion process and the superior head of the radius, at the same level of triceps and biceps skinfold. A flexible anthropometric steel tape

(Lufkin W 606 p.m.; Cooper Industries, Lexington, Surrey, Canada) of 0.5 cm width was used.

We measured all the anthropometric variables in order, and then we repeated the same measurement two more times. The average of the three measurements was used in the analyses.

### **Percentage body fat estimation by skinfold thickness**

The 17 equations analysed in this study are among the most commonly used to estimate %BF from skinfold thickness (Table 1). The equations are logarithmic (Durnin & Womersley, 1974; Withers *et al.*, 1987b), linear (Sloan *et al.*, 1962; Sloan, 1967; Wilmore & Behnke, 1969; Wilmore & Behnke, 1970; Katch & McArdle, 1973; Pollock *et al.*, 1975; Lewis, 1978; Withers *et al.*, 1987a) or quadratic (Thorland *et al.*, 1984; Jackson & Pollock, 1985). These equations estimate body density first, and then %BF using the equations described either by Siri (Siri, 1961) or by Brozek (Brozek *et al.*, 1963).

### **DXA measurements**

A full body DXA scanner (Norland XR- 46; Medical System, Inc. Fort Atkinson, WI, USA) with XR software was used to measure fat mass. All DXA scans were performed by the same technician, who was previously trained in the operation of the scanner, the positioning of subjects, and the analysis of results (Pietrobelli *et al.*, 1996). %BF was calculated as [(fat mass / (fat mass + bone-free lean tissue mass + bone mineral content)) x 100].

### **Statistical analysis**

All variables were checked for normality using the Kolmogorov-Smirnov test. All the variables showed a satisfactory pattern. Agreement between DXA and the equations was determined using Bland-Altman plots (Bland & Altman, 1986). Validity and the lack of agreement between DXA and the equations was assessed by calculating the bias, that is, the inter-methods difference and standard deviation (SD) of the differences. The 95% confidence intervals for the bias and the 95% limits of agreement (bias  $\pm$  1.96 SD) were also calculated. The difference between methods (equation vs DXA) were analysed by paired t-test.

Heteroscedasticity was examined by using linear regression analysis in order to determine whether the absolute inter-methods difference was associated with the magnitude of the measurement (i.e., inter-methods mean). A significant association ( $P < 0.05$ ) would confirm heteroscedasticity.

Statistical analyses were performed using the “Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)” software 14.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The level of significance was set at  $P < 0.05$ .

## RESULTS

The characteristics of the studied climbers are shown in Table 2.

**\*\*\*Table 2 near here\*\*\***

%BF estimated and the inter-methods difference for all the studied equations are shown in Table 3. All skinfold equations were analysed with both Siri's and Brozek's body fat equation. Overall, it can be observed that the inter-methods difference seems to be higher when using Siri's equation than when using Brozek's equation for men, and the opposite for women. The 95% limits of agreement ranged from 3.42 to 7.13. In men, a significant ( $P<0.01$ ) inter-methods difference was found for all the studied equations (ranging from -2.3% to -6.5%), except for Durnin's equation. Durnin's equation did not show a significant mean difference against DXA (inter-methods difference: -0.57% and -0.29% with Siri's and Brozek's equation, respectively), with a 95% limits of agreement of 5.56 with Siri's and 5.23 with Brozek's equation. In women, Durnin's as well as Wilmore's equations (using Siri's body fat equation) did not show significant difference against DXA. Both inter-methods difference and limits of agreement were lower when using Durnin's equation compared with Wilmore's equation (inter-methods difference: -0.67% vs -1.86%; limits of agreement: 3.86 vs 5.13, respectively). With Brozek's body fat equation, only Durnin's body density equation did not show a significant difference against DXA, although with a higher inter-methods difference compared with that obtained when using Siri's equation (-1.29% vs -0.67%, respectively) (Table 3). The results did not materially change when the analysis were repeated using the median of the three skinfold instead of the mean value.

**Table 3 near here**

The equations with a non-significant inter-methods difference, that is, Durnin's equation in both women and men, and Wilmore's equation in women, were plotted according to the Bland-Altman approach (Figure 1). Additionally, we show the Bland-Altman plot of two equations with a large inter-methods difference (Sloan's equation in men, and Thorland's equation in women) (Figure 2).

**\*\*\*Figure 1 and 2 near here\*\*\***

We only observed heteroscedasticity (increase in the variance with increase in the magnitude) in men using Wilmore's equation ( $P < 0.001$ ).

## DISCUSSION

Anthropometry is one of the most common methods both in clinical and field setting (Rodríguez *et al.*, 2005), yet it should be used with caution due to the known considerable amount of inter-individual variability (Clasey *et al.*, 1999). Skinfold thickness measurement seems a better predictor of %BF than other simple anthropometric parameters such as body mass index (Sarria *et al.*, 1998). Direct measurements of adiposity with magnetic resonance imaging or computed tomography provide more accurate information, however, this cannot be used for field studies due to their cost and technical difficulties. In rock climbing, skinfold thickness is a commonly used method to characterize the individual's body composition (Watts *et al.*, 1993; Watts *et al.*, 2003; España-Romero *et al.*, 2006).

Validation studies examining the accuracy of the existing equations that estimates %BF against a reference method have been conducted in children (Parker *et al.*, 2003), adolescents (De Lorenzo *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2005), adults (Yao *et al.*, 2002; Peterson *et al.*, 2003), and older adults (Goran *et al.*, 1997), as well as in athletes, such as collegiate wrestlers (Carey, 2000).

In adolescents, the equations proposed by Slaughter (Slaughter *et al.*, 1988) and Deurenberg (Deurenberg *et al.*, 1990) have shown to predict fatness with negligible inter methods difference compared to DXA on a group-mean basis, yet their accuracy and precision were poor at individual level (De Lorenzo *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2005). In 71 healthy adults, Durnin's skinfold equation used in Brozek's body fat equation was the most accurate for estimating %BF against isotope dilution (Yao *et al.*, 2002). However, Peterson *et al.* (Peterson *et al.*, 2003) reported that Durnin's as well as Jackson and Pollock's equations underestimate %BF compared to the 4 compartment model (a combination of hydrostatic weighing, deuterium oxide dilution, and DXA) in 86 and 91 healthy men and women, respectively.



To our knowledge, this is the first time that equations estimating %BF have been compared with DXA in elite climbers. The results of the present study show that most of the available equations for estimating %BF substantially underestimate the %BF in elite rock climbers, as measured by DXA. However, the equations proposed by Durnin (Durnin & Womersley, 1974) in both equations of body fat (Siri and Brozek) for men and women, and Wilmore (Wilmore & Behnke, 1970) in Siri's equation, for women, show a relatively accurate estimation of %BF in the studied elite sport climbers. To note is that both equations have wide limits of agreement, which implies the potential to over or underestimate the %BF by around 4-5%.

A similar study was performed in 22 collegiate wrestlers (Carey, 2000). The authors compared %BF measurements using hydrostatic weighing against several skinfold equations. According to their findings, Katch's equation was considered a valid equation for collegiate wrestlers, while Durnin's, Thorland's, and Jackson and Pollock's equations were not considered acceptable. Compared to our study, the differences observed in the accuracy obtained with Durnin's equation could be due to the different reference methods used (hydrostatic weighing vs DXA). There is some controversy about whether DXA should be considered a reference method for estimating body soft tissue (Clark *et al.*, 1993; Black *et al.*, 2001). Most of the skinfold thickness equations have been derived from hydrostatic weighing, yet, several studies have not shown significant differences between %BF measured by either DXA or by hydrostatic weighing (Wang *et al.*, 1998; Norcross & Van Loan, 2004). Studies examining the validity of DXA in athletic populations, and especially in elite sport climbers, are scarce, therefore, whether DXA is a valid method to be used in this specific population requires further research. Prior *et al.* validated whole body composition estimates from DXA against estimates from a four-component model in a large group (n=172) of young, black and white, athletic and non-athletic, and men and women who varied markedly in body size,

musculoskeletal development, and proportion of fat (Prior *et al.*, 1997). They showed that %BF obtained with DXA was similar to that obtained with the four-component model ( $0.4 \pm 2.9\%$ ,  $P=0.10$ ). They also reported that race, athletic status, and musculoskeletal development did not significantly affect the relationship between %BF obtained with DXA and %BF obtained with the four-component model.

The heteroscedasticity analysis did not reveal any association between the magnitude and the variance between methods, except for Wilmore's equation in men ( $P<0.001$ ). It is well known that the accuracy in %BF estimation by skinfold thickness is higher in lean subjects compared to obese subjects (Rodriguez *et al.*, 2005), given that the greater the skinfold the higher the variability. The low %BF together with the homogeneous sample of elite sport climbers analysed in the present study could explain the absence of heteroscedasticity observed. The equation proposed by Durnin (Durnin & Womersley, 1974) in both equations of body fat (Siri and Brozek), and Willmore (Willmore & Behnke, 1970) using Siri's equation in women showed a valid %BF estimation, yet the inter-methods difference as well as the 95% limits of agreement were lower in the case of Durnin's equation. Therefore, Durnin's equation can be considered as the most appropriate equation for estimating %BF in both male and female elite sport climbers.

The lowest inter-methods difference observed when using Durnin's equation could be partially explained by the fact that all the skinfolds used by this equation are located in the upper body. Stewart and Hanna (Stewart & Hannan, 2000) concluded that Durnin's equation overestimated %BF relative to DXA (Hologic QDR 1000W). So other possible explanation could be that both the Norland DXA scanner and well as Durnin's equation overestimate %BF to the same extent. Studies with larger samples are needed to confirm these findings. In addition, Durnin's equation was not specifically designed for athletes, yet the participants were selected to represent a variety of body types. They recruited volunteers from obesity

clinics, local health clubs, sports organizations, ballet company, etc. Therefore, the characteristics of our subjects might be represented by the sample studied by Durnin.

These findings provide useful and relevant information about the validity of these equations for estimating %BF in elite sport climbers. Whether this can be applied to other sport disciplines where a low %BF is a key determinant for the performance is not known and warrants further research.

Some limitations should be recognized. The Slim Guide may not be the most frequently used skinfold calliper in anthropometric studies, and there might be some differences between different skinfold callipers. However, the Slim Guide provides a valid measure of the skinfold thickness when compared to the Harpenden, which is considered the most accurate calliper available (Schmidt & Carter, 1990). In addition, the hydration status of the participants was not taken into account, yet the participants were asked to abstain from exercise the day before testing, and to avoid eating within the previous 2 h prior the tests. It should also be recognized that the number of participants is not large, and that the sample was not randomly selected, which limits the generalisability of the results. The selection of a homogeneous sample of elite sport climbers, together with the harmonization of anthropometric methodology in order to reduce technical errors of measurement, are notable strengths.

In conclusion, the results of the present study suggest that out of the 17 equations studied, the Durnin's equation is the most accurate for estimating %BF in both male and female elite sport climbers. The prediction of %BF by this equation may help to better estimate the %BF in elite sport climbers when other more accurate methods are not available.

## REFERENCES

- Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E & Kiss MA (2007) Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology* 101, 293-300.
- Black A, Tilmont EM, Baer DJ, Rumpler WV, Ingram DK, Roth GS & Lane MA (2001) Accuracy and precision of dual-energy X-ray absorptiometry for body composition measurements in rhesus monkeys. *Journal of Med Primatology* 30, 94-99.
- Bland JM & Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307-310.
- Booth J, Marino F, Hill C & Gwinn T (1999) Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine* 33, 14-18.
- Brozek J, Grande F, Anderson JT & Keys A (1963) Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 110, 113-140.
- Carey D (2000) The validity of anthropometric regression equations in predicting percent body fat in collegiate wrestlers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 40, 254-259.
- Clark RR, Kuta JM & Sullivan JC (1993) Prediction of percent body fat in adult males using dual energy x-ray absorptiometry, skinfolds, and hydrostatic weighing. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise* 25, 528-535.
- Clasey JL, Kanaley JA, Wideman L, Heymsfield SB, Teates CD, Gutgesell ME, Thorner MO, Hartman ML & Weltman A (1999) Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women. *Journal of Applied Physiology* 86, 1728-1738.
- De Lorenzo A, Bertini I, Candeloro N, Iacopino L, Andreoli A & Van Loan MD (1998) Comparison of different techniques to measure body composition in moderately active adolescents. *British Journal of Sports Medicine* 32, 215-219.
- Deurenberg P, Pieters JJ & Hautvast JG (1990) The assessment of the body fat percentage by skinfold thickness measurements in childhood and young adolescence. *British Journal of Nutrition* 63, 293-303.
- Durnin JV & Womersley J (1974) 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. *British Journal of Nutrition* 32, 77-97.
- España-Romero V, Ortega Porcel F, García-Artero E, Ruiz JR & Gutiérrez Sainz A (2006) [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* 15, 176-183.
- Fields DA & Goran MI (2000) Body composition techniques and the four-compartment model in children. *Journal of Applied Physiology* 89, 613-620.
- Giles LV, Rhodes EC & Taunton JE (2006) The physiology of rock climbing. *Sports Medicine* 36, 529-545.
- Goran MI, Toth MJ & Poehlman ET (1997) Cross-validation of anthropometric and bioelectrical resistance prediction equations for body composition in older people using the 4-compartment model as a criterion method. *Journal of American Geriatric Society* 45, 837-843.
- Gore C, Norton K, Olds T, Whittingham N, Birchall K, Clough M, Dickerson B & Downie L (1996) Accreditation in anthropometry: An Australian model. In Norton K, Olds T eds. *Anthropometrica*. University of New South Wales Press, Sydney, 395-411.

- Grant S, Hynes V, Whittaker A & Aitchison T (1996) Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sports Sciences* 14, 301-309.
- ISAK. (2001) International Standards for Anthropometric Assessment. 1°. Impresion. Australia.
- Jackson AS & Pollock ML (1985) Practical Assessment of body composition. *Physician and Sport Medicine* 13, 75-90.
- Katch FI & McArdle WD (1973) Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women. *Human Biology* 45, 445-455.
- Lewis SH, WL. Perry, C. Kovacevic, C. & Wood, PD. (1978) *Body composition of middle-aged female endurance athletes*. Florida: Symposi Specialist Inc.
- Mermier CM, Janot JM, Parker DL & Swan JG (2000) Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal Sports Medicine* 34, 359-365; discussion 366.
- Mermier CM, Robergs RA, McMinn SM & Heyward VH (1997) Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal Sports Medicine* 31, 224-228.
- Norcross J & Van Loan MD (2004) Validation of fan beam dual energy x ray absorptiometry for body composition assessment in adults aged 18-45 years. *British Journal Sports Medicine* 38, 472-476.
- Parker L, Reilly JJ, Slater C, Wells JC & Pitsiladis Y (2003) Validity of six field and laboratory methods for measurement of body composition in boys. *Obesity Research* 11, 852-858.
- Peterson MJ, Czerwinski SA & Siervogel RM (2003) Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model. *American Journal of Clinical Nutrition* 77, 1186-1191.
- Pietrobelli A, Formica C, Wang Z & Heymsfield SB (1996) Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American Journal of Physiology* 271, E941-951.
- Pollock ML, Laughridge EE, Coleman B, Linnerud AC & Jackson A (1975) Prediction of body density in young and middle-aged women. *Journal of Applied Physiology* 38, 745-749.
- Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, Evans EM, Sloniger MA, Saunders M & Lewis RD (1997) In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Applied Physiology* 83, 623-630.
- Rodriguez G, Moreno LA, Blay MG, Blay VA, Fleta J, Sarria A & Bueno M (2005) Body fat measurement in adolescents: comparison of skinfold thickness equations with dual-energy X-ray absorptiometry. *European Journal of Clinical Nutrition* 59, 1158-1166.
- Sarria A, Garcia-Llop LA, Moreno LA, Fleta J, Morellon MP & Bueno M (1998) Skinfold thickness measurements are better predictors of body fat percentage than body mass index in male Spanish children and adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition* 52, 573-576.
- Sartorio A, Narici M, Conti A, Giambona S, Ortolani S & Faglia G (1997) Body composition analysis by dual energy x-ray absorptiometry and anthropometry in adults with childhood-onset growth hormone (GH) deficiency before and after six months of recombinant GH therapy. *Journal of Endocrinology Investigation* 20, 417-423.
- Schmidt PK & Carter JE (1990) Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers. *Human Biology* 62, 369-388.

- Siri W (1961) Body volume measurement by gas dilution. In J. Brozek, A. Henschel, (Eds.), *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, DC. National Academy of Sciences, National Research Council., 108-117.
- Siri WE (1993) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition* 9, 480-491; discussion 480, 492.
- Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD & Bembien DA (1988) Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology* 60, 709-723.
- Sloan AW (1967) Estimation of body fat in young men. *J Appl Physiol* 23, 311-315.
- Sloan AW, Burt JJ & Blyth CS (1962) Estimation of body fat in young women. *Journal of Applied Physiology* 17, 967-970.
- Stewart AD & Hannan WJ (2000) Prediction of fat and fat-free mass in male athletes using dual X-ray absorptiometry as the reference method. *Journal of Sports Sciences* 18, 263-274.
- Thorland WG, Johnson GO, Tharp GD, Housh TJ & Cisar CJ (1984) Estimation of body density in adolescent athletes. *Human Biology* 56, 439-448.
- Wall CB, Starek JE, Fleck SJ & Byrnes WC (2004) Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18, 77-83.
- Wang ZM, Deurenberg P, Guo SS, Pietrobelli A, Wang J, Pierson RN, Jr. & Heymsfield SB (1998) Six-compartment body composition model: inter-method comparisons of total body fat measurement. *International Journal of Obesity Related Metabolic Disorders* 22, 329-337.
- Watts P, Newbury V & Sulentic J (1996) Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 36, 255-260.
- Watts PB (2004) Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology* 91, 361-372.
- Watts PB, Daggett M, Gallagher P & Wilkins B (2000) Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *International Journal of Sports Medicine* 21, 185-190.
- Watts PB & Drobish KM (1998) Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine and Sciences in Sports Exercise* 30, 1118-1122.
- Watts PB, Joubert LM, Lish AK, Mast JD & Wilkins B (2003) Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *British Journal of Sports Medicine* 37, 420-424.
- Watts PB, Martin DT & Durtschi S (1993) Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Sciences* 11, 113-117.
- Watts PC, M; lure, M; Dagget; Gallager P; et al. (1999) Metabolic and cardiovascular responses during work on a high ropes course. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 39, 37-41.
- Wells JC, Fuller NJ, Dewit O, Fewtrell MS, Elia M & Cole TJ (1999) Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *American Journal of Clinical Nutrition* 69, 904-912.
- Wilmore JH & Behnke AR (1969) An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *Journal of Applied Physiology* 27, 25-31.
- Wilmore JH & Behnke AR (1970) An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women. *American Journal of Clinical Nutrition* 23, 267-274.

- Withers RT, Craig NP, Bourdon PC & Norton KI (1987a) Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 56, 191-200.
- Withers RT, Whittingham NO, Norton KI, La Forgia J, Ellis MW & Crockett A (1987b) Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 56, 169-180.
- Yao M, Roberts SB, Ma G, Pan H & McCrory MA (2002) Field methods for body composition assessment are valid in healthy chinese adults. *Journal of Nutrition* 132, 310-317.

**Table 1.** Published equations used to calculate body density (BD) from skinfold thickness.

<b>Authors</b>	<b>Population</b>	<b>Equations</b>
Sloan <i>et al.</i> 1962	n = 50 W (17-25 years)	$BD = 1.0764 - 0.00081 (\text{iliac crest skinfold}) - 0.00088 (\text{triceps skinfold})$
Sloan, 1967	n = 50 M (18-26 years)	$BD = 1.1043 - 0.001327 (\text{thigh skinfold}) - 0.001310 (\text{subscapular skinfold})$
Wilmore & Behnke, 1969	n = 133 M (16.8-36.8)	$BD = 1.08543 - 0.000886 (\text{abdominal skinfold}) - 0.00040 (\text{thigh skinfold})$
Wilmore & Behnke, 1970	n = 128 W (17.8-47.8)	$BD = 1.06234 - 0.00068 (\text{subscapular skinfold}) - 0.00039 (\text{triceps skinfold}) - 0.00025 (\text{thigh skinfold})$
Katch & McArdle, 1973	n = 53 M (19.3±1.5 years)	$BD = 1.09665 - 0.00103 (\text{triceps skinfold}) - 0.00056 (\text{subscapular skinfold}) - 0.00054 (\text{abdominal skinfold})$
Durnin & Womersley, 1974	n = 209 M (17-72 years)	$BD = 1.1765 - 0.0744 (\log_{10} \Sigma 4a)$
		$\Sigma 4a: \text{triceps} + \text{biceps} + \text{subscapular} + \text{iliac crest skinfolds (mm)}$
		$BD = 1.1567 - 0.0717 (\log_{10} \Sigma 4b)$
	n = 272 W (16-68 years)	$\Sigma 4b: \text{triceps} + \text{biceps} + \text{subscapular} + \text{suprailiac skinfolds (mm)}$
Pollock <i>et al.</i> 1975	n = 83 W (18-22 years)	$BD = 1.0852 - 0.0008 (\text{iliac crest skinfold}) - 0.0011 (\text{thigh skinfold})$
Lewis <i>et al.</i> 1978	n = 42 W (30- 59 years)	$BD = 0.97845 - 0.0002 (\text{triceps skinfold}) + 0.00088 (\text{height}) - 0.00122 (\text{subscapular skinfold}) - 0.00234 (\text{arm girth relaxed})$
Thorland <i>et al.</i> 1984	n = 133 W (16.51±1.39 years)	$BD = 1.0987 - 0.00122 (\Sigma 3c) + 0.00000 (\Sigma 3c)^2$ $\Sigma 3c: \text{triceps} + \text{subscapular} + \text{iliac crest skinfolds (mm)}$



Jackson & Pollock, 1985	
n = 402 M (18 – 61)	$BD = 1.1093800 - 0.0013125 (\Sigma 3d) + 0.0000012 (\Sigma 3d)^2 - 0.0002574 (\text{Age})$ $BD = 1.1125025 - 0.0013125 (\Sigma 3e) + 0.0000055 (\Sigma 3e)^2 - 0.0002440 (\text{Age})$ $\Sigma 3d: \text{chest + abdomen + thigh skinfolds (mm)}$ $\Sigma 3e: \text{chest + triceps + subscapular skinfolds (mm)}$ $BD = 1.099421 - 0.0009929 (\Sigma 3f) + 0.0000023 (\Sigma 3f)^2 - 0.0001392 (\text{Age})$ $BD = 1.089733 - 0.0009245 (\Sigma 3g) + 0.0000025 (\Sigma 3g)^2 - 0.0000979 (\text{Age})$ $\Sigma 3f: \text{triceps + thigh + suprailium skinfold (mm)} \Sigma 3g: \text{triceps + suprailium + abdominal skinfolds (mm)}$
n = 283 W (18 – 55)	
BD = 1.0988 - 0.0004( $\Sigma 7h$ )	
$\Sigma 7h: \text{triceps + subscapular + biceps + supraespinale + abdominal + thigh + calf skinfolds (mm)}$	
Withers <i>et al.</i> 1987a	
n = 207 M (15.4-39.1)	
BD = 1.20953 - 0.08294 ( $\log_{10}(\Sigma 6i)$ )	
$\Sigma 6i: \text{triceps + subscapular + supraespinale + abdominal + thigh + calf skinfolds (mm)}$	
n = 135 W (17.4-35.2)	
BD = 1.17484 - 0.07229 ( $\log_{10}(\Sigma 4j)$ )	
$\Sigma 4j: \text{triceps + subscapular + supraespinale + calf skinfolds (mm)}$	
Withers <i>et al.</i> 1987b	
n = 186 W (11.2 - 41.4)	

%BF can be estimated from all the above equations via Siri (1961) equation: [%BF=((4.95/body density) – 4.5) x 100] or Brozek et al (1963)

equation: [%BF=((4.57/body density) – 4.142) x 100]. W: women; M: men.

**Table 2.** Physical characteristics of the study participant.

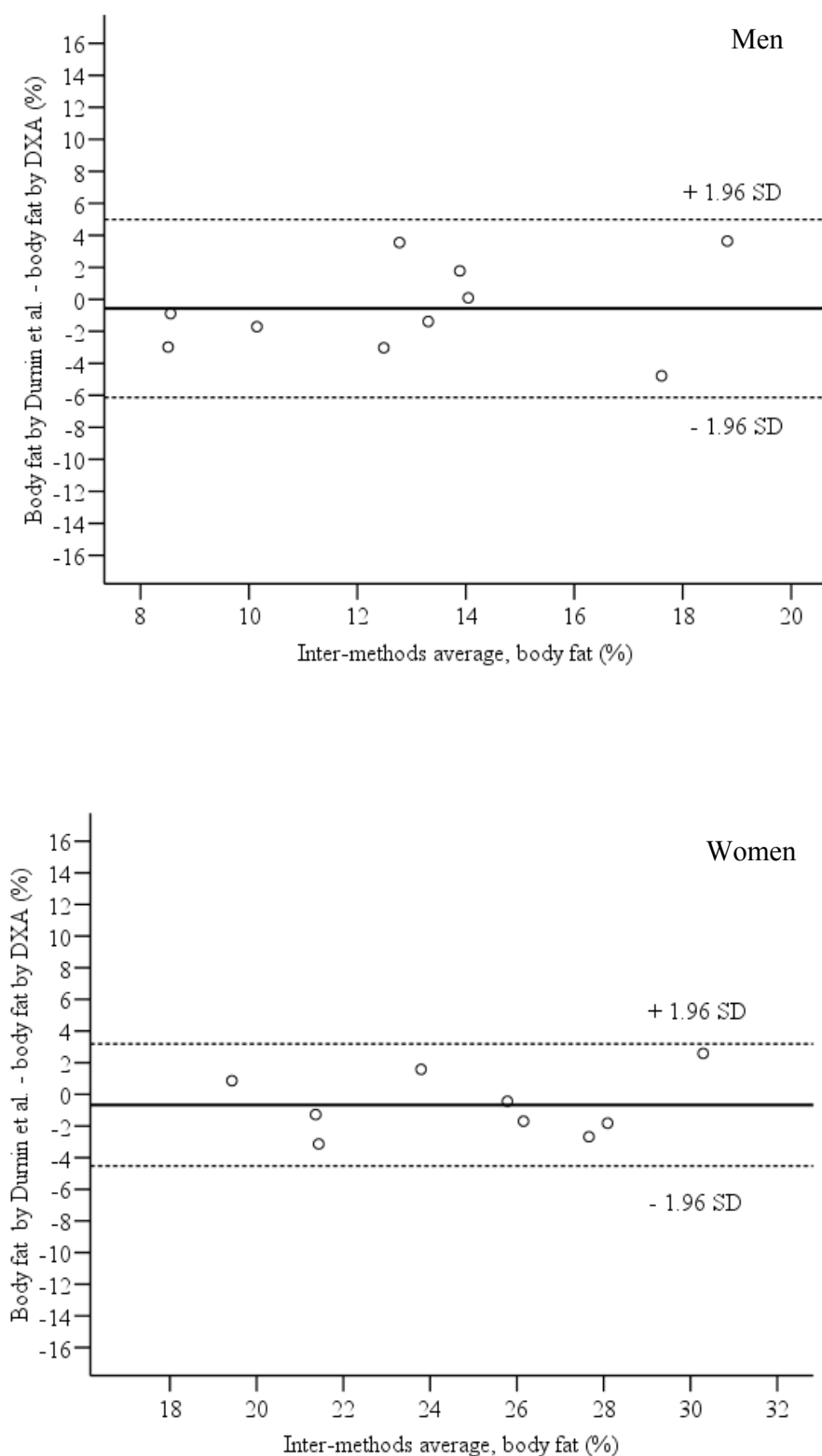
	<b>Men</b> (n = 10)	<b>Women</b> (n = 9)
Age (years)	31.2 ± 5.0	28.6 ± 3.6
Height (cm)	171.8 ± 4.3	161.5 ± 2.7
Weight (kg)	65.5 ± 4.5	52.9 ± 3.6
Climbing experience (years)	14.6 ± 4.8	7.7 ± 3.5
Onsight climbing performance	5.12c	5.11c
Body fat (%)	13.3 ± 3.3	25.2 ± 3.6
Body density (g/cm <sup>3</sup> )	1.04 ± 0.06	0.98 ± 0.10
Bone mineral content (g)	3100.8 ± 262.8	2518.8 ± 267.7
Fat free mass (kg)	52.2 ± 3.6	36.3 ± 2.5
Fat mass (kg)	8.6 ± 2.7	13.1 ± 2.3

Data are expressed as mean ± SD. Body composition characteristics were measured by dual-energy X-ray absorptiometry.

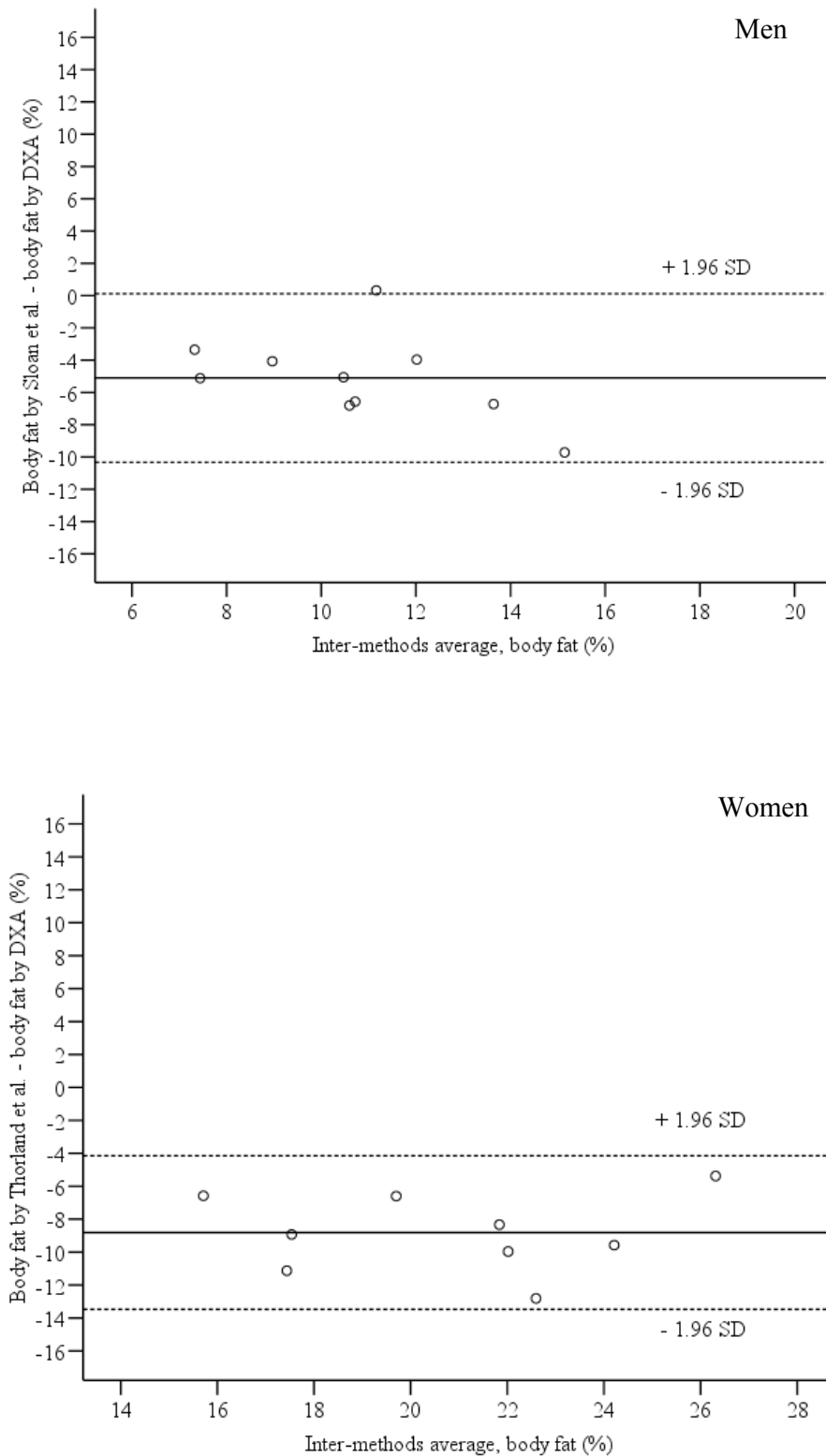
Data are expressed as mean  $\pm$  SD. Body composition characteristics were measured by dual-energy X-ray absorptiometry.

**Table 3.** Percentage body fat (%BF) (mean  $\pm$  SD), inter-methods difference ( $\pm$  95% CI) and 95% limits of agreement for %BF predicted by using body density equations in men and women. All body density equations were analysed with both Siri's and Brozek's body fat equations.

	Siri's Equation			Brozek's Equation		
	%BF ( $\pm$ SD)	Inter-methods difference ( $\pm$ 95% CI)	95% Limits of agreements P	%BF ( $\pm$ SD)	Inter-methods difference ( $\pm$ 95% CI)	95% Limits of agreements P
<b>Men (n=10)</b>						
Sloan <i>et al.</i> 1967	7.5 $\pm$ 2.4	-5.78 ( $\pm$ 1.92)	5.25 P $\leq$ 0.001	8.2 $\pm$ 2.2	-5.10 ( $\pm$ 1.90)	5.22 P $\leq$ 0.001
Willmore <i>et al.</i> 1969	11.0 $\pm$ 0.6	-2.32 ( $\pm$ 1.65)	4.52 P $\leq$ 0.01	11.4 $\pm$ 1.5	-1.91 ( $\pm$ 1.69)	4.63 P $\leq$ 0.05
Kath <i>et al.</i> 1973	8.4 $\pm$ 2.1	-4.91 ( $\pm$ 1.46)	3.98 P $\leq$ 0.001	9.0 $\pm$ 1.9	-4.31 ( $\pm$ 1.49)	4.09 P $\leq$ 0.001
Durnin <i>et al.</i> 1974	12.7 $\pm$ 4.0	-0.57 ( $\pm$ 2.03)	5.56 P = 0.54	13 $\pm$ 3.7	-0.29 ( $\pm$ 1.91)	5.23 P = 0.73
Jackson <i>et al.</i> 1985	7.8 $\pm$ 2.8	-6.46 ( $\pm$ 1.87)	5.11 P $\leq$ 0.001	7.6 $\pm$ 2.1	-5.73 ( $\pm$ 1.86)	5.09 P $\leq$ 0.001
Jackson <i>et al.</i> 1985	6.8 $\pm$ 2.3	-5.49 ( $\pm$ 2.05)	5.60 P $\leq$ 0.001	8.5 $\pm$ 2.6	-4.83 ( $\pm$ 2.00)	5.49 P $\leq$ 0.001
Withers <i>et al.</i> 1987a	8.4 $\pm$ 2.1	-4.93 ( $\pm$ 1.50)	4.10 P $\leq$ 0.001	9.0 $\pm$ 1.9	-4.31 ( $\pm$ 1.54)	4.20 P $\leq$ 0.001
<b>Women (n=9)</b>						
Sloan <i>et al.</i> 1962	18.3 $\pm$ 2.6	-6.97 ( $\pm$ 1.73)	4.40 P $\leq$ 0.001	18.1 $\pm$ 2.4	-7.11 ( $\pm$ 1.75)	4.46 P $\leq$ 0.001
Willmore <i>et al.</i> 1970	23.4 $\pm$ 1.5	-1.86 ( $\pm$ 2.01)	5.13 P = 0.065	22.8 $\pm$ 1.4	-2.40 ( $\pm$ 2.06)	5.25 P $\leq$ 0.05
Durnin <i>et al.</i> 1974	24.6 $\pm$ 3.9	-0.67 ( $\pm$ 1.51)	3.86 P = 0.33	23.9 $\pm$ 3.6	-1.29 ( $\pm$ 1.45)	3.68 P = 0.71
Pollock <i>et al.</i> 1975	18.9 $\pm$ 2.7	-6.34 ( $\pm$ 1.62)	4.12 P $\leq$ 0.001	18.7 $\pm$ 2.5	-6.53 ( $\pm$ 1.65)	4.20 P $\leq$ 0.001
Lewis <i>et al.</i> 1978	22.3 $\pm$ 2.6	-2.91 ( $\pm$ 2.80)	7.13 P $\leq$ 0.05	21.9 $\pm$ 2.4	-3.36 ( $\pm$ 2.75)	7.00 P $\leq$ 0.05
Thorland <i>et al.</i> 1984	16.4 $\pm$ 4.0	-8.80 ( $\pm$ 1.92)	4.91 P $\leq$ 0.01	16.4 $\pm$ 3.7	-8.80 ( $\pm$ 1.84)	4.66 P $\leq$ 0.001
Jackson <i>et al.</i> 1985	18.1 $\pm$ 3.9	-7.09 ( $\pm$ 1.89)	4.82 P $\leq$ 0.001	18 $\pm$ 3.6	-7.22 ( $\pm$ 1.40)	4.60 P $\leq$ 0.001
Jackson <i>et al.</i> 1985	17.8 $\pm$ 3.2	-7.38 ( $\pm$ 1.39)	3.55 P $\leq$ 0.001	17.7 $\pm$ 3.0	-7.49 ( $\pm$ 1.81)	3.57 P $\leq$ 0.001
Withers <i>et al.</i> 1987a	18.5 $\pm$ 3.4	-6.70 ( $\pm$ 1.36)	3.46 P $\leq$ 0.001	18.4 $\pm$ 3.2	-6.87 ( $\pm$ 1.34)	3.42 P $\leq$ 0.001
Withers <i>et al.</i> 1987b	16.8 $\pm$ 3.1	-8.37 ( $\pm$ 1.62)	4.13 P $\leq$ 0.001	16.8 $\pm$ 2.9	-8.41 ( $\pm$ 1.62)	4.11 P $\leq$ 0.001



**Figure 1.** Comparison of predicted %BF between skinfold-thickness equations and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in men and women by Bland and Altman plots. Central line represents inter-methods difference. Upper and lower broken lines represent the 95% limits of agreement (inter-methods difference  $\pm$  1.96 SD of the differences). Body density was calculated by Durnin & Womersley's equations for men and women, and then converted into %BF via Siri's equation.



**Figure 2.** Comparison of %BF between skinfold-thickness equations and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in men and women by Bland and Altman plots. Central line represents inter-methods difference. Upper and lower broken lines represent the 95% limits of agreement (inter-methods difference  $\pm$  1.96 SD of the differences). Body density was calculated by Sloan's equation for men and Thorland's equation for women, and then converted into %BF via Siri's equation.



## **2. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

### **2.2 FUERZA DE PRENSIÓN MANUAL** (Artículos III, IV, V)





**HAND-SIZE INFLUENCES OPTIMAL GRIP SPAN  
IN MALE AND FEMALE TEENAGERS**

Ruiz JR, España-Romero V, Ortega FB, Sjöstrom M,  
Castillo MJ, Gutiérrez A

**J Hand Surg [Am]**

2006; 31(8): 1367-1372





# Hand Span Influences Optimal Grip Span in Male and Female Teenagers

Jonatan R. Ruiz, BSch, Vanesa España-Romero, BSch, Francisco B. Ortega, BSch, Michael Sjöström, MD, PhD, Manuel J. Castillo, MD, PhD, Angel Gutierrez, MD, PhD

*From the Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada, Spain; and the Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge, Sweden.*

**Purpose:** To determine if there is an optimal grip span for determining the maximum handgrip strength in male and female teenagers, and if the optimal grip span was related to hand span. If they are related then the second aim was to derive a mathematic equation relating hand span and optimal grip span.

**Methods:** One hundred healthy teenage boys ( $15.1 \pm 1.1$  y) and 106 girls ( $15.4 \pm 1.3$  y) were evaluated (age range, 13–18 y). Each hand was randomly tested on 10 occasions using 5 different grip spans, allowing a 1-minute rest between attempts. The hand span was measured from the tip of the thumb to the tip of the small finger with the hand opened as wide as possible.

**Results:** The results showed that an optimal grip span to determine the maximum handgrip strength was identified for both genders, and the optimal grip span and hand span correlated in both genders.

**Conclusions:** The results suggest that there is an optimal grip span to which the dynamometer should be adjusted when measuring handgrip strength in teenagers. The optimal grip span was influenced by hand span in both genders. For males the optimal grip span can be derived from the equation  $y = x/7.2 + 3.1$  cm, and for females from the equation  $y = x/4 + 1.1$  cm, where  $y$  is the optimal grip span and  $x$  is the hand-span. These equations may improve the reliability and accuracy of the results and may guide clinicians and researchers in selecting the optimal grip span on the hand dynamometer when measuring handgrip strength in teenagers. (J Hand Surg 2006;31A:1367–1372. Copyright © 2006 by the American Society for Surgery of the Hand.)

**Key words:** Dynamometry, handgrip strength, reliability, standardization, young subjects.

The handgrip strength test is a simple and economic test that gives practical information about muscle, nerve, bone, or joint disorders.<sup>1–5</sup> In adults, handgrip strength has been proposed as a possible predictor of mortality and the expectancy of being able to live independently.<sup>6,7</sup>

The measure of handgrip strength is influenced by several factors including age; gender; different angle of shoulder, elbow, forearm, and wrist<sup>8–10</sup>; posture<sup>9,11</sup>; and grip span.<sup>9,11–15</sup>

Another important factor affecting handgrip strength is hand span.<sup>14,15</sup> Several attempts have been made to find the optimal grip span that results in maximum handgrip strength and that increases reli-

able and reproducible handgrip strength in adult and elderly populations. Härkönen et al<sup>14</sup> showed that handgrip strength varied with handgrip position and was slightly affected by hand span. We have shown that there is an optimal grip span at which the maximum handgrip strength is obtained in adults.<sup>15</sup> Moreover, the optimal grip span has been shown to be influenced by individual hand span in adult women, but not in men. This can be in relation to the smaller hand span and/or less grip strength in women compared with men. Teenagers also present a smaller hand span and less handgrip strength than adults. Handgrip strength is a widely used test in experimental and epidemiologic studies.

The first aim of the present study was to determine if there is an optimal grip span for determining the maximum handgrip strength in male and female teenagers, and if that grip span is related to hand span. If these are related then the second aim was to derive a mathematic equation relating hand span and optimal grip span.

## Materials and Methods

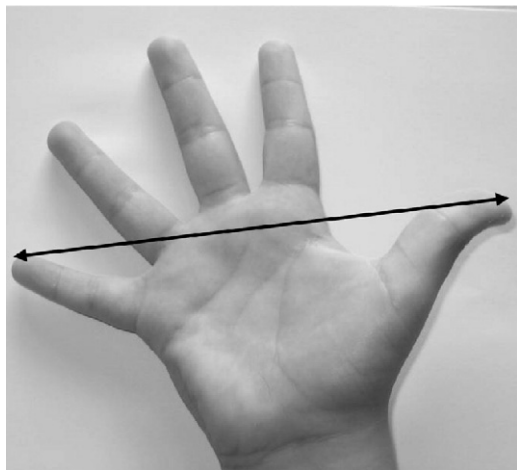
### Subjects

One hundred boys ( $15.1 \pm 1.1$  y) and 106 girls ( $15.4 \pm 1.3$  y), with an age range of 13 to 18 years, volunteered to participate in the study after receiving information about the aim and clinical implications of the investigation. The study was conducted in 3 schools located in 3 different geographic areas of Spain. All of the teenagers included in the present study were in good health and free of any lesion or impairments in the upper limbs. The subjects were encouraged to do their best when performing the tests. The study was approved by the Review Committee for Research Involving Human Subjects at our University.

### Methods

**Measurement of hand span.** Hand span was measured in both hands from the tip of the thumb to the tip of the small finger with the hand opened as wide as possible (Fig. 1). The precision of the measure was 0.5 cm, but the results of the hand span measurement were rounded to the nearest whole centimeter.

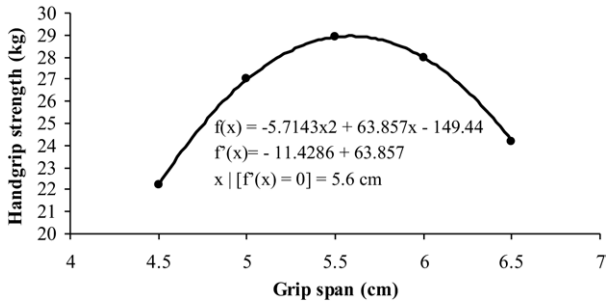
**Measurement of handgrip strength.** Handgrip strength was measured using a digital dynamometer



**Figure 1.** Measure of hand span (0.5-cm precision).

(T.K.K. 5101 Grip-D; Takey, Tokyo, Japan), and the scores were recorded in kilograms. The reported precision of the dynamometer was 0.1 kg. When performing the measurement, subjects were instructed to maintain the standard bipedal position during the entire test with the arm in complete extension and not to touch any part of the body with the dynamometer except the hand being measured. Each subject performed (alternately with both hands) the test twice using different grip spans in random order, allowing a 1-minute rest between the measurements.<sup>11</sup> For each measure, the hand to be tested first was chosen randomly. The grip spans used were 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, and 7.0 cm. If the hand span was less than 20 cm then the highest grip span was rejected; if the hand span was more than 20 cm then the lowest grip span was rejected. For each hand the best result for each grip span was retained. For the hand dynamometer (Jamar; Fit Systems Inc., Calgary, Canada) the grip span equivalence for the different positions are as follows: position 1, 3.5 cm; position 2, 4.8 cm; position 3, 6.0 cm; position 4, 7.3 cm; and position 5, 8.6 cm.

**Determination of optimal grip span.** The optimal grip span is the grip span at which the maximum handgrip strength is obtained. To determine the individual optimal grip span for each hand of each individual we first established the kind of association relating grip span and handgrip strength (ie, the results of handgrip strength obtained at the different grip spans). For that purpose, statistical software (SPSS v.14.0; SPSS Inc., Chicago, IL) was used. The association could be lineal, logarithmic, potential, exponential, or polynomial. In all subjects (except for 6) the association was statistically significant. All functions were considered, and the most relevant one was retained. The mathematic function of the relation was individually determined through the least-square fit and graphically represented (Fig. 2). In 190 of the patients it was quadratic and parabolic (corresponding to a second-degree polynomial equation). Once we defined the equation, the optimal grip span was calculated as  $x/f'(x) = 0$ , where  $x$  equals the optimal grip span (cm) and  $f(x)$  equals the handgrip strength (kg). In graphic terms, this corresponded to the maximum of the curves (Fig. 2). For nonpolynomial equations ( $n = 16$ ), the optimal grip span was graphically determined and this corresponded to one of the extreme grip spans used for that particular subject. In those subjects in whom there was no association



**Figure 2.** Association of handgrip strength and grip span in 1 subject. The maximum of the second-degree polynomial regression equation relating handgrip strength and grip span [ $f'(x)$ ] was the optimal grip span for each hand of each individual.  $f(x) = -5.7143x^2 + 63.857x - 149.44$ ;  $f'(x) = -11.4286 + 63.857$ ;  $x | [f'(x) = 0] = 5.6$  cm.

between handgrip strength and grip span ( $n = 6$ ), the average of the chosen grip spans was retained.

Determination of the optimal grip span for a given hand span. By using statistical software (SPSS package v.14.0), we studied whether optimal grip spans were significantly related to hand spans ( $p < .05$ ). In case of a significant relationship, we used the least-square fit to calculate the mathematic function relating both variables. This equation allows the establishment of the optimal grip span for a given hand span. In case of a nonsignificant relationship, the conclusion is that optimal grip spans are not related to hand spans.

Usefulness and reliability of the optimal grip span. To confirm the usefulness of using the optimal grip span when measuring handgrip strength, an additional group of 21 teenagers (13 males, 8 females) ages 14 to 17 years volunteered to perform the handgrip strength test at 3 grip spans: optimal grip span, 1 cm below the optimal grip span, and 1 cm above the optimal grip span. Each subject performed (alternately with both hands) the test twice using different grip spans in a random order, allowing a 1-minute rest between the measurements.<sup>11</sup> For each measure, the hand to be tested first was chosen randomly. For each hand the best result at each grip span was retained.

To confirm the reliability of measurements of handgrip strength at the optimal grip span, 17 (13 males, 4 females) of the previous 21 teenagers less than 18 years of age performed the test at the optimal grip span 3 hours later. The subjects were advised not to perform strenuous exercise during the 3 hours preceding the second test.

**Statistical Analysis**

The normality of the distribution of the measured variables was ascertained by the Shapiro-Wilk test. The hand span, handgrip strength, and the optimal grip span obtained for each hand span was compared by 1-way analysis of variance (ANOVA). Bivariate correlation analysis was performed to examine the relationship between optimal grip span and hand span for each hand and gender. In case of an association, the mathematic function defining the association was calculated through the least-square fit.

For confirming the usefulness of measuring handgrip strength at the optimal grip span, 1 cm below the optimal grip span, and 1 cm above the optimal grip span, a 1-way ANOVA was used. The reliability coefficient of handgrip strength measured at the optimal grip span on 2 different occasions was calculated; values were compared through 1-way ANOVA and correlated through parametric bivariate correlation analysis. The  $\alpha$  error was fixed at .05.

**Results**

All subjects completed the tests satisfactorily. The mean  $\pm$  SD measured hand span was  $21.0 \pm 1.3$  cm for males ( $n = 100$ ) and  $18.7 \pm 1.1$  cm for females ( $n = 106$ ) ( $p < .001$ ). Males obtained higher values of handgrip strength at each grip span than females ( $p < .01$ ) (data not shown). In both genders, and for both hands, an optimal grip span was obtained. The optimal grip span for each hand span for males and females is presented in Tables 1 and 2, respectively. No significant differences were obtained between both hands for each hand span ( $p > .70$ ). Because the optimal grip span was not different between the right and left hands, the mean value was retained and used for subsequent analysis.

**Table 1. Optimal Grip Span Determined in Females ( $n = 106$ ) for Each Hand Span**

Hand Span, cm	Optimal Grip Span for Right Hand, cm	Optimal Grip Span for Left Hand, cm	Optimal Grip Span, cm*
16	$5.0 \pm 0.7$	$4.9 \pm 0.5$	5.0
17	$5.6 \pm 0.7$	$5.6 \pm 0.6$	5.6
18	$5.5 \pm 0.7$	$5.5 \pm 0.6$	5.5
19	$5.8 \pm 0.6$	$5.8 \pm 0.5$	5.8
20	$5.8 \pm 0.5$	$6.4 \pm 0.6$	6.1

The precision of the hand-span measurement was 0.5 cm and was rounded to the nearest whole centimeter. No significant differences were obtained between both hands for each hand span ( $p > .70$ ).

\*Optimal grip span obtained from the mean of the right- and left-hand optimal grip spans.

**Table 2. Optimal Grip Span Determined in Males (n = 100) for Each Hand Span**

Hand Span, cm	Optimal Grip Span for Right Hand, cm	Optimal Grip Span for Left Hand, cm	Optimal Grip Span, cm*
18	5.3 ± 0.7	5.6 ± 0.9	5.5
19	5.9 ± 0.5	5.7 ± 0.9	5.8
20	6.1 ± 0.6	6.0 ± 0.6	6.1
21	6.0 ± 0.6	6.0 ± 0.7	6.0
22	6.0 ± 0.6	6.2 ± 0.7	6.1
23	6.2 ± 0.8	6.3 ± 0.6	6.3

The precision of the hand-span measurement was 0.5 cm and was rounded to the nearest whole centimeter.

No significant differences were obtained between both hands for each hand span ( $p > .70$ ).

\*Optimal grip span obtained from the mean of the right- and left-hand optimal grip spans.

In teenagers, hand span and optimal grip span showed a significant linear association ( $y = 0.16x + 2.66$ ;  $r = .92$ ,  $p = .001$ ) where  $x$  is the hand span, and  $y$  is the optimal grip span at which the dynamometer should be adjusted before the test. The equation relating grip span as a function of hand span in males is formulated as  $y = 0.1386x + 3.101$  ( $r = .92$ ,  $p = .01$ ). A simplification of this algorithm would be the following:  $y = x/7.2 + 3.1$  (Fig. 3). The equation relating grip span as a function of hand span in females is formulated as  $y = 0.25x + 1.09$  ( $r = .93$ ,  $p = .02$ ). A simplification of this algorithm would be the following:  $y = x/4 + 1.1$  (Fig. 3). Table 3 shows the optimal grip span calculated from the equations provided, for each hand span in males and females.

The handgrip strength obtained at the optimal grip span was significantly higher ( $p < 0.006$ ) than the strength obtained when the grip was set 1 cm below or 1 cm above the optimal grip span, in both hands and genders (Fig. 4).

Seventeen adolescents (13 males, 4 females) from

**Table 3. Optimal Grip Span for Each Hand Span Calculated From the Equations Provided**

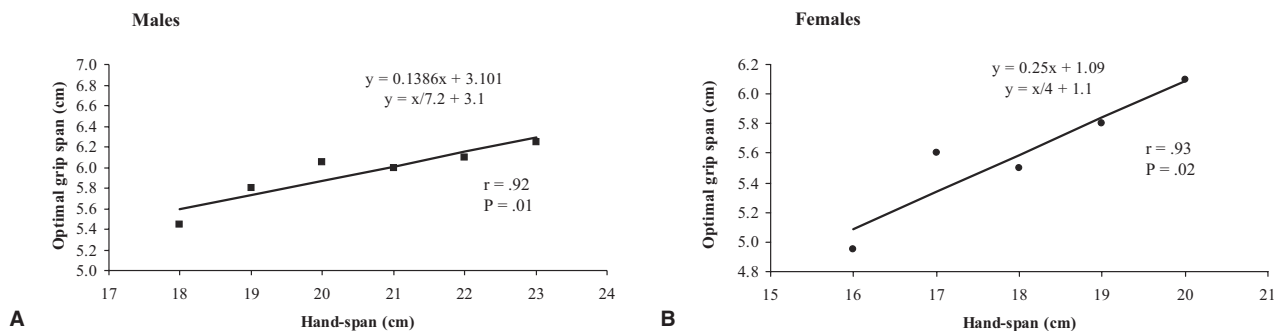
Hand Span, cm	Optimal Male and Female Grip Span, cm	Optimal Male Grip Span, cm	Optimal Female Grip Span, cm
16.0	5.2	5.3	5.1
16.5	5.3	5.4	5.2
17.0	5.4	5.5	5.4
17.5	5.5	5.5	5.5
18.0	5.5	5.6	5.6
18.5	5.6	5.7	5.7
19.0	5.7	5.7	5.9
19.5	5.8	5.8	6.0
20.0	5.9	5.9	6.1
20.5	5.9	5.9	6.2
21.0	6.0	6.0	6.4
21.5	6.1	6.1	6.5
22.0	6.2	6.1	6.6
22.5	6.3	6.2	6.7
23.0	6.3	6.3	6.9

For males and females:  $y = 0.16x + 2.66$  ( $r = .92$ ,  $p = .001$ ); males:  $y = x/7.2 + 3.1$  ( $r = .92$ ,  $p = .01$ ); females:  $y = x/4 + 1.1$  ( $r = .93$ ,  $p = .02$ ), where  $x$  is the hand span (maximal width between the thumb and small finger, with 0.5-cm precision), and  $y$  is the optimal grip span in cm.

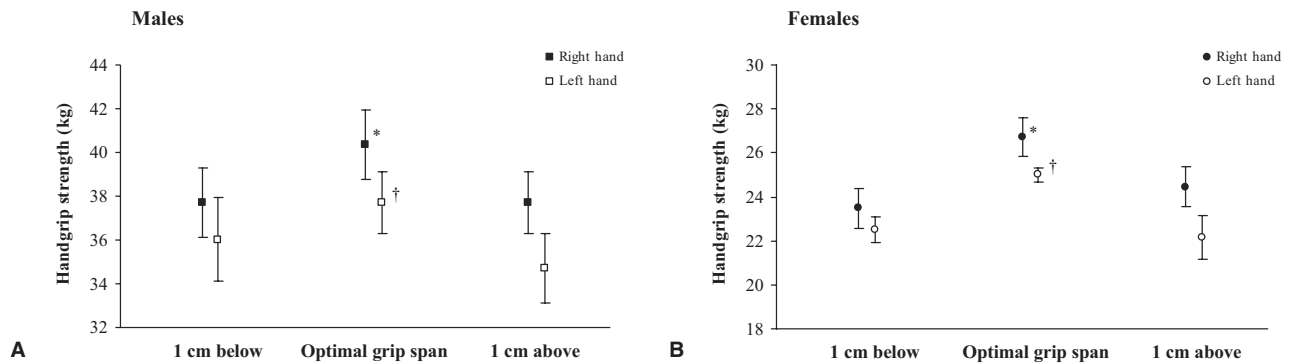
the previous 21 repeated the test 3 hours later at the optimal grip span. The results showed a reliability coefficient of 0.98 and 0.96 for the right and left hands, respectively. Moreover, the 1-way ANOVA did not show a statistical difference between the test and retest results ( $p = .45$  and  $.53$  for the right and left hands, respectively). A significant correlation between the test and retest results was obtained for right ( $r = .96$ ,  $p < .001$ ) and left ( $r = .92$ ,  $p < .001$ ) hands at the optimal grip span.

**Discussion**

This study suggests that there is an optimal grip span to which the standard dynamometer should be ad-



**Figure 3.** Association between hand span and optimal grip span in (A) males (n = 100) and (B) females (n = 106). (A)  $y = 0.1386x + 3.101$ ;  $y = x/7.2 + 3.1$ ;  $r = 0.92$ ;  $p = .01$ . (B)  $y = 0.25x + 1.09$ ;  $y = x/4 + 1.1$ ;  $r = 0.93$ ;  $p = .02$ .



**Figure 4.** Handgrip strength measured for the right and left hands at the optimal grip span, 1 cm below the optimal grip span, and 1 cm above the optimal grip span in (A) males ( $n = 13$ ) and (B) females ( $n = 8$ ) (age range, 14–17 y). The values are mean  $\pm$  standard error of the mean. \* $p < .005$  compared with 1 cm below and 1 cm above the optimal grip span. † $p < .006$  compared with 1 cm below and 1 cm above the optimal grip span. (A) ■, right hand; □, left hand; (B) ●, right hand; ○, left hand.

justed when measuring handgrip strength in both males and females ages 13 to 18 years. In both genders the optimal grip span is influenced by hand span, which implies the need for adjustment of the grip span of the dynamometer to the hand span. For that purpose gender-specific equations are proposed, and are valid for both hands. Handgrip strength is a widely used test in experimental and epidemiologic studies in young people.

We have previously shown similar results in adult men and women.<sup>12</sup> In women the optimal grip span was influenced by hand span, and an equation to calculate the optimal grip span from the measure of the hand span was proposed ( $y = x/5 + 1.5$ ). In men there was an optimal grip span for determining the maximum handgrip strength, but that optimal grip span was not hand-span dependent; therefore a fixed optimal grip span was proposed (5.5 cm). Teenagers have smaller hand spans and less handgrip strength compared with adults. Because of these differences one would expect that teenagers may need a different optimal grip span when measuring handgrip strength compared with adults. In the present study, the optimal grip span was influenced by hand span in both male and female teenagers, similar to what we found previously in adult women, but not in adult men. Adult men, usually already part of the workforce (mostly manual workers), might compensate for the hand-span effect with higher muscle mass and muscle strength in their forearm. This could partially explain the lack of association between the hand span and the optimal grip span in adult men.

Other studies also have shown a specific grip span at which the maximum handgrip strength is obtained.<sup>11–13,16,17</sup> Middle grip spans seem to favor greater forces than smaller or larger grips.<sup>16</sup> Oh and

Radwin<sup>17</sup> reported that hand span affected maximal and submaximal handgrip strengths. They found that hand span affected grip strength, grip force, and exertion level. In another study,<sup>13</sup> the optimal grip span was suggested to be 5.0 to 6.0 cm for women and 5.5 to 6.5 cm for men. Similar values have been found recently in a larger study<sup>11</sup> in which the subjects performed the handgrip test at 3 different grip spans: one grip span, called the *standard grip span*, was calculated from the half distance between the index fingertip and the metacarpophalangeal joint flexion crease at the base of the thumb (men, 5.8 cm; women, 5.4 cm), the other grip spans were at  $-10\%$  and  $+10\%$  of the standard grip span. It was concluded that the grip span that achieves maximum handgrip strength is somewhere between the standard grip span and a 10% increase of that distance. The age and the number of participants in the earlier-mentioned studies make comparisons difficult.

Different measures of handgrip strength are currently used worldwide. There are some international physical fitness test batteries specifically designed for the young population that include a handgrip strength test (eg, EUROFIT test battery<sup>18</sup>). From a public health perspective it is important to standardize the procedure and increase the reliability because otherwise the measurement error may be too large to detect actual changes in strength; however, different kinds of dynamometers and postures might change the results. We do not know whether these findings can be directly transferred to measurements with other dynamometers.

Received for publication April 17, 2006; accepted in revised form June 26, 2006.

The present article is published on behalf of the HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study group (<http://www.helenastudy.com/list.php>).



No benefits in any form have been received or will be received from a commercial party related directly or indirectly to the subject of this article.

The HELENA study was supported by the European Community Sixth RTD Framework Programme (Contract FOOD-CT-2005-007034). Also supported by a grant from the Ministerio de Educación y Ciencia de España (AP2003-2128, AP2004-2745 to J.R.R. and F.B.O.).

The contents of this article reflect only the authors' views and the European Community is not liable for any use that may be made of the information contained therein.

Corresponding author: Jonatan R. Ruiz, BSc, Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, 18071 Granada, Spain; e-mail: ruizj@ugr.es.

Copyright © 2006 by the American Society for Surgery of the Hand  
0363-5023/06/31A08-0018\$32.00/0  
doi:10.1016/j.jhsa.2006.06.014

## References

- Schreuders TAR, Roebroek M, Van der Kar JM, Soeters JNM, Hovius SER, Stam HJ. Strength of the intrinsic muscles of the hand measured with a hand-held dynamometer: reliability in patients with ulnar and median nerve paralysis. *J Hand Surg* 2000;25B:560–565.
- Ozgoemen S, Karaoglan B, Cimen OB, Yorgancioglu ZR. Relation between grip strength and hand bone mineral density in healthy women aged 30–70. *Singapore Med J* 2000; 41:268–270.
- Wessel J, Kaup C, Fan J, Ehalt R, Ellsworth J, Speer C, et al. Isometric strength measurements in children with arthritis: reliability and relation to function. *Arthritis Care Res* 1999; 12:238–246.
- Merkies IS, Schmitz PI, Samijn JP, Meche FG, Toyka KV, van Doorn PA. Assessing grip strength in healthy individuals and patients with immune-mediated polyneuropathies. *Muscle Nerve* 2000;23:1393–1401.
- Di Monaco M, Di Monaco R, Manca M, Cavanna A. Hand-grip strength is an independent predictor of distal radius bone mineral density in postmenopausal women. *Clin Rheumatol* 2000;19:473–476.
- Metter EJ, Talbot LA, Schragger M, Conwit R. Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002;57:B359–B365.
- Seguin R, Nelson ME. The benefits of strength training for older adults. *Am J Prev Med* 2003;25(suppl 2):S141–S149.
- Su C-Y, Lin JH, Chien TH, Cheng KF, Sung YT. Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Arch Phys Med Rehabil* 1994;75:812–815.
- Mathiowetz V, Rennells C, Donahoe L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. *J Hand Surg* 1985; 10A:694–697.
- Richards LG, Olson B, Palmiter-Thomas P. How forearm position affects grip strength. *Am J Occup Ther* 1996;50: 133–138.
- Watanabe T, Owashi K, Kanauchi Y, Mura N, Takahara M, Ogino T. The short-term reliability of grip strength measurement and the effects of posture and grip span. *J Hand Surg* 2005;30A:603–609.
- Firrell JC, Crain GM. Which setting of the dynamometer provides maximal grip strength? *J Hand Surg* 1996;21A: 397–401.
- Fransson C, Winkel J. Hand strength: the influence of grip span and grip type. *Ergonomics* 1991;34:881–892.
- Härkönen R, Piirtomaa M, Alaranta H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. *J Hand Surg* 1993;18B:129–132.
- Ruiz-Ruiz J, Mesa JL, Gutiérrez A, Castillo MJ. Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *J Hand Surg* 2002;27A:897–901.
- Blackwell JR, Kornatz KW, Heath EM. Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Appl Ergon* 1999;30:401–405.
- Oh S, Radwin RG. Pistol grip power tool handle and trigger size effects on grip exertions and operator preference. *Hum Factors* 1993;35:551–569.
- Committee of Experts on Sports Research EUROFIT. Handbook for the EUROFIT Tests of Physical Fitness. Strasburg, GE: Council of Europe, 1993:19–37.

**HAND SPAN INFLUENCES OPTIMAL GRIP SPAN  
IN BOYS AND GIRLS AGED 6-12 YEARS**

España-Romero V, Artero EG, Santaliestra-Pasías AM,  
Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR

**J Hand Surg [Am]**

2008; 33(3): 378-84

IV



# Hand Span Influences Optimal Grip Span in Boys and Girls Aged 6 to 12 Years

Vanesa España-Romero, BS, Enrique G. Artero, BS, Alba M. Santaliestra-Pasias, BS, Angel Gutierrez, MD, PhD, Manuel J. Castillo, MD, PhD, Jonatan R. Ruiz, PhD

**Purpose** The first aim was to determine whether there is an optimal grip span for determining the maximum hand grip strength in boys and girls aged 6 to 12 years and whether the optimal grip span was related to hand span. If so, the second aim was to derive a mathematical equation relating hand span and optimal grip span.

**Methods** A total of 123 boys ( $9 \text{ y} \pm 2$ ) and 70 girls ( $8 \text{ y} \pm 2$ ) were evaluated. Each hand was randomly tested on 10 occasions using 5 different grip spans, allowing a 1-minute rest between attempts. The hand span was measured from the tip of the thumb to the tip of the little finger with the hand opened widely.

**Results** An optimal grip span to determine maximum hand grip strength was identified for both genders. Hand span and optimal grip span showed a significant linear association in the studied children. The equation relating grip span as a function of hand span in boys is formulated as  $y = x/4 + 0.44$  and in girls as  $y = 0.3x - 0.52$ , where  $x$  is the hand span (maximal width between first and fifth fingers) and  $y$  is the optimal grip span.

**Conclusions** The results suggest that there is an optimal grip span to which the dynamometer should be adjusted when measuring hand grip strength in children. The optimal grip span was influenced by hand span in both genders. (*J Hand Surg* 2008;33A:378–384. Copyright © 2008 by the American Society for Surgery of the Hand.)

**Key words** Children, dynamometry, hand grip strength, reliability, standardization.

**H**AND GRIP STRENGTH is a widely used test in experimental and epidemiologic studies in children.<sup>1–3</sup> The measure of hand grip strength is influenced by several factors, including age; gender; different angle of shoulder, elbow, forearm,

and wrist; and posture.<sup>4–9</sup> Other important factors affecting hand grip strength are grip span<sup>8,10,11</sup> and hand span.<sup>12–15</sup> Härkönen et al<sup>11</sup> showed that hand grip strength varied with hand grip position and was slightly affected by hand span. We have shown that there is an optimal grip span at which the maximum hand grip strength is obtained in both teenagers<sup>12</sup> and in adults.<sup>13</sup> Therefore, one would expect that children may need a different optimal grip span when measuring hand grip strength compared with older populations. Studies examining which position on the grip dynamometer will result in maximum hand grip strength in children are lacking.

The first aim of the current study was to determine if there is an optimal grip span for determining the maximum hand grip strength in boys and girls aged 6 to 12 years and if that grip span is related to hand span. If so, the second aim was to derive a mathematical equation relating hand span and optimal grip span.

## MATERIALS AND METHODS

### Subjects

A total of 123 boys ( $9 \text{ y} \pm 2$ ), and 70 girls ( $8 \text{ y} \pm 2$ ) participated in the study. A comprehensive verbal description of the nature and purpose of the study was given to both the children and their teachers. One parent or legal guardian provided written informed consent, and all children gave verbal assent. All the children included in the current study were in good health and free of any lesion or

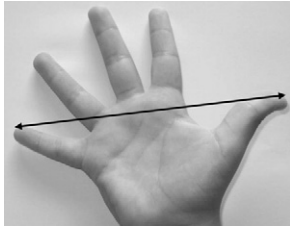
*From the Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada, Spain; the Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institute, Huddinge, Sweden; and the E. U. Ciencias de la Salud, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain.*

Received for publication October 10, 2007; accepted in revised form November 19, 2007.

This study was supported by the IDEFICS study, with the financial support of the European Community Sixth RTD Framework Programme (contract FOOD-CT-2006-016181-2); the ALPHA study, with the financial support of the Public Health Executive Agency, DG Sanco, Health Information Strand (ref. 2006120); Ministerio de Educación y Ciencia de España (AP2003-2128 and AP2005-4358); and the Margit and Folke Pehrzon Foundation. The content of this article reflects only the authors' views, and the European community is not liable for any use that may be made of the information contained herein.

**Corresponding author:** Vanesa España-Romero, BS, Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, 18071 Granada, Spain; e-mail: [vanesaespana05@yahoo.es](mailto:vanesaespana05@yahoo.es).

0363-5023/08/33A03-0014\$34.00/0  
doi:10.1016/j.jhsa.2007.11.013



**FIGURE 1:** Measurement of hand span (0.5-cm precision).

impairments in the upper limbs. The children were encouraged to do their best when performing the tests. The study protocol was performed in accordance with the ethical standards established in the 1961 Declaration of Helsinki (as revised in Hong Kong in 1989 and in Edinburgh, Scotland, in 2000) and was approved by the Review Committee for Research Involving Human Subjects at the University of Granada.

## Methods

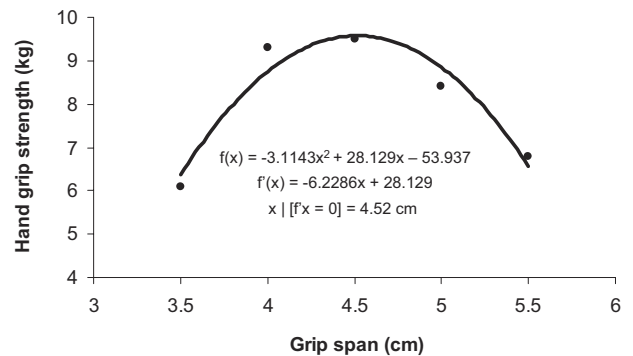
**Measurement of hand span:** Hand span was measured in both hands from the tip of the thumb to the tip of the small finger with the hand opened as wide as possible (Fig. 1). The accuracy of the measure was 0.5 cm. The results of hand span were therefore rounded to the nearest whole centimeter.

**Measurement of grip span:** Grip span was measured from the external base of the grip to the mark placed in the central strip of the dynamometer (see arrow in Fig. 2).

**Measurement of hand grip strength:** Hand grip strength was measured using a digital hand dynamometer (T.K.K. 5401 Grip-D; Takey, Tokyo, Japan), and the scores were recorded in kilograms. The reported precision of the dynamometer was 0.1 kg.



**FIGURE 2:** Device for measurement of grip span (0.1-cm precision).



**FIGURE 3:** Association relating hand grip strength and grip span in 1 of the cases (boy, 7 years old, right hand). The maximum of the second-degree polynomial regression equation relating hand grip strength and grip span,  $f'(x)$ , was the optimal grip span for each hand of each individual.

A detailed description of the test can be found elsewhere.<sup>12,13</sup> In brief, the children were standing during the entire test with the arm at the side with the shoulder slightly abducted ( $\sim 10^\circ$ ), the elbow extended, and the forearm and wrist in neutral position. Each child performed the test twice (alternately with both hands) using different grip spans in random order and allowing a 1-minute rest between measures. For each measure, the hand to be tested first was chosen randomly. The grip spans used were 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, and 6.5 cm. If the hand span was bigger than 17 cm, then the lowest grip span was rejected; if the hand span was smaller than 17 cm, then the highest grip span was rejected. Furthermore, if the hand span was smaller than 15 cm, then the grip spans used ranged between 3.5 and 5.5 cm. For each hand, the best result for each grip span was retained.

The grip span equivalence for the different positions in the Jamar hand dynamometer (Fit System Inc., Calgary, Canada) are position 1, 3.5 cm; position 2, 4.8 cm; position 3, 6.0; position 4, 7.3 cm; and position 5, 8.6 cm.

**Determination of the optimal grip span:** The optimal grip span is the grip span at which the maximum hand grip strength is obtained. To determine the individual optimal grip span for each hand of each child, we first established the kind of association relating grip span and hand grip strength (ie, the results of hand grip strength obtained at the different grip spans). For that purpose, the statistical software SPSS ver. 15 (SPSS Inc., Chicago, IL) was used. The associations could be linear, logarithmic, potential, exponential, or polynomial. All functions were considered, and the most relevant one was retained. The mathematic function of the relation was individually determined through the least-squares fit and graphically represented (Fig. 3). In 166 of the children, it was quadratic and parabolic, which corresponds with a second-degree polynomial equation. Once the equation was defined, the optimal grip span was calculated as  $x \mid f'(x) = 0$ , where  $x$  equals the optimal grip

TABLE 1: Optimal Grip Span Determined in Boys (n = 123) for Each Hand Span\*

Hand Span (cm)	Optimal Grip Span for Right Hand (cm)	Optimal Grip Span for Left Hand (cm)	Optimal Grip Span† (cm)	p Value‡
15	4.2 ± 0.6	4.3 ± 0.5	4.2	.958
16	4.1 ± 0.6	4.3 ± 0.6	4.2	.284
17	5.0 ± 0.4	4.9 ± 0.5	5	.906
18	5.1 ± 0.6	5.1 ± 0.4	5.1	.885
19	5.2 ± 0.5	5.3 ± 0.4	5.2	.973
20	5.3 ± 0.4	5.3 ± 0.4	5.3	.657

\*The precision of the hand span measure was 0.5 cm, and the value was rounded to the nearest whole centimeter.

†Optimal grip span obtained from the mean of right- and left-hand optimal grip span.

‡Comparison between optimal grip span obtained with right hand versus optimal grip span obtained with left hand for each hand span.

span (cm) and  $f(x)$  equals the hand grip strength (kg). In graphic terms, this corresponded with the maximum of the curves (Fig. 3). For nonpolynomial equations ( $n = 12$ ), the optimal grip span was graphically determined, and this corresponded with one of the extreme grip spans used for that particular subject. For those children in whom there was no statistically significant association between hand grip strength and grip span ( $n = 15$ ; 6 boys and 9 girls aged 6 and 7 y), the average of the chosen grip spans was retained.

#### Determination of the optimal grip span for a given hand size:

By using the statistical software SPSS ver. 15, we studied whether optimal grip spans were significantly related to hand spans. In case of a significant relationship, the least-squares fit was used to calculate the mathematical function relating both variables. These equations allow the establishment of the optimal grip span for a given hand span. In case of a non-significant relationship, the conclusion is that optimal grip spans are not related to hand spans.

**Usefulness and reliability of the optimal grip span:** To confirm the usefulness of the optimal grip span when measuring hand grip strength in children aged 6 to 12 years, an additional group of 28 children (18 boys, 10 girls) of the same ages volunteered to perform the hand grip strength test at 3 grip spans: optimal grip span, 1 cm below the optimal grip span, and 1 cm above the optimal grip span. Each child performed the test following the same protocol as explained above. For each hand, the best result at each grip span was retained. To confirm the reliability of measurements of hand grip strength at the optimal grip span, 22 (17 boys, 5 girls) of the previous 28 children performed the test at the optimal grip span 2 hours later.

#### Statistical Analysis

The hand span, hand grip strength, and the optimal grip span obtained for each hand span and gender was compared by 1-way analysis of variance (ANOVA). Bivariate

correlation analysis was performed to examine the relationship between optimal grip span and hand span for each hand and gender. In case of an association, the mathematical function defining the association was calculated through the least-squares fit. For confirming the usefulness of measuring hand grip strength at the optimal grip span, 1 cm below the optimal grip span, and 1 cm above the optimal grip span, a 1-way ANOVA for repeated measures was used. The reliability coefficient of hand grip strength measured at the optimal grip span on 2 different occasions was calculated; values were compared through 1-way ANOVA for repeated measures and correlated through parametric bivariate correlation analysis. The  $\alpha$  error was fixed at .05.

#### RESULTS

The children completed all the tests satisfactorily. The measured hand span (mean  $\pm$  SD) was  $17.8 \pm 1.5$  cm for boys ( $n = 123$ ) and  $17.2 \pm 1.4$  cm for girls ( $n = 70$ ) ( $p = .004$ ). Boys obtained higher values of hand grip strength at each grip span than did girls (all  $p \leq .004$ ) (data not shown). In both genders, and for both hands, an optimal grip span was obtained. The optimal grip span for each hand span for boys and girls is presented in Tables 1 and 2, respectively. The optimal grip span was not significantly different between right and left hands ( $p > .06$ ); therefore, the mean value was retained and used for subsequent analysis.

The hand span and optimal grip span showed a significant linear association in the studied children ( $y = 0.2674x + 0.0883$  cm;  $r = 0.98$ ,  $p < .001$ ), where  $x$  is the hand span (maximal width between first and fifth fingers), and  $y$  is the optimal grip span at which the dynamometer should be adjusted before the test. The equation relating grip span as a function of hand span in boys is formulated as  $y = 0.2506x + 0.44$  cm ( $r = 0.97$ ,  $p = .002$ ). A simplification of this algorithm would be the following:  $y = x/4 + 0.44$  cm (Fig. 4). The equation relating grip span as a function of hand span in girls is formulated as  $y = 0.3x -$

TABLE 2: Optimal Grip Span Determined in Girls (n = 70) for Each Hand Span\*

Hand Span (cm)	Optimal Grip Span for Right Hand (cm)	Optimal Grip Span for Left Hand (cm)	Optimal Grip Span† (cm)	p Value‡
15	4.1 ± 0.5	4.2 ± 0.4	4.2	.549
16	4.3 ± 0.6	4.1 ± 0.4	4.2	.413
17	4.4 ± 0.4	4.3 ± 0.3	5	.759
18	5.3 ± 0.5	5.2 ± 0.5	5.1	.657
19	5.3 ± 0.5	5.1 ± 0.5	5.2	.492

\*The precision of the hand span measure was 0.5 cm, and the value was rounded to the nearest whole centimeter.

†Optimal grip span obtained from the mean of right- and left-hand optimal grip span.

‡Comparison between optimal grip span obtained with right hand versus optimal grip span obtained with left hand for each hand span.

0.52 cm ( $r = 0.96$ ,  $p = .008$ ) (Fig. 4). The optimal grip span for each hand span in boys and girls calculated from the equations provided is presented in Table 3.

The hand grip strength obtained at the optimal grip span was significantly higher than the strength obtained when the grip was set 1 cm below or 1 cm above the optimal grip span in both hands and genders ( $p < .02$ ; Fig. 5).

Twenty-two children (17 boys and 5 girls) from the previous 28 repeated the test 2 hours later at optimal grip span. The results showed a reliability coefficient of 0.972 and 0.985 for right and left hands, respectively. Moreover, the 1-way ANOVA for repeated measures did not show statistical difference between test and retest ( $p = .991$  and  $.402$  for right and left hands, respectively). A significant correlation between test and retest was obtained for right ( $r = 0.923$ ,  $p < .001$ ) and left ( $r = 0.971$ ,  $p < .001$ ) hands at the optimal grip span.

## DISCUSSION

This study shows that there is an optimal grip span at which the standard dynamometer should be adjusted when measuring hand grip strength in children. In both genders, the optimal grip span is influenced by hand span, which implies the need of adjusting the grip span of the dynamometer to the hand span. For that purpose,

gender-specific equations are proposed. This study shows how to mathematically adjust the grip span of the dynamometer to the hand span when measuring hand grip strength in both boys and girls as young as 6 to 12 years.

These findings are in agreement with our previous reports in teenagers<sup>12</sup> and in adults.<sup>13</sup> The optimal grip was influenced by hand span in male and female teenagers as well as in adult women. The equation to calculate the optimal grip span from the measure of the hand span in male and female teenagers was  $y = x/7.2 + 3.1$  cm ( $r = 0.92$ ,  $p = .01$ ) and  $y = x/4 + 1.1$  cm ( $r = 0.93$ ,  $p = .02$ ), respectively.<sup>12</sup> In adult women, the equation was  $y = x/5 + 1.5$  cm ( $r = 0.97$ ,  $p = .004$ ), whereas in adult men, there was an optimal grip span for determining the maximum hand grip strength, but that optimal grip span was not hand span-dependent. Therefore, a fixed optimal grip span was proposed (5.5 cm).<sup>13</sup> Children have smaller hand spans and lower hand grip strength compared with teenagers and adults. The same applies to teenagers in comparison with adults. Because of these differences, one would expect that each age group may need a different optimal grip span when measuring hand grip strength. For the same reasons, gender-specific equations have also been proposed.

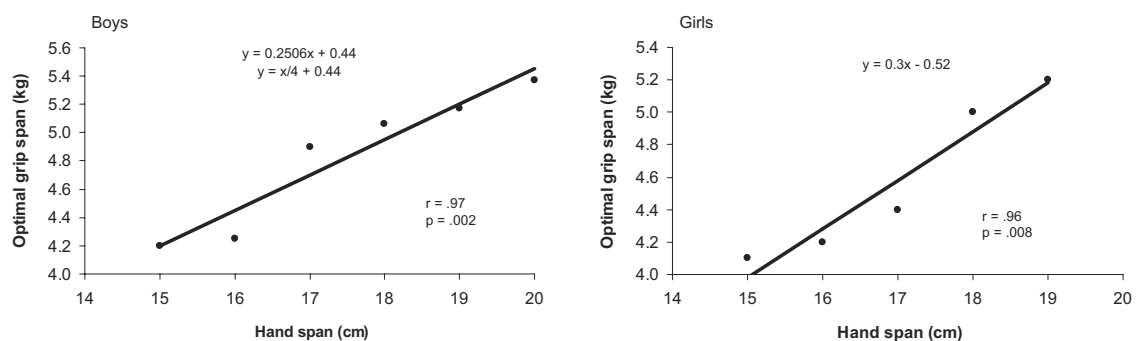


FIGURE 4: Association between hand span and optimal grip span in boys (n = 123) and girls (n = 70).

TABLE 3: Optimal Grip Span for Each Hand Span Calculated From the Equations Provided\*

Hand Size (cm)	Optimal Grip Span for Boys (cm)	Optimal Grip Span for Girls (cm)	Optimal Grip Span for Boys and Girls (cm)
15.0	4.2	4.0	4.1
15.5	4.3	4.1	4.2
16.0	4.4	4.3	4.4
16.5	4.6	4.4	4.5
17.0	4.7	4.6	4.6
17.5	4.8	4.7	4.8
18.0	5.0	4.9	4.9
18.5	5.1	5.0	5.0
19.0	5.2	5.2	5.2
19.5	5.3	5.3	5.3
20.0	5.5	5.5	5.4

\*For boys and girls,  $\gamma = 0.2674x + 0.0883$  cm ( $r = 0.98, p < .001$ ); for boys,  $\gamma = x/4 + 0.44$  cm ( $r = 0.97, p = .002$ ); for girls,  $\gamma = 0.3x - 0.52$  cm ( $r = 0.96, p = .008$ ); where  $x$  is the hand span (maximal width between thumb and little finger, with 0.5-cm precision), and  $\gamma$  is the optimal grip span in centimeters.

There is a general agreement suggesting that both grip and hand spans affect maximum hand grip strength.<sup>8,10-19</sup> Oh and Radwin<sup>18</sup> reported that hand span affected maximal and submaximal hand grip strength. They found that hand span affects grip strength, grip force, and exertion level. Firrell and Crain<sup>19</sup> studied which setting of the dynamometer produced maximal grip strength and correlated that setting with characteristics of the individual. They reported that the majority of the hands (89%) had a maximal strength at setting II (of V) of a hand dynamometer, whereas no clear significant correlation between hand size and maximal setting was found. More recently, Ratamess et al<sup>17</sup> examined the strength performance of 6 common resistance-training exercises using

free-weight bars of 3 different thicknesses. They found significant differences in the strength performance between bars and concluded that the observed differences might be due to greater reliance on maximal grip strength and larger hand size.

Hand grip strength is currently used worldwide because it is a relatively cheap test that gives practical information on muscle, nerve, bone, or joint disorders.<sup>20-25</sup> In adults, hand grip strength has been proposed as a possible predictor of mortality and the expectancy of being able to live independently.<sup>26,27</sup> Moreover, hand grip strength is associated with bone mineral density,<sup>28-30</sup> impaired cognition,<sup>31</sup> nutritional status,<sup>32,33</sup> and cardiovascular disease risk factors.<sup>34,35</sup> Therefore, from a public health perspective,

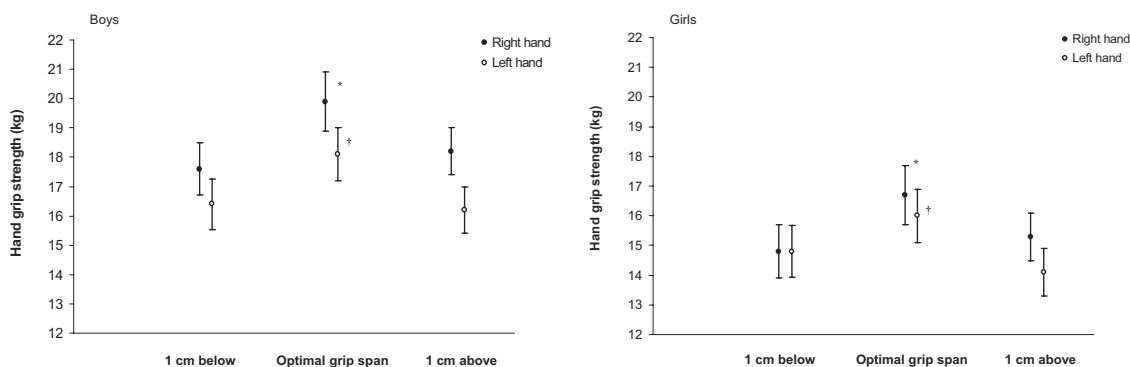


FIGURE 5: Hand grip strength measured in right and left hands at optimal grip span, 1 cm below, and 1 cm above in boys (n = 18) and girls (n = 10) (age range, 6 to 12 y). Values are mean ± standard error of the mean. \*p ≤ .01 compared with 1 cm below and 1 cm above. †p < .02 compared with 1 cm below and 1 cm above.



it is important to standardize the procedure and increase the reliability, as otherwise the measurement error may be too large to detect actual changes in strength. It must be borne in mind that different kinds of dynamometers and postures might change the results. We do not know whether these findings can be directly transferred to measurements with other dynamometers.

## REFERENCES

- Ruiz JR, Ortega FB, Gutierrez A, Meusel D, Sjöström M, Castillo MJ. Health-related fitness assessment in childhood and adolescence; a European approach based on the AVENA, EYHS and HELENA studies. *J Public Health* 2006;14:269–277.
- EUROFIT. Committee of Experts on Sports Research. Hand-book for the EUROFIT tests of physical fitness. Strasburg, GE: Council of Europe, 1993:19–37.
- Ahrens W, Bammann K, de Henauw S, Halford J, Palou A, Pigeot I, et al. Understanding and preventing childhood obesity and related disorders—IDEFICS: a European multilevel epidemiological approach. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2006;16:302–308.
- Richards LG, Olson B, Palmiter-Thomas P. How forearm position affects grip strength. *Am J Occup Ther* 1996;50:133–138.
- Su CY, Lin JH, Chien TH, Cheng KF, Sung YT. Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Arch Phys Med Rehabil* 1994;75:812–815.
- Mathiowetz V, Rennells C, Donahoe L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. *J Hand Surg* 1985;10A:694–697.
- Kraft GH, Detels PE. Position of function of the wrist. *Arch Phys Med Rehabil* 1972;53:272–275.
- Watanabe T, Owashi K, Kanauchi Y, Mura N, Takahara M, Ogino T. The short-term reliability of grip strength measurement and the effects of posture and grip span. *J Hand Surg* 2005;30A:603–609.
- Kato T, Miyamoto K, Shimizu K. Postural reaction during maximum grasping maneuvers using a hand dynamometer in healthy subjects. *Gait Posture* 2004;20:189–195.
- Fransson C, Winkel J. Hand strength: the influence of grip span and grip type. *Ergonomics* 1991;34:881–892.
- Härkönen R, Piirtomaa M, Alaranta H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. *J Hand Surg* 1993;18B:129–132.
- Ruiz JR, Espana-Romero V, Ortega FB, Sjoström M, Castillo MJ, Gutierrez A. Hand span influences optimal grip span in male and female teenagers. *J Hand Surg* 2006;31A:1367–1372.
- Ruiz-Ruiz J, Mesa JL, Gutierrez A, Castillo MJ. Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *J Hand Surg* 2002;27A:897–901.
- Clerke AM, Clerke JP, Adams RD. Effects of hand shape on maximal isometric grip strength and its reliability in teenagers. *J Hand Ther* 2005;18:19–29.
- Boadella JM, Kuijjer PP, Sluiter JK, Frings-Dresen MH. Effect of self-selected handgrip position on maximal handgrip strength. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:328–331.
- Blackwell JR, Kornatz KW, Heath EM. Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Appl Ergon* 1999;30:401–405.
- Ratamess NA, Faigenbaum AD, Mangine GT, Hoffman JR, Kang J. Acute muscular strength assessment using free weight bars of different thickness. *J Strength Cond Res* 2007;21:240–244.
- Oh S, Radwin RG. Pistol grip power tool handle and trigger size effects on grip exertions and operator preference. *Hum Factors* 1993;35:551–569.
- Firrell JC, Crain GM. Which setting of the dynamometer provides maximal grip strength? *J Hand Surg* 1996;21A:397–401.
- Louhevaara V, Smolander J, Aminoff T, Korhonen O, Shen N. Cardiorespiratory responses to fatiguing dynamic and isometric hand-grip exercise. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:340–344.
- Alperovitch-Najenson D, Carmeli E, Coleman R, Ring H. Handgrip strength as a diagnostic tool in work-related upper extremity musculoskeletal disorders in women. *ScientificWorld Journal* 2004;4:111–117.
- Schreuders TA, Roebroek M, van der Kar TJ, Soeters JN, Hovius SE, Stam HJ. Strength of the intrinsic muscles of the hand measured with a hand-held dynamometer: reliability in patients with ulnar and median nerve paralysis. *J Hand Surg* 2000;25B:560–565.
- Merkies IS, Schmitz PI, van der Meche FG, Samijn JP, van Doorn PA. Connecting impairment, disability, and handicap in immune mediated polyneuropathies. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003;74:99–104.
- Adams J, Burridge J, Mullee M, Hammond A, Cooper C. Correlation between upper limb functional ability and structural hand impairment in an early rheumatoid population. *Clin Rehabil* 2004;18:405–413.
- Wessel J, Kaup C, Fan J, Ehalt R, Ellsworth J, Speer C, et al. Isometric strength measurements in children with arthritis: reliability and relation to function. *Arthritis Care Res* 1999;12:238–246.
- Metter EJ, Talbot LA, Schrage M, Conwit R. Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002;57:B359–365.
- Seguin R, Nelson ME. The benefits of strength training for older adults. *Am J Prev Med* 2003;25:141–149.
- Ozgoçmen S, Karaoglan B, Cimen OB, Yorgancıoğlu ZR. Relation between grip strength and hand bone mineral density in healthy women aged 30–70. *Singapore Med J* 2000;41:268–270.
- Di Monaco M, Di Monaco R, Manca M, Cavanna A. Handgrip strength is an independent predictor of distal radius bone mineral density in postmenopausal women. *Clin Rheumatol* 2000;19:473–476.
- Dixon WG, Lunt M, Pye SR, Reeve J, Felsenberg D, Silman AJ, et al. Low grip strength is associated with bone

- mineral density and vertebral fracture in women. *Rheumatology (Oxford)* 2005;44:642–646.
31. Raji MA, Kuo YF, Snih SA, Markides KS, Peek MK, Ottenbacher KJ. Cognitive status, muscle strength, and subsequent disability in older Mexican Americans. *J Am Geriatr Soc* 2005;53:1462–1468.
32. Chilima DM, Ismail SJ. Nutrition and handgrip strength of older adults in rural Malawi. *Public Health Nutr* 2001; 4:11–17.
33. Pieterse S, Manandhar M, Ismail S. The association between nutritional status and handgrip strength in older Rwandan refugees. *Eur J Clin Nutr* 2002;56:933–939.
34. Garcia-Artero E, Ortega FB, Ruiz JR, Mesa JL, Delgado M, Gonzalez-Gross M, et al. [Lipid and metabolic profiles in adolescents are affected more by physical fitness than physical activity (AVENA study)]. *Rev Esp Cardiol* 2007;60:581–588.
35. Ozdirenc M, Biberoglu S, Ozcan A. Evaluation of physical fitness in patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Res Clin Pract* 2003;60:171–176.



**ELBOW POSITION AFFECTS HANDGRIP STRENGTH  
IN ADOLESCENTS; VALIDITY AND RELIABILITY OF  
JAMAR, DYNEX AND TKK DYNAMOMETERS**

España-Romero V, Ortega FB, Vicente-Rodríguez G,  
Artero EG, Rey PJ, Ruiz JR

**J Strength Cond Res**  
*Revised version submitted*



V



**Elbow position affects handgrip strength in adolescents; Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers**

Vanesa España-Romero, Francisco B Ortega, Germán Vicente-Rodríguez, Enrique G Artero, Pablo Rey, Jonatan R Ruiz

España-Romero, Ortega, Artero and Ruiz belong to the Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada 18012, Spain.

Ortega and Ruiz belong to the Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge SE-141 57, Sweden.

Vicente-Rodríguez and Rey belong to the Growth, Exercise, Nutrition and Development (GENUD) Research Group, University of Zaragoza, Zaragoza 50009, Spain.

Vicente-Rodríguez belongs to the School of Health and Sport Science, Department of Physiotherapy and Nursing, University of Zaragoza, Huesca, Spain.

**Running head:** Handgrip strength in adolescents

**Correspondence:**

Vanesa España-Romero. Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada 18012, Spain. Tel: +34958243540, Fax: +34958249015. E-mail: [vanespa@ugr.es](mailto:vanespa@ugr.es)

## **ABSTRACT**

We examined whether elbow position affects the handgrip strength in adolescents. The criterion related validity and reliability of the Jamar, DynEx, and TKK dynamometers was also analysed. A total of 66 adolescents aged 12-16 years performed the handgrip strength test with the elbow extended and flexed at 90 degrees. The validity and reliability of the Jamar, DynEx and TKK dynamometers was analysed by using known weights. The highest score was obtained when the test was performed with the elbow in full extension and when using the TKK dynamometer. The criterion related validity analyses showed a systematic bias of -1.92, -1.43 and 0.49 kg for the Jamar, DynEx and TKK dynamometers, respectively (all  $P < 0.05$ ). The reliability analyses revealed a systematic bias of 0.23, 0.26 and 0.02 kg in the Jamar, DynEx and TKK dynamometers, respectively (all  $P > 0.05$ ). Performing the handgrip strength test with the elbow extended seems the most appropriate protocol to evaluate maximal handgrip strength in adolescents when using the TKK. In addition the TKK dynamometer seems to provide the highest criterion related validity and reliability. The present study provides useful and relevant information indicating which elbow position, and which type of dynamometer yield maximal handgrip strength in adolescents.

**Keywords:** Physical fitness, muscular fitness, teenagers, hand, Bland and Altman.

## INTRODUCTION

The measure of handgrip strength is influenced by several factors including age, gender, hand size and grip span, posture, position of the shoulder, forearm, and wrist (12, 15, 20, 24, 31-33, 36, 39). The angle of the elbow is another important factor when measuring handgrip strength (15, 18). The most appropriate elbow position for achieving the maximal handgrip strength remains unclear, and the findings reported are inconsistent (3, 11, 13, 22, 24, 30). The American Society of Hand Therapists (ASHT) recommends that the handgrip strength test should be performed with the elbow flexed at 90 degrees (14), whereas others suggest that the test can be performed with the elbow in full extension or with the elbow flexed at 30, 60, 120, and 135 degrees (21, 28, 38). The influence of elbow position in the assessment of handgrip strength test has mainly been studied in adults (22, 35) and elderly people (11), yet, studies examining the effect of the elbow position on the assessment of handgrip strength in young people are scarce. Therefore, the first purpose of this study was to examine whether elbow position affects the handgrip strength in adolescents.

The handgrip strength test has traditionally been assessed by using the Jamar dynamometer in both clinical and epidemiological settings. The validity and reliability of the Jamar has been reported in several studies (4, 17, 38). Subsequent studies have used this dynamometer as the gold standard to examine the criterion related validity of other dynamometers (23, 25, 34, 35). These studies have been mainly confined to correlation analyses, yet this method is not considered appropriate for that purpose (2, 10). Therefore we analysed the criterion related validity of the Jamar dynamometer and other widely used dynamometers (i.e., DynEx and TKK) by using more appropriate statistical methods. Moreover, the reliability of these dynamometers was also examined.



## **METHODS**

### **Experimental Approach to the Problem**

To examine whether elbow position affects the handgrip strength, we compared the handgrip strength measurements at two different elbow positions: in full extension and at 90 degrees using the Jamar, DynEx, and TKK dynamometers.

To analyse the criterion related validity and the reliability of the Jamar, DynEx, and TKK dynamometers, we use the Bland-Altman approach, which is a more appropriate method to study the agreement between two measurements (5). Additionally, the potential systematic bias, 95 % confidence intervals of the bias, and the 95 % limits of agreement (bias  $\pm$  1.96 SD of the differences) were also calculated. Finally, the association between the difference and the magnitude of the measurement (i.e., heteroscedasticity) was examined.

### **Subjects**

A total of 66 adolescents (31 males and 35 females) aged 12-16 years from the HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) cross-sectional study sample recruited in Zaragoza (Aragón, Spain), voluntarily participated in this study, which was carried out in the Spring of 2007 (26). All the adolescents were free of any lesion or impairment in the upper limbs. Participants were asked to refrain from exercise the day before testing, and to avoid eating within the previous 2 h of the tests.

A comprehensive verbal description of the nature and purpose of the study, as well as on the experimental risks was given to the adolescents, their parents/guardians and teachers. This information was also sent to parents/guardians by regular mail, and written informed consent was obtained from the parents and adolescents before participation. The study protocol was performed in accordance with the ethical standards established in the 1961 Declaration of Helsinki (as revised in Hong Kong in 1989 and in Edinburgh, Scotland, in 2000), and was approved by the Research Ethics Committee of the Government of Aragón.

## **Procedures**

### *Hand dynamometers*

Handgrip strength was measured with three different hand dynamometers:

1. Jamar hydraulic hand dynamometer (J. A. Preston Corporation, Clifton, NJ, USA). The Jamar dynamometer is a hydraulic tool with five fixed grip positions. The precision of the dynamometer is 2 kg. The grip span equivalences (in cm) for the different positions in the dynamometer are: I, 3.5 cm; II, 4.8 cm; III, 6.0; IV, 7.3 cm; and V, 8.6 cm.
2. DynEx electronic hand dynamometer (MD System, Inc., PO. Westerville, OH, USA). The DynEx dynamometer is an electronic device with three fixed grip positions which are similar to positions II, III and IV of the Jamar dynamometer. The precision of the dynamometer is 0.1 kg.
3. TKK digital hand dynamometer (TKK 5101 Grip-D; Takey, Tokyo, Japan). The TKK dynamometer is a digital tool with an adjustable grip span, ranging from 3.5 to 7 cm. The precision of the dynamometer is 0.1 kg.

### *Handgrip strength protocols*

Two tests were performed with each dynamometer: one test with the elbow in full extension, and the other one with the elbow flexed at 90 degrees.

In the protocol with the elbow extended, the adolescents were standing during the entire test with the arm straight down the side with the shoulder slightly abducted (~10 degrees), the elbow in full extension, the forearm in neutral position, and the wrist also extended.

When performing the protocol with the elbow flexed at 90 degrees, the standard procedures recommended by the ASHT were followed (14), but the adolescents were standing. Handgrip strength levels are higher when the test is performed in a standing position compared to sitting (19). The participants were instructed to maintain the shoulder slightly abducted (~10 degrees), elbow flexed at 90 degrees (fixed with universal goniometer), forearm in neutral

position, and wrist flexed between 0 and 30 degrees, and between 0 and 15 degrees of ulnar deviation.

In both protocols, the adolescents looked forward, with feet shoulder-width apart and were instructed not to touch any part of the body with the dynamometer except the hand being measured. The display of dynamometers was aligned facing the examiner, providing blind measurements to the adolescent.

Each adolescent performed the test twice with each hand (right and left alternatively), with 1-minute rest between trials. Participants were instructed to squeeze gradually and continuously for at least two seconds, and were encouraged to do their best when performing the tests. For each measure, the order of the dynamometer to be used, the hand to be tested first, and the elbow position (in full extension or flexed at 90 degrees) was chosen randomly.

The third grip position was used for the Jamar dynamometer, and the second position for the DynEx dynamometer (6, 8, 23, 34, 35). The grip position of the TKK dynamometer was adjusted to the individual's hand size according to the equation developed by Ruiz et al (33). All measurements were performed the same day, and 2-hours rest between dynamometers was allowed.

#### *Criterion related validity and reliability procedures*

The criterion related validity (dynamometers vs known weights) and reliability (repeated measurements) of the three dynamometers was analysed by using known weights (ranging from 20 to 70 kg, every 5 kg) held with a rope from the centre of the dynamometer's handle. The weights were added in a randomized order. Each weight measurement was repeated twice. The time between trials was about 40-60 seconds. The dynamometer's handle was marked for consistent placement of the rope with the known weight. The verification of all the weights was performed by using a high precision SECA (861 scale) digital beam balance, which was calibrated by the manufacturer.

## Statistical Analyses

Distributions of handgrip strength values were tested for normality using the Kolmogorov-Smirnov test. All the variables showed a satisfactory pattern. Differences between elbow positions (full extension vs 90 degrees) was analysed by one-way analysis of variance (ANOVA) for repeated measures, for the right and left hand separately. Additional analyses were performed after summing up the scores obtained with the right and left hand. Difference among dynamometers (Jamar vs DynEx vs TKK) was analysed by one-way ANOVA for repeated measures, for the elbow in full extension and flexed at 90 degrees separately. Since no interaction between sex×elbow position, and sex×dynamometer was found, all the analyses were performed for both males and females together. All the analyses were adjusted for sex.

Agreement between each dynamometer and the known weights (criterion related validity), as well as between different trials with the same weight (reliability) was assessed following the Bland and Altman method (5). The bias (mean difference), 95 % confidence intervals of the bias, and the 95 % limits of agreement (bias  $\pm$  1.96 SD of the differences) were calculated. Validity and reliability variables were also graphically examined by plotting the differences against their mean, according to the Bland and Altman approach (5). Potential systematic bias was analysed by one-sample t test ( $H_0$ : mean inter-trial differences = 0;  $H_1$ : mean inter-trial difference  $\neq$  0).

In both validity and reliability analysis, heteroscedasticity was examined by using one-way ANOVA in order to determine whether the absolute inter-score differences were associated with the magnitude of the measurements (i.e., inter-score mean). A significant association ( $P \leq 0.05$ ) between these two measures would confirm heteroscedasticity. The significance level was set at 5% for all the analyses.

## RESULTS

### Handgrip strength protocols

Handgrip strength levels obtained with each dynamometer, each hand and each elbow position are shown in table 1.

*Table 1 here*

Levels of handgrip strength were significantly higher when the test was performed with the elbow extended compared with those obtained with the elbow flexed at 90 degrees. This was true when using the TKK dynamometer with the right or left hand. The results did not materially change after summing up the results obtained with both hands (Figure 1). No significant differences between elbow positions were observed when the test was performed with the Jamar or the DynEx dynamometer. A significant higher score was obtained with the TKK compared with the Jamar and DynEx dynamometer when performing the tests with the elbow in full extension ( $49.62 \pm 1.44$ ,  $45.03 \pm 1.37$ ,  $44.05 \pm 1.54$  kg, for TKK, Jamar, and DynEx, respectively) (Figure 1). The observed statistical power for the n size used was between 0.8-1.

*Figure 1 here*

### Validity

A negative systematic bias -underestimation- was observed for the Jamar and DynEx dynamometer (-1.92 and -1.43, respectively,  $P < 0.05$ ), with a 95 % limits of agreements of 1.92 and 3.56, respectively (Figure 2). Bias and limits of agreement for the TKK dynamometer were 0.49 ( $P < 0.05$ ) and 1.32, respectively (Figure 2). A positive significant association was found between inter-trials difference and inter-trials mean (*i.e.*, heteroscedasticity) in the Jamar ( $P = 0.006$ ), DynEx ( $P < 0.001$ ), and TKK ( $P = 0.038$ ) dynamometer.

*Figure 2 here*

### **Reliability**

The observed systematic bias was 0.23, 0.26 and 0.02 for the Jamar, DynEx, and TKK dynamometer, respectively (all  $P > 0.05$ ), while 95% limits of agreements were 1.20, 1.42 and 1.57, respectively (Figure 3). No patterns of heteroscedasticity were observed with any of the dynamometers.

*Figure 3 here*

## **DISCUSSION**

### **Handgrip strength protocols**

The main results indicate that handgrip strength levels are significantly higher when the test is performed with the elbow extended compared to those obtained with the elbow flexed at 90 degrees when using the TKK dynamometer. These findings are in accordance with other studies (3, 16). Handgrip strength levels did not significantly differ between elbow positions when the test was performed with the Jamar or the DynEx dynamometer, which is in agreement with studies in young adults (13, 21, 28). These findings might be partially explain by the fact that the grip span of the TKK dynamometer was accurately adjusted to the adolescent's hand size (33), whereas an accurate grip adaptation to the adolescent's hand size was not practically possible for the Jamar and the DynEx dynamometer. The third grip position was used for the Jamar and the second for the DynEx dynamometer as recommended in the literature (6, 8, 23, 34, 35). Several studies using the TKK dynamometer have shown that there is an optimal grip span for achieving the maximum handgrip strength, and that optimal grip span is related to the individual's hand size (12, 32, 33).

The results of the present study provide useful and relevant information that may help to elucidate which elbow position yields maximal handgrip strength in adolescents. Our findings suggest that, for the assessment of handgrip strength in adolescents, the elbow should be in full extension when using the TKK dynamometer, while when using either Jamar or DynEx dynamometers, the elbow can be either in full extension or flexed at 90 degrees. There is no data available regarding the influence of the elbow position on the assessment of handgrip strength in adolescents when using the TKK or the DynEx dynamometer. Handgrip strength is part of several health-related fitness test batteries (7, 9, 37), and it has been widely used in experimental and epidemiological studies (1, 27, 29). Therefore, from a public health

perspective is important to standardize the procedure, since otherwise the measurement error may be too large to detect actual changes in strength.

### **Validity**

The criterion related validity analyses suggest that the Jamar and DynEx dynamometers underestimate the handgrip strength levels (-1.92 and -1.43 kg), while the TKK dynamometer provide the lowest systematic error (0.49 kg). The heteroscedasticity analysis showed a significant association in all the studied dynamometers, which indicates that the error of the measurement is associated with the magnitude of the measured weight. It can be therefore assumed a higher error of measure in those individuals with high levels of handgrip strength. The Bland-Altman plot for the DynEx and Jamar dynamometers showed a trend to underestimate the measurement with higher weights, whereas the TKK dynamometer tended to overestimate the measurement as the weight increases. Having in mind that adolescents do not achieve high grip levels, the TKK seems to be the most appropriated dynamometer to assess handgrip strength in this particular population.

### **Reliability**

The TKK dynamometer showed the lowest systematic error (0.02), whereas the systematic error showed by the Jamar and DynEx dynamometers was similar (0.23 and 0.26, respectively). The heteroscedasticity analysis showed no significant association between known weights and different trials, which indicates that the inter-trials difference was not associated with the magnitude of the measured weight.

In conclusion, the results of the present study suggest that performing the handgrip strength test with the elbow in full extension can be the most appropriate protocol to assess maximal handgrip strength in adolescents when using the TKK dynamometer. In addition, the results indicate that among the three dynamometers studied, the TKK dynamometer seems to provide



the highest criterion related validity and reliability for measuring maximal handgrip strength in this particular population.

### **PRACTICAL APPLICATIONS**

The present study provides useful and relevant information indicating which elbow position, and which type of dynamometer yields maximal handgrip strength in adolescents. The elbow should be in full extension when performing the test, and that the TKK dynamometer is the most appropriated dynamometer to assess handgrip strength at these ages.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank Prof. Manuel J Castillo (Director of EFFECTS-262 Research Group, Department of Physiology, University of Granada, Spain) for his highly valuable comments on the manuscript, his key role in the study concept, design and supervision as well as in the funding. This study was supported by the HELENA study, which takes place with the financial support of the European Community Sixth RTD Framework Programme (Contract FOOD-CT-2005-007034); the ALPHA study, which takes place with the financial support of the Public Health Executive Agency, DG Sanco, Health Information Strand (Ref: 2006120); the Ministerio de Educación y Ciencia, Spain (EX-2007-1124, AP-2004-2745, and AP2005-4358), Consejo Superior de Deportes, Spain (109/UPB31/03 and 13/UPB20/04), Fundación Mapfre (Spain), and Fundación Cuenca Villoro. The content of this article reflects only the authors' views and the European Community is not liable for any use that may be made of the information contained therein.

## REFERENCES

1. Ahrens, W, Bammann, K, De Henauw, S, Halford, J, Palou, A, Pigeot, I, Siani, A, and Sjoström, M. Understanding and preventing childhood obesity and related disorders--IDEFICS: a European multilevel epidemiological approach. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 16(4):302-8. 2006.
2. Atkinson, G, and Nevill, Am. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26(4):217-38. 1998.
3. Balogun, Ja, Akomolafe, Ct, and Amusa, Lo. Grip strength: effects of testing posture and elbow position. *Arch Phys Med Rehabil* 72(5):280-3. 1991.
4. Bechtol, Co. Grip test; the use of a dynamometer with adjustable handle spacings. *J Bone Joint Surg Am* 36-A(4):820-4; passim. 1954.
5. Bland, Jm, and Altman, Dg. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1(8476):307-10. 1986.
6. Boadella, Jm, Kuijer, Pp, Sluiter, Jk, and Frings-Dresen, Mh. Effect of self-selected handgrip position on maximal handgrip strength. *Arch Phys Med Rehabil* 86(2):328-31. 2005.
7. Canadian Society for Exercise Physiology (Csep). The Canadian Physical Activity, Fitness & Lifestyle Approach (CPAFLA): CSEP-Health & Fitness Program's Health-Related Appraisal and Counselling Strategy. 3rd ed. Ottawa; 2003.
8. Clerke, Am, Clerke, Jp, and Adams, Rd. Effects of hand shape on maximal isometric grip strength and its reliability in teenagers. *J Hand Ther* 18(1):19-29. 2005.
9. Council of Europe Committee for the Development of Sport. EUROFIT: Handbook for the EUROFIT Tests of Physical Fitness. In: Europe Co, editor. Strasbourg; 1993.
10. Chatburn, Rl. Evaluation of instrument error and method agreement. *Aana J* 64(3):261-8. 1996.
11. Desrosiers, J, Bravo, G, Hebert, R, and Mercier, L. Impact of elbow position on grip strength of elderly men. *J Hand Ther* 8(1):27-30. 1995.
12. Espana-Romero, V, Artero, Eg, Santaliestra-Pasias, Am, Gutierrez, A, Castillo, Mj, and Ruiz, Jr. Hand Span Influences Optimal Grip Span in Boys and Girls Aged 6 to 12 Years. *J Hand Surg [Am]* 33(3):378-384. 2008.
13. Ferraz, Mb, Ciconelli, Rm, Araujo, Pm, Oliveira, Lm, and Atra, E. The effect of elbow flexion and time of assessment on the measurement of grip strength in rheumatoid arthritis. *J Hand Surg [Am]* 17(6):1099-103. 1992.
14. Fess, E. Grip Strength. 2nd ed. Chicago: American Society of Hand Therapists 1992.
15. Firrell, Jc, and Crain, Gm. Which setting of the dynamometer provides maximal grip strength? *J Hand Surg [Am]* 21(3):397-401. 1996.
16. Fraser, C, and Bente, J. A study of adult hand strength. *British Journal of Occupational Therapy* 46:296-299. 1983.
17. Harkonen, R, Harju, R, and Alaranta, H. Accuracy of the Jamar dynamometer. *J Hand Ther* 6(4):259-62. 1993.
18. Harkonen, R, Piirtomaa, M, and Alaranta, H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. *J Hand Surg [Br]* 18(1):129-32. 1993.
19. Innes, E. Handgrip Strength testing: A review of the literature. *Australian Occupational Therapy journal* 46(3):120-140. 1999.
20. Kato, T, Miyamoto, K, and Shimizu, K. Postural reaction during maximum grasping maneuvers using a hand dynamometer in healthy subjects. *Gait Posture* 20(2):189-95. 2004.
21. Kattel Bp, Fredericks Tk, Fernandez Je, and Dc, L. The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. *Int J Ind Ergon*

- 18:423-429. 1996.
22. Kuzala, Ea, and Vargo, Mc. The relationship between elbow position and grip strength. *Am J Occup Ther* 46(6):509-12. 1992.
  23. Mathiowetz, V. Comparison of Rolyan and Jamar dynamometers for measuring grip strength. *Occup Ther Int* 9(3):201-9. 2002.
  24. Mathiowetz, V, Rennells, C, and Donahoe, L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. *J Hand Surg [Am]* 10(5):694-7. 1985.
  25. Mathiowetz, V, Vizenor, L, and Melander, D. Comparison of baseline instruments to the Jamar dynamometer and the B&L engineering pinch gauge. *Occup Ther J Res* 20:147-62. 2000.
  26. Moreno, L, Gonzalez-Gross, M, Kersting, M, Molnar, D, De Henauw, S, Beghin, L, Sjostrom, M, Hagstromer, M, Manios, Y, Gilbert, C, Ortega, F, Dallongeville, J, Arcella, D, Warnberg, J, Hallberg, M, Fredriksson, H, Maes, L, Widhalm, K, Kafatos, A, and Marcos, A. Assessing, understanding and modifying nutritional status, eating habits and physical activity in European adolescents: The HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Public Health Nutr* 11(3):288-299. 2008.
  27. Moreno, L, Gonzalez-Gross, M, Kersting, M, Molnar, D, De Henauw, S, Beghin, L, Sjostrom, M, Hagstromer, M, Manios, Y, Gilbert, C, Ortega, F, Dallongeville, J, Arcella, D, Warnberg, J, Hallberg, M, Fredriksson, H, Maes, L, Widhalm, K, Kafatos, A, and Marcos, A. Assessing, understanding and modifying nutritional status, eating habits and physical activity in European adolescents: The HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Public Health Nutr*:1-12. 2007.
  28. Ng, Gyf, and Fan, Ac. Does elbow position effect strength and reproducibility of power grip measurement? *Physiotherapy* 87(2):68-72. 2001.
  29. Ortega, Fb, Ruiz, Jr, Castillo, Mj, Moreno, La, Gonzalez-Gross, M, Warnberg, J, and Gutierrez, A. [Low level of physical fitness in Spanish adolescents. Relevance for future cardiovascular health (AVENA study)]. *Rev Esp Cardiol* 58(8):898-909. 2005.
  30. Oxford, Kl. Elbow positioning for maximum grip performance. *J Hand Ther* 13(1):33-6. 2000.
  31. Richards, Lg, Olson, B, and Palmiter-Thomas, P. How forearm position affects grip strength. *Am J Occup Ther* 50(2):133-8. 1996.
  32. Ruiz-Ruiz, J, Mesa, Jl, Gutierrez, A, and Castillo, Mj. Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *J Hand Surg [Am]* 27(5):897-901. 2002.
  33. Ruiz, Jr, Espana-Romero, V, Ortega, Fb, Sjöström, M, Castillo, Mj, and Gutierrez, A. Hand span influences optimal grip span in male and female teenagers. *J Hand Surg [Am]* 31(8):1367-72. 2006.
  34. Shechtman, O, Davenport, R, Malcolm, M, and Nabavi, D. Reliability and validity of the BTE-Primus grip tool. *J Hand Ther* 16(1):36-42. 2003.
  35. Shechtman, O, Gestewitz, L, and Kimble, C. Reliability and validity of the DynEx dynamometer. *J Hand Ther* 18(3):339-47. 2005.
  36. Su, Cy, Lin, Jh, Chien, Th, Cheng, Kf, and Sung, Yt. Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Arch Phys Med Rehabil* 75(7):812-5. 1994.
  37. United States Sports Academy in Cooperation with the General Organization of Youth and Sport (State of Bahrain). International Physical Fitness Test. <http://www.thesportjournal.org/VOL1NO2/fittest.HTM> In.
  38. Van Den Beld, Wa, Van Der Sanden, Ga, Sengers, Rc, Verbeek, Al, and Gabreels, Fj. Validity and reproducibility of the Jamar dynamometer in children aged 4-11 years. *Disabil Rehabil* 28(21):1303-9. 2006.

39. Watanabe, T, Owashi, K, Kanauchi, Y, Mura, N, Takahara, M, and Ogino, T. The short-term reliability of grip strength measurement and the effects of posture and grip span. *J Hand Surg [Am]* 30(3):603-9. 2005.

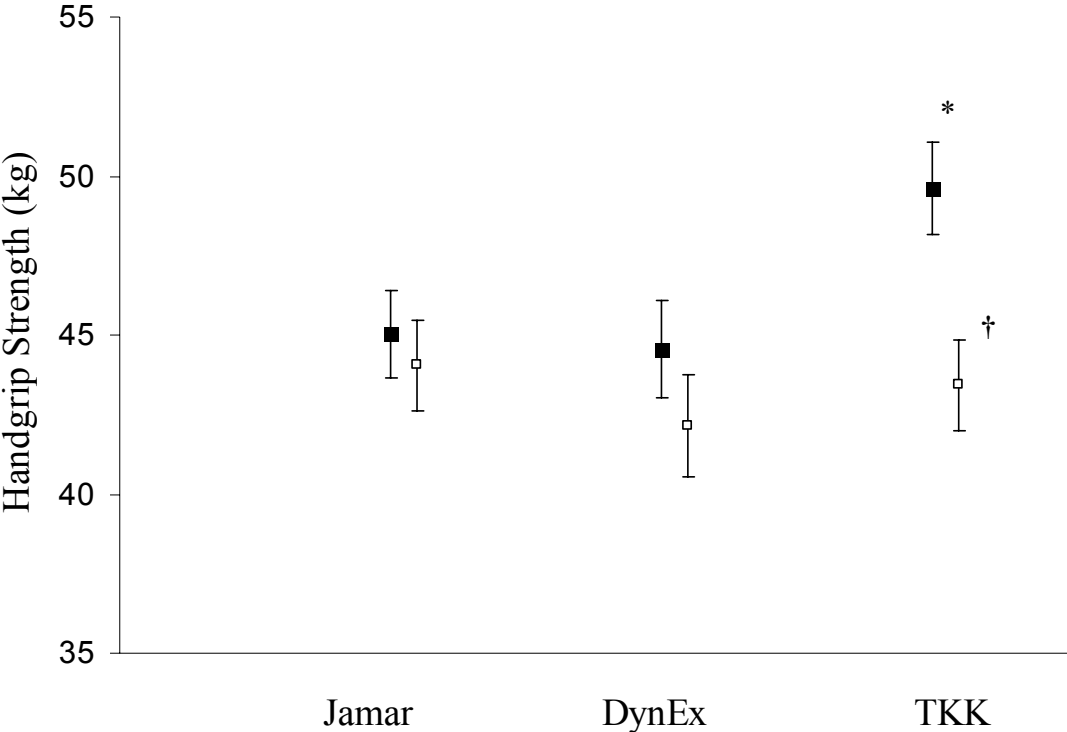
**FIGURE LEGENDS**

**Figure 1.** Comparison of handgrip strength measured with the elbow in full extension (black box), and with the elbow flexed at 90 degrees (empty box) in adolescents aged 12-16 years (n=66). The sum of right and left hands scores is shown and it was used for the analyses. Data are expressed as mean  $\pm$  standard error of the mean.  $\dagger P < 0.001$  for elbow in full extension vs elbow flexed at 90 degrees.  $* P < 0.001$  for elbow in full extension with the TKK dynamometer vs the Jamar and DynEx dynamometers.

**Figure 2.** Validity between Jamar, DynEx and TKK dynamometers respectively and known weight by Bland and Altman plots (5). Central line represents mean difference (bias) between dynamometers weight's score and know weight. Upper and lower broken lines represent the 95 % limits of agreement (mean difference  $\pm$  1.96 SD of the differences).

**Figure 3.** Reliability of weight's trials in Jamar, DynEx and TKK dynamometers respectively by Bland and Altman plots (5). Central line represents mean difference (bias) between dynamometers weight's score and know weight. Upper and lower broken lines represent the 95 % limits of agreement (mean difference  $\pm$  1.96 SD of the differences).

Figure 1



Figure

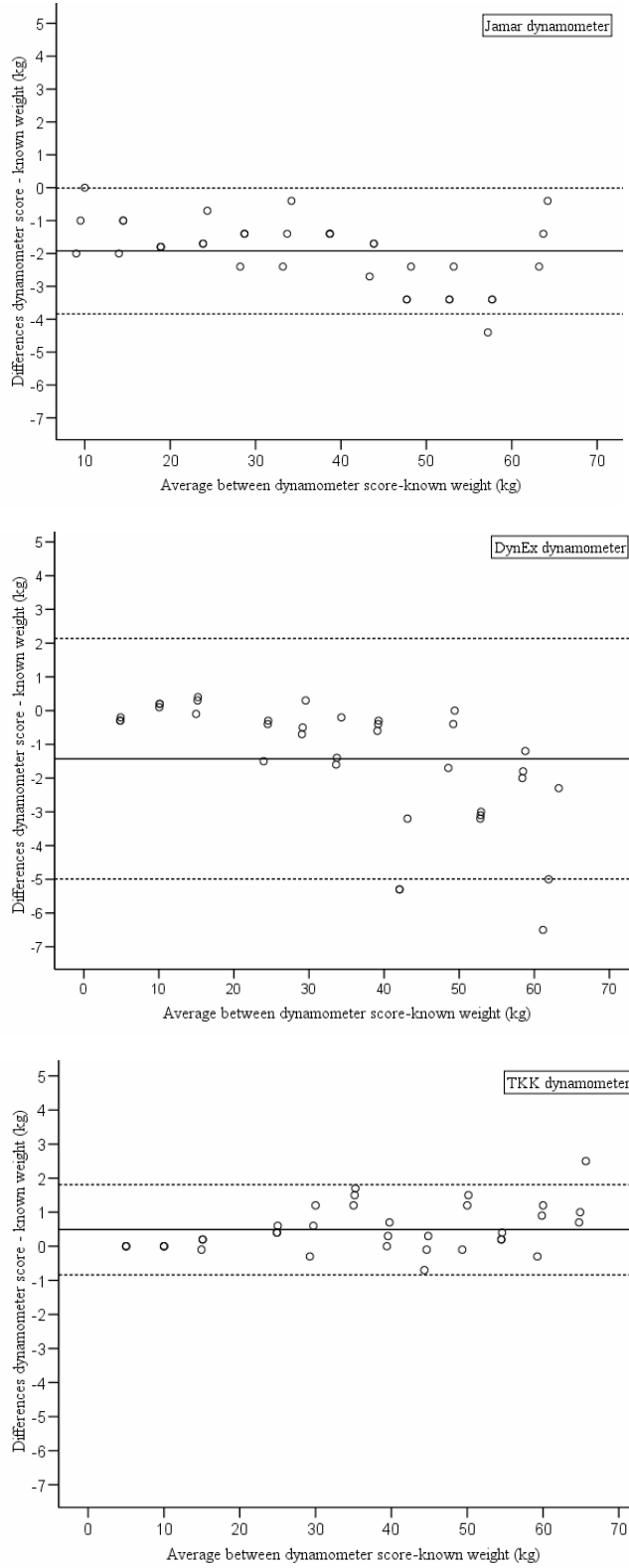
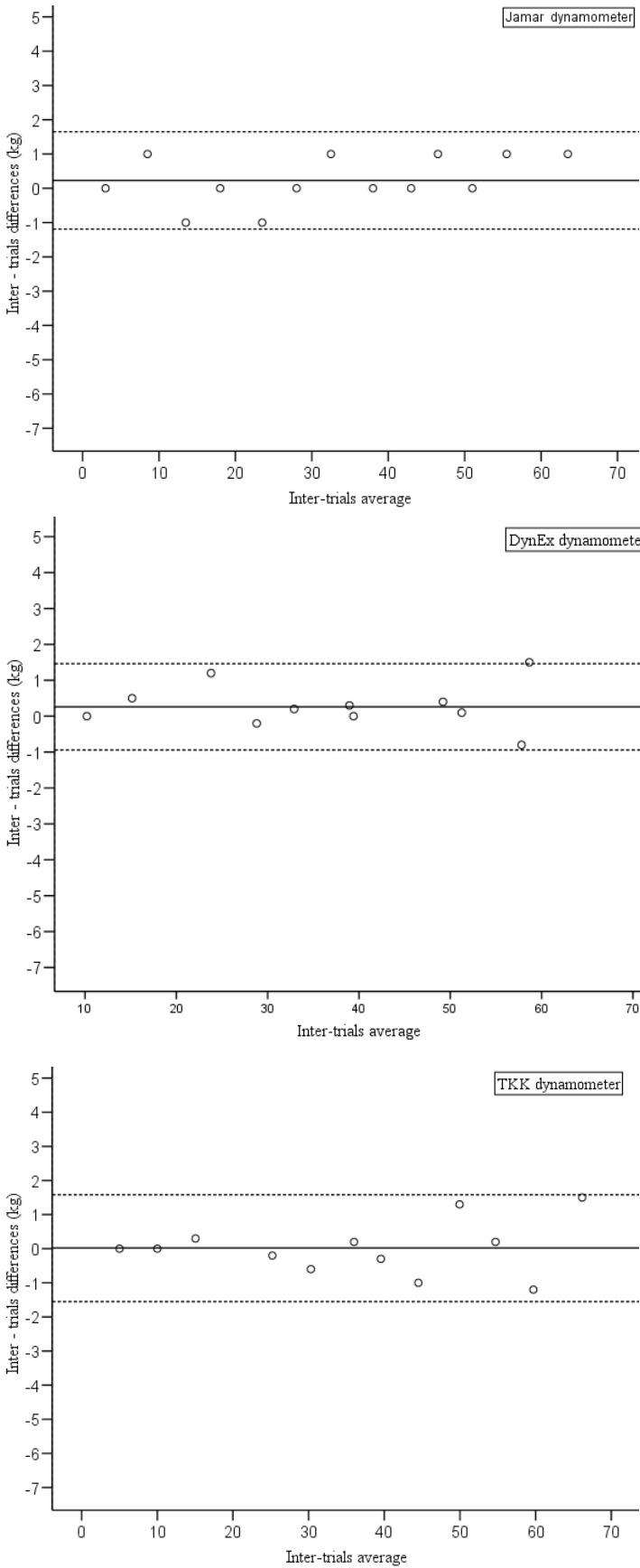




Figure 3



**Table 1.** Handgrip strength according to type of dynamometer, hand and elbow position (in full extension and flexed at 90 degrees) in adolescents aged 12-16 years (n=66).

Dynamometer	Hand	Extended	Flexed	Difference	% Difference	*P
Jamar	<i>Right</i>	23.4 ± 5.8	22.5 ± 6.1	0.88 ± 3.0	3.85	0.528
	<i>Left</i>	21.7 ± 5.8	21.6 ± 5.8	0.09 ± 2.6	0.46	0.848
Dynex	<i>Right</i>	23.1 ± 6.9	21.6 ± 6.9	1.51 ± 2.7	6.49	0.066
	<i>Left</i>	21.5 ± 6.1	20.6 ± 6.4	0.89 ± 2.9	4.19	0.746
TKK	<i>Right</i>	25.2 ± 6.2	21.7 ± 6.3	3.49 ± 2.9	13.89	0.002
	<i>Left</i>	24.4 ± 6.0	21.7 ± 5.9	2.71 ± 2.6	11.07	0.002

Data are means ± SD. \*P for differences between elbow positions after adjusting for gender.



**3. DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DEL  
RENDIMIENTO EN ESCALADA**  
(Artículo VI, VII)



**CLIMBING TIME TO EXHAUSTION IS A DETERMINANT OF CLIMBING  
PERFORMANCE IN HIGH LEVEL SPORT CLIMBERS**

España-Romero V, Ortega FB, Artero EG, Jiménez Pavón D,  
Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR

*submitted*

VI



**Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high level sport climbers**

España-Romero V<sup>1</sup>, Ortega FB<sup>1</sup>, Artero EG<sup>1</sup>, Jiménez-Pavón D<sup>2</sup>, Gutiérrez A<sup>1</sup>, Castillo MJ<sup>1</sup>, Ruiz JR<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada, Spain.

<sup>2</sup> Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Technical University of Madrid, Spain.

<sup>3</sup> Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge, Sweden.

**Running Title:** Characteristics of high level sport climbers



## ABSTRACT

**Objective:** To study which physiological and cineanthropometric characteristics determine climbing performance in high level sports climbers.

**Design:** Cross-sectional study.

**Participants:** Sixteen Caucasian high level sport climbers aged  $29.9 \pm 4.9$  years.

**Main Outcome Measurements:** Years of climbing experience, climbing days per week, and onsight climbing ability were assessed. Body composition parameters were measured with dual energy X-ray absorptiometry -DXA- scanner. We also measured cineanthropometric parameters and physical fitness. The sex-specific 75<sup>th</sup> percentile value of onsight climbing ability was used to divide the sample in to expert (<75<sup>th</sup>) and elite ( $\geq 75^{\text{th}}$ ) climbers. All the analyses were adjusted by sex.

**Results:** The 75<sup>th</sup> percentile value of onsight climbing ability was 7b in women and 8b in men. There were no differences between expert and elite climbers in the studied variables, except in climbing time to exhaustion and bone mineral density. Elite climbers had significantly a higher time to exhaustion than the expert group ( $770.2 \pm 385$  vs  $407.7 \pm 150$  sec, respectively,  $P=0.001$ ).

**Conclusion:** These results suggest that among high level sport climbers, body composition, cineanthropometric and physiological characteristics are homogenous. We observed that climbing time to exhaustion is the only determinant of climbing performance. Our findings may help to better prescribe training programmes in sport climbing.

**KEY WORDS:** Sport climbing, high level performance, climbing time to exhaustion, bone mineral density.

## INTRODUCTION

Sport climbing is being increasingly practiced either as a training mode for rock climbing or as a recreational activity.[1] It can be performed either indoor or outdoors. Indoor sport climbing is characterised by movements on the walls fitted with artificial hand and foot holds. Outdoor sport climbing requires similar movements but performed in natural rocks.[2] Research on rock climbing has increased during the last years and it has been mainly focused on physiological responses,[2-7] as well as on the anthropometric and physiological characteristics of the climbers.[8-13]

Percentage body fat (%BF) and handgrip strength have been suggested as possible determinants of sport climbing performance. Several studies have highlighted the importance of having a low %BF for high climbing performance,[1,6,9,14] since excess body fat would increase the necessary muscular effort for overall support and upward progress.[1] Handgrip strength in sport climbers is not considerably higher than in normal population when expressed in absolute terms, however when body mass is taken into account, the level is significantly higher in climbers. [1,8,15]

Whether high aerobic capacity is a predictor of climbing performance is still unknown,[1] partially because it has been studied in heterogeneous samples, that is, climbers with a wide range of expertise and climbing ability.[10-13] This is also the case with the previously mentioned components. Since the classical studies by Watts et al.[8,16] on the anthropometric profiles of competitive climbers, no other studies have examined high level sport climbers. Studies examining the determinants of climbing performance in a homogenous and high level sample of climbers are scarce. Therefore, the purpose of this study was to improve our understanding of which physiological and cineanthropometric characteristics determine climbing performance in a homogeneous sample of high level sport climbers.

## **METHODS**

### **Participants**

A total of 16 Caucasian high level sport climbers, 8 women ( $28.6 \pm 3.9$  years) and 8 men ( $31.2 \pm 5.6$  years) volunteered to participate in the study. All the participants were free of any lesion. Detailed information about climbing experience (years), frequency (days per week) and ability were recorded according to Wall et al.[17] Mean climbing experience, frequency and self-reported onsight climbing ability were  $7.7 \pm 3.6$  years,  $3 \pm 1.1$  days per week, and 6c+, respectively in women, and  $14.6 \pm 4.9$  years,  $3.7 \pm 0.9$  days per week and 8a, respectively, in men. Onsight climbing ability was determined as the most difficult trial completed on lead at the time the study was carried out, based on the French System.[1] This system is based on a scale of integers ranging from 4 (very easy) upward to 9 (very difficult) with letter subdivision of a, a+, b, b+ and c, c+ from 6a to top. Currently, the hardest confirmed grade in the world is 9b.[15] Climbing ability was converted to a standard numerical scale to enable calculations and statistical analyses according to Watts et al.[8] (Table 1).

### **Table 1 here**

Written informed consent was obtained from all participants. The study protocol was performed in accordance with the ethical standards established in the 1961 Declaration of Helsinki (as revised in Hong Kong in 1989 and in Edinburgh, Scotland, in 2000), and was approved by the Review Committee for research Involving Human Subject of the University of Granada.

Participants visited the laboratory in two occasions one week apart. In the first visit, body composition, cineanthropometric measurements and several physical fitness tests were assessed. In the second visit, we assessed aerobic capacity. The participants were instructed to

abstain from strenuous exercise for the preceding 48 hours and to avoid eating the previous 2h of the tests.

### **Body composition**

Body weight was measured by using a Seca scale (SECA, Vogel & Halke GmbH & CO. KG, Hamburg, Germany; precision of 0.1 kg) with subjects in underwear and barefoot. Height was measured with a stadiometer incorporated in the balance (SECA, Vogel & Halke GmbH & CO. KG, Hamburg, Germany, precision of 0.1 cm).

A full body dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scanner (Norland XR- 46; Medical System, Inc. Fort Atkinson, WI, USA) with XR software was used to measure fat mass, lean mass and bone mineral density. All DXA scans were performed by the same technician. %BF was calculated as [(fat mass / (fat mass + bone-free lean tissue mass + bone mineral content)) x 100].

### **Cineanthropometric characteristics**

Arm length was measured from the acromion process to the tip of the middle finger in right and left arms. The measurements were raised in the standing position with the arms abducted horizontally at the height of the shoulder. Arm mean length was calculated and used in the analyses. The arm/height ratio was calculated as left and right arms mean length divided by height. An inelastic anthropometric steel tape (Lufkin W 606 p.m.; Cooper Industries, Lexington, Surrey, Canada) of 0.5 cm width was used.

A forearm DXA scanner (Norland XR- 46; Medical System, Inc. Fort Atkinson, WI, USA) with XR software was used to measure area, width, fat mass, lean mass and bone mineral density in the right forearm. All DXA scans were performed by the same technician, who also performed the full body DXA scans.

Hand length, hand width, oblique hand and fingers length were measured in both hands. Hand length was defined as the distance from the tip of the middle finger to the midline of the distal

wrist crease when the forearm and hand are supinated.[18] Hand width was defined as the distance between the radial side of the second metacarpal joint to the ulnar side of the fifth metacarpal joint.[18,19] Oblique hand was measured from the tip of the thumb to the tip of the small finger with the hand opened as wide as possible.[20-22] An inelastic anthropometric steel tape (Lufkin W 606 p.m.; Cooper Industries, Lexington, Surrey, Canada) of 0.5 cm width was used, and measurements were recorded to the nearest mm.

Fingers length were measured in the 2<sup>nd</sup> (“index”) finger and the 4<sup>th</sup> (“ring”) finger, on the ventral surface from the basal crease to the tip of the digit. A finger ratio (2D:4D) was calculated by dividing the length of the second finger by that of the fourth. This index has been suggested to be related with the prenatal testosterone.[23] Participants were asked to lay their hand on a table with the palm of the hand facing upward. A Vernier callipers measuring 0.1 cm was used.

All the anthropometric variables were measured in a systematic order, and then the same measurement was repeated two more times. The average of the three measurements was used in the analyses.

## **Physical fitness**

### *Flexibility*

Flexibility was measured by means of the sit and reach test. The participant must bend his/her trunk and reach forward as far as possible from a seated position, with both legs straight. A standardised box with a ruler, which has to be pushed by the subject, was used. The farthest position reached by the subject in centimetres was scored. The test was performed three times and the best attempt was retained.

### *Muscular strength*

Upper body muscular strength was measured by means of the handgrip strength test. A hand dynamometer with adjustable grip was used (TKK 5101 Grip D; Takey, Tokio Japan).The

subject squeezes gradually and continuously for at least two seconds, performing the test with the right and left hand sequentially. The handgrip span was adjusted to the hand size using the equation by Ruiz et al.[22] The test was performed three times and the maximum score in kilograms for each hand was retained. The average of the maximum scores achieved by both hands was used in the analysis. Handgrip strength was expressed in kg, as well as in kg per body weight (kg/kg of body weight).

Handgrip endurance strength was measured by means of rapid exchange handgrip strength test. An electronic hand dynamometer was used (DynEx™, MD Systems, Inc.). The subject squeezes continuously in an exchange spaced by 2.5 seconds to measure instantaneous handgrip strength in both hands, sequentially over a series of 20 exchanges. A handgrip fatigue index was calculated as the first value of handgrip strength minus the last value divided by the first value. The average of the indexes achieved by both hands was used in the analysis.

Lower body muscular strength was measured by means of an infrared contact timing platform ERGO JUMP Plus – BOSCO SYSTEM (Byomedic, S.C.P., Barcelona, Spain). To assess the lower limb explosive-strength, the subject performed a squat jump. The subject performs a vertical jump without rebound movements starting from a half-squat position, keeping both knees bent at 90°, trunk straight and both hands on hips. Previous counter movement was not allowed. To assess the lower limb explosive-strength and the elastic component of the muscles, the subject performs a counter movement jump. The participant starts from a standing position, with legs extended and both hands on hips, and performs a vertical jump with a prior fast counter movement. Both jumps were performed three times and the best score in centimetres was retained.

### *Aerobic capacity*

Aerobic capacity was measured by means of a sport climbing specific test.[2] An incremental climbing test to volitional fatigue on a vertical climbing ergometer (Crestville Holdings, Sydney, Australia) fitted with artificial rock hand/foot holds was used. Large various shaped holds were randomly placed in close formation on the belt surface with their position standardised for all trials. The belt speed of the ergometer was calibrated before each trial and monitored by continuous digital output (fig 1).

The incremental protocol consisted of three trials at increasing speed with 20 min rest periods between trials owing to the strenuous nature of the climbing exercise. Trials 1 and 2 lasted for five minutes at a climbing speed of 8 and 10 m/min, respectively. For the third trial, the speed was kept at 12 m/min for 4 min and increased to 14 and 16 m/min at minutes 5 and 6, respectively. Climbing on the ergometer required a high degree of ability, particularly at high climbing speeds. To minimise the influence of skill on the outcome of the maximal test, climbing speed was not incremented beyond 16 m/min.[2] During the third trial, subjects were verbally encouraged to climb until volitional fatigue. The time to exhaustion was retained. Blood lactate and rating of perceived exertion by the Borg CR-20 scale [24] were also recorded.

A portable gas analyzer (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Rome, Italy) was used to measure oxygen consumption during the test. The Cosmed K4b<sup>2</sup> weighs 1.5 kg including the battery and a specially designed harness. This unit has been found to be a reliable unit for exercise testing by several laboratories.[25-27] Heart rate was recorded every 5 seconds throughout the test using a Polar telemetry system (Polar 610) (Polar Vantage XL, Kempele, Finland). Respiratory parameters were recorded breath-by-breath, and were averaged over a 10 seconds period. Capillary blood samples were collected, immediately, at the third and at the seventh

minutes after the end of the third climb trial using a portable lactacidimeter (Lactate Pro; Arkray, Kyoto, Japan) on capillary blood collected from the ear lobe.

Exhaustion was confirmed when maximal heart rate was greater than 185 beats per minute, and/or respiratory exchange ratio was greater than 1.1.[28]

### **Statistical Analysis**

All the variables showed a satisfactory pattern after studying their distribution using the Kolmogorov-Smirnov's test. The data are presented as means and standard deviation.[29]

The sex-specific 75<sup>th</sup> percentile of onsight climbing ability was used to split the sample into expert and elite climbers. Differences between expert and elite climbers were analysed by one-way analysis of covariance after adjusting for sex.

Statistical analyses were performed using “Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)” software 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The significance level was set at  $P \leq 0.05$ .

### **RESULTS**

Climbing ability among women ranged from 6c to 7a+ in expert climbers, and from 7b to 7c+ in elite climbers (75<sup>th</sup> percentile, 7b). Among men, the ability ranged from 7b+ to 8a+ in expert climbers, and from 8b to 8c in the elite group (75<sup>th</sup> percentile, 8b).

Body composition characteristics of both expert and elite climbers are presented in table 2.

#### **Table 2 here**

Data are expressed as mean  $\pm$  SD. Differences between expert and elite climbers were analysed by one-way analysis of covariance after adjusting by sex.

The cineanthropometric characteristics and physical fitness parameters by climbing ability are shown in Table 3 and 4, respectively.



The one-way analysis of covariance analysis showed no significant differences between expert and elite climbers in any of the studied parameters except in climbing time to exhaustion in the treadwall test ( $P=0.001$ ), and bone mineral density ( $P=0.05$ ).

**Table 3 and 4 here**

## **DISCUSSION**

The present study was designed to analyse which physiological and cineanthropometric characteristics determine climbing performance in a homogeneous sample of high level sport climbers. The results suggest that the climbing time to exhaustion seems to be a key factor of climbing performance. A longer climbing time to exhaustion may have a positive influence on climbing performance due to the fact that climbers could spend more time in a route and therefore to finish successfully. In other words, the climbers have the possibility of correcting an error in climbing routes of different displacements and/or steepness, and they can reach the top without falling. Likewise, they could climb a longer route if this is required.

Route ascent times of climbing have been reported in several previous studies aiming to show the routes characteristics.[4-7,30] However, to our knowledge, this is the first that climbing time to exhaustion have been analysed in relation to climbing performance. Only Booth et al.[2] evaluated the time to exhaustion using a especial climbing ergometer in 6 climbers (mean climbing ability 6b+), yet, they did not analyse the relationship between climbing time to exhaustion and climbing performance. The climbing ergometer and the climbing test used in the present study were similar to those used by Booth et al.[2] Watts et al.[6] also evaluated the time to exhaustion in continuous laps on an indoor arching-roof route in 11 high level climbers (climbing ability 7b to 8b). They reported values of climbing time to exhaustion similar to those

observed in our study ( $12.9 \pm 8.9$  vs  $12.84 \pm 6.42$  min, respectively), however they did not examine the relationship between climbing time to exhaustion and the climbing ability.

The anthropometric characteristics of sport climbers have been reported in other studies.[8,10-12,16,30-32] However, to the best of our knowledge, values of bone mineral density have not been either showed or analysed. Elite climbers had significantly higher values of bone mineral density than the expert group ( $1.004$  vs  $1.019$  g/cm<sup>2</sup>, respectively;  $P=0.05$ ). As lean mass is composed primarily of skeletal muscle, sports participation may not only have a direct osteogenic effect by impact loading but also an indirect effect by increasing muscle mass. Bigger muscles develop greater force, inducing more intense mechanical stimulation of the bones to which they are attached.[33] Improvements of muscular fitness accompanying muscular development in climbers would increase the generation of forces on bone attachment, indirectly stimulating bone growth.[33,34]

Several studies have reported  $VO_{2peak}$  values measured with the traditional test modes such as treadmill and cycle ergometry,[4,7,35] yet these tests might not assess the true  $VO_{2peak}$  value in sport climbers, particularly with regards to work requirements of the upper body.[1]

The  $VO_{2peak}$  values (measured in a treadwall) showed by Booth et al.[2] were lower than those observed in our study. This might be explained by the fact that the participants of our study had a higher climbing ability than the participants of the Booth's study [2] (7b and 8a in expert and elite group vs 6b+, respectively). In our study, there were not significant differences between expert and elite climbers in  $VO_{2peak}$ , which could suggest that at high levels of climbing performance,  $VO_{2peak}$  is not a key factor for climbing performance.[1]

The %BF values observed in this study are higher than those observed in other studies.[3,6,8,10,12] This could be related to the fact that in our study %BF was measured using DXA, while in most of the studies the %BF was estimated from used skinfold thickness

equations.[2,3,6-8,10-12,16,32] It has been reported that %BF values obtained with DXA are higher than those obtained with skinfold thickness equations.[36,37]

%BF and relative muscle strength have been traditionally considered predictors of climbing performance [8,16,32] which does not seem to apply to elite sports climbers.[1,10,15] In such a high level of performance, where all climbers present similar body composition and fitness characteristics, climbing time to exhaustion seems to be the only determinant of climbing performance.

The relatively low number of participants might be a limitation of the present study. It should be highlighted that the selection of a homogeneous sample of elite sport climbers, together with the high technology used for the measurements (such as DXA, portable gas analyzer, or aerobic capacity measured in a treadwall) are notable strengths of the study.

In conclusion, the results of the present study suggest that among high level sport climbers, body composition and physiological characteristics are homogenous. We observed that climbing time to exhaustion is the only determinant of climbing performance. Our findings may help to better prescribe training programmes in sport climbing.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

We gratefully acknowledge the help of all the participants that took part in the study. This study was supported by the Spanish Ministry of Education (EX-2007-1124, AP2004-2745, AP2005-4358 and AP-2005-3827).

## REFERENCES

1. Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:361-372
2. Booth J, Marino F, Hill C, Gwinn T. Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *Br J Sports Med* 1999;33:14-18
3. Mermier CM, Robergs RA, McMinn SM, Heyward VH. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br J Sports Med* 1997;31:224-228
4. Watts PB, Drobish KM. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1118-1122
5. 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;21:185-190
6. 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;36:255-260
7. Sheel AW, Seddon N, Knight A, McKenzie DC, DE RW. Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1225-1231
8. Watts PB, Martin DT, Durtschi S. Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci* 1993;11:113-117
9. Watts K, Naylor LH, Davis EA, et al. Do skinfolds accurately assess changes in body fat in obese children and adolescents? *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:439-444
10. Mermier CM, Janot JM, Parker DL, Swan JG. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med* 2000;34:359-365; discussion 366
11. Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E, Kiss MA. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:293-300
12. Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison T. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci* 1996;14:301-309
13. Cutts A, Bollen SR. Grip strength and endurance in rock climbers. *Proc Inst Mech Eng [H]* 1993;207:87-92
14. 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;33:378-384
15. Giles LV, Rhodes EC, Taunton JE. The physiology of rock climbing. *Sports Med* 2006;36:529-545
16. Watts PB, Joubert LM, Lish AK, Mast JD, Wilkins B. Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br J Sports Med* 2003;37:420-424
17. Wall CB, Starek JE, Fleck SJ, Byrnes WC. Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J Strength Cond Res* 2004;18:77-83
18. Clerke AM, Clerke JP, Adams RD. Effects of hand shape on maximal isometric grip strength and its reliability in teenagers. *J Hand Ther* 2005;18:19-29
19. Boadella JM, Kuijjer PP, Sluiter JK, Frings-Dresen MH. Effect of self-selected handgrip position on maximal handgrip strength. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:328-331

20. España-Romero V, Artero EG, Santaliesra-Pasias AM, et al. Hand span influences optimal grip span in boys and girls aged 6 to 12 years. *J Hand Surg [Am]* 2008;33:378-384
21. Ruiz JR, España-Romero V, Ortega FB, et al. Hand span influences optimal grip span in male and female teenagers. *J Hand Surg [Am]* 2006;31:1367-1372
22. Ruiz-Ruiz J, Mesa JL, Gutierrez A, Castillo MJ. Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *J Hand Surg [Am]* 2002;27:897-901
23. Manning JT, Morris L, Caswell N. Endurance running and digit ratio (2D:4D): implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *Am J Hum Biol* 2007;19:416-421
24. Borg GA. Perceived exertion. *Exerc Sport Sci Rev* 1974;2:131-153
25. Hausswirth C, Bigard AX, Le Chevalier JM. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *Int J Sports Med* 1997;18:449-453
26. McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett DR, Jr., Ainsworth BE. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med* 2001;22:280-284
27. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport* 2004;7:11-22
28. Bradshaw DI, George JD, Hyde A, et al. An accurate VO<sub>2</sub>max nonexercise regression model for 18-65-year-old adults. *Res Q Exerc Sport* 2005;76:426-432
29. Williford HN, Blessing DL, Duey WJ, et al. Exercise training in black adolescents: changes in blood lipids and Vo<sub>2</sub>max. *Ethn Dis* 1996;6:279-285
30. 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;98:489-496
31. 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
32. España-Romero V, Ortega Porcel F, García-Artero E, Ruiz JR, Gutiérrez Sainz A. [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;15:176-183
33. Vicente-Rodriguez G, Ara I, Perez-Gomez J, Dorado C, Calbet JA. Muscular development and physical activity as major determinants of femoral bone mass acquisition during growth. *Br J Sports Med* 2005;39:611-616
34. Frost HM. Muscle, bone, and the Utah paradigm: a 1999 overview. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:911-917
35. 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;35:20-24
36. Jackson AS, Ellis KJ, McFarlin BK, Sailors MH, Bray MS. Cross-validation of generalised body composition equations with diverse young men and women: the Training Intervention and Genetics of Exercise Response (TIGER) Study. *Br J Nutr* 2008:1-8
37. Rodriguez G, Moreno LA, Blay MG, et al. Body fat measurement in adolescents: comparison of skinfold thickness equations with dual-energy X-ray absorptiometry. *Eur J Clin Nutr* 2005;59:1158-1166

**Table 1.** Conversion chart used to standardize climbing ability.

French system	Standard numerical scale	
6	a	1.00
	a+	1.25
	b	1.50
	b+	1.75
	c	2.00
	c+	2.25
7	a	2.50
	a+	2.75
	b	3.00
	b+	3.25
	c	3.50
	c+	3.75
8	a	4.00
	a+	4.25
	b	4.50
	b+	4.75
	c	5.00
	c+	5.25
9	a	5.50
	a+	5.75
	b	6.00

Reproduced from Watts et al.[8]

**Table 2.** Climbing experience, performance and body composition characteristics of the study sample by climbing ability.

	Expert (n = 12)		Elite (n = 4)		P
Age (years)	29.9	± 3.99	30.0	± 7.79	0.013
Climbing experience (years)	9.7	± 4.62	15.8	± 5.74	0.269
Climbing frequency (days per week)	3.3	± 1.14	3.8	± 0.50	1.000
Onsight climbing performance	7b		8a		
Weight (kg)	58.5	± 8.28	62.5	± 5.94	0.492
Height (cm)	166.5	± 6.08	169.5	± 8.10	0.368
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	21.0	± 1.68	21.7	± 0.21	0.096
Bone mineral density (g/cm <sup>2</sup> )	1.004	± 0.09	1.019	± 0.11	0.050
Fat mass (kg)	11.4	± 2.98	10.5	± 5.08	0.129
Fat mass (%)	20.4	± 6.69	17.8	± 9.43	0.163
Lean mass (kg)	42.9	± 8.69	47.2	± 8.93	0.344

Data are expressed as mean ± SD. Differences between expert and elite climbers were analysed by one-way analysis of covariance after adjusting by sex.

**Table 3.** Cineanthropometric characteristics of arm, forearm and hand of the study sample by climbing ability.

	Expert (n = 12)	Elite (n = 4)	P
Right arm length (cm)	72.6 ± 4.07	74.8 ± 5.69	0.137
Left arm length (cm)	72.4 ± 4.41	74.1 ± 5.47	0.349
Arm mean length (cm)	72.5 ± 4.22	74.4 ± 5.58	0.222
Arm/height ratio	0.4 ± 0.02	0.4 ± 0.02	0.514
Bone mineral density (g/cm <sup>2</sup> ) in right forearm	0.8 ± 0.11	0.8 ± 0.08	0.468
Right forearm area (pixels)	90.6 ± 14.54	100.5 ± 10.74	0.406
Right forearm width (cm)	26.5 ± 4.00	28.8 ± 2.65	0.830
Fat mass in right forearm (g)	163.7 ± 34.75	179.0 ± 68.29	0.096
Lean mass in right forearm (kg)	0.8 ± 0.28	1.0 ± 0.21	0.829
2D:4D ratio in right hand	1.0 ± 0.03	1.0 ± 0.05	0.964
2D:4D ratio in left hand	1.0 ± 0.03	1.0 ± 0.03	0.867
Right hand width (cm)	7.7 ± 0.69	8.4 ± 0.32	0.850
Left hand width (cm)	7.6 ± 0.71	8.1 ± 0.32	0.203
Right hand length (cm)	18.1 ± 1.07	18.6 ± 1.39	0.198
Left hand length (cm)	18.3 ± 1.04	18.5 ± 1.31	0.620
Right hand oblique (cm)	20.8 ± 2.24	21.0 ± 1.89	0.673
Left hand oblique (cm)	20.9 ± 2.17	20.8 ± 1.35	0.336

Data are expressed as mean ± SD. Differences between expert and elite climbers were analysed by one-way analysis of covariance after adjusting by sex.



**Table 4.** Physical fitness characteristics of the study sample by climbing ability.

	Expert (n = 12)		Elite (n = 4)		P
Sit & reach (cm)	28.8	± 7.22	33.5	± 7.51	0.098
Squat Jump (cm)	27.6	± 4.46	25.4	± 4.20	0.899
Counter movement jump (cm)	31.9	± 4.78	28.4	± 2.72	0.394
Handgrip strength (kg)	81.6	± 23.29	87.4	± 11.60	0.178
Relative handgrip strength (kg/kg of body mass)	1.4	± 0.25	1.4	± 0.09	0.302
Handgrip fatigue index	0.3	± 0.11	0.4	± 0.22	0.420
VO <sub>2peak</sub> (ml/min/kg)	51.3	± 4.50	51.9	± 3.42	0.959
Ventilation (l/min)	119.4	± 29.67	123.9	± 19.71	0.977
Maximal heart rate (bpm)	184.8	± 7.68	189.8	± 2.75	0.827
Respiratory exchange ratio	1.2	± 0.10	1.2	± 0.07	0.293
Time to exhaustion (sec)	407.7	± 150.20	770.2	± 385.07	0.001
Rating of perceived exertion	17.8	± 1.70	17.0	± 1.63	0.694
Blood lactate, 1 min (mmol/l)	11.1	± 3.20	10.5	± 5.48	0.338
Blood lactate, 3 min (mmol/l)	11.2	± 2.60	8.5	± 2.54	0.944
Blood lactate, 7 min (mmol/l)	10.6	± 3.03	9.2	± 2.70	0.542

Data are expressed as mean ± SD. Differences between expert and elite climbers were analysed by one-way analysis of covariance after adjusting by sex.



**Figure 1.** Climbing ergometer (treadwall).



**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA**

España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Jiménez Pavón D,  
Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR

*submitted*



## **Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva**

*[Physiology of sport climbing]*

España-Romero V<sup>1</sup>, Artero EG<sup>1</sup>, Ortega FB<sup>1</sup>, Jiménez-Pavón D<sup>2</sup>, Gutiérrez-Sainz A<sup>1</sup>, Castillo MJ<sup>1</sup>, Ruiz JR<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Physiology, School of Medicine, University of Granada, Granada, Spain.

<sup>2</sup> Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Technical University of Madrid, Spain.

<sup>3</sup> Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Huddinge, Sweden.

### **Dirección para correspondencia:**

Vanesa España-Romero, BSc. Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Granada. Avd. Madrid s/n. CP: 18012. Granada, España.

E-mail: vanespa@ugr.es

Phone: +34 958 24 35 40

Fax: +34 958 24 90 15

## 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 así como un bajo porcentaje de masa grasa. Una alta fuerza de prensión manual y una alta fuerza resistencia, son también características específicas del escalador. Algunos autores han considerado el consumo máximo de oxígeno como un determinante más del rendimiento en escalada deportiva, sin embargo los resultados al respecto son contradictorios. Otros parámetros fisiológicos analizados durante y después de la escalada son la frecuencia cardíaca, el lactato en sangre y la fuerza máxima. Los resultados sugieren un incremento desproporcionado de la frecuencia cardíaca frente al consumo de oxígeno al realizar una vía de escalada. El lactato en sangre presenta generalmente valores superiores a 4 mmol/L, sugiriendo una importante implicación de los sistemas energéticos anaeróbicos. Además, algunos autores han observado un descenso agudo de la fuerza máxima y fuerza resistencia tras realizar una ruta de escalada. Se han detectado importantes diferencias metodológicas entre los estudios analizados, sugiriendo la necesidad de estandarizar los protocolos de evaluación para esta modalidad deportiva. La presente revisión contribuye de manera significativa a un mayor conocimiento de las características de este deporte y de quienes lo practican, identificando diversas áreas de interés que requieren futuro estudio. Las conclusiones derivadas ayudarán a orientar la investigación en escalada, así como a una planificación del entrenamiento deportivo basada más en la evidencia científica que en las percepciones subjetivas de escaladores y entrenadores.

**ABSTRACT**

The purpose of this review is explore existing research on anthropometric and physiological characteristics of sport climbers as well as the physiological responses during the activity (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.

Some authors have considered the maximal oxygen consumption as a determinant of sport climbing performance, however the results are contradictory. Other physiological parameters have been analysed during and after sport climbing, such as heart rate, blood lactate and maximal strength. The results suggest a disproportionate rise in heart rate compared with maximal oxygen consumption while climbing. The blood lactate concentration are generally around 4 mm/L, which suggests that climbing involves a notable degree of anaerobic energy production. Besides, some authors have observed a decrease of maximal strength and endurance strength after performing a climbing's route. Differences have been found 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 and this particular population, identifying particular areas that requires further studies. The conclusions may help to guide the researches in sport climbing, as well as better prescribe training programmes in sport climbing.



## 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 [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].

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.

## 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.

#### *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].

#### *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.

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.

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 la fuerza de prensión manual en 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 Ferguson & 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.

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 aspecto 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.

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 pico en escaladores mostrados en diferentes trabajos de investigación.

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 ( $35,5 \pm 5,2$  y  $36,5 \pm 6,2$  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  $VO_{2\text{pico}}$  presentados por España-Romero y col. [18] son ligeramente superiores a los presentados por Booth y col. [4] ( $54,1 \pm 4,3$  vs  $43.8 \pm 2.2$  ml/min/kg, respectivamente), lo cual puede ser debido al mayor nivel de escalada de los participantes.

Además del  $VO_{2\text{pico}}$ , 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  $VO_{2\text{max}}$ , 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.

## **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  $90^\circ$ ) con movimientos técnicamente complejos, mientras que la segunda ruta era desplomada (ángulo mayor de  $90^\circ$ ). 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  $176 \pm 14$  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-9<sup>a</sup>). 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 ( $144 \pm 14$  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  $VO_{2\text{pico}}$ .

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  $VO_{2\text{pico}}$  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 la variaciones de la FC [29].

De forma general podemos observar que durante la escalada el  $VO_{2\text{pico}}$  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.

#### - **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 escalaron 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.

## REFERENCIAS

- 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, Ansorge EJ, *et al*. Muscle metaboreflex improves O<sub>2</sub> 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.



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

**Tabla 2.** Características antropométricas en escaladores.

Estudio	Sujetos	Edad (años)	Nivel <sup>(a)</sup>	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 <sup>1</sup>
	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	Durmin et al. <sup>2</sup>
	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 <sup>1</sup>
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 <sup>1</sup>
	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 <sup>1</sup>
	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	Durmin et al. <sup>2</sup>
	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 <sup>3</sup>
Watts y col. [13]	52 H	14	7a	162,2 ± 15,6	51,5 ± 13,6	4,4 ± 2,2	Jackson & Pollock <sup>1</sup>
	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 <sup>1</sup>		
	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 <sup>4</sup>		
Bertuzzi y col. [16]	6 (principiantes)	24	< 6c+	170,0 ± 6,8	64,0 ± 7,2	10,6 ± 3,7	Jackson & Pollock <sup>1</sup>		
	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 <sup>5</sup>		
	2 H, 2 M (élite)	30	8a	169,5 ± 8,1	62,5 ± 5,9	17,8 ± 9,4			

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

**Tabla 3.** Características cineantropométricas en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel <sup>(a)</sup>	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 <sup>+</sup>				
				72,5 ± 4,22 <sup>§</sup>				
2 H, 2M (elite)	30	8a		74,8 ± 5,69*			0,4 ± 0,02	
				74,1 ± 5,47 <sup>+</sup>				
				74,4 ± 5,58 <sup>§</sup>				

<sup>(a)</sup> Ver tabla 1 para definición de grados; \* Lado derecho; <sup>+</sup> Lado izquierdo; <sup>§</sup> Media lado derecho e izquierdo.

**Tabla 4.** Fuerza de prensión manual en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel <sup>(a)</sup>	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						
Grant y col. [6]	6 M (finalistas)	27	8a	Dinamometría manual	30,3	± 3,1	0,6	± 0,04						
	10 H (elite)	28	> 6a		54,3	± 2,3*								
					53,7	± 2,1 <sup>+</sup>								
Watts y col. [15]	10 H (principiantes)	32	< 6a	Dinamometría manual	48,2	± 2,3*	0,9	± 0,09						
									Dinamómetro especial para dedos	45,4	± 2,1 <sup>+</sup>			
												Prueba 1	36,6	± 2,9*
													35,3	± 3,3 <sup>+</sup>
												Prueba 2	24,4	± 2,3*
													24,3	± 2,5 <sup>+</sup>
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*								
					Dinamómetro especial para dedos	31,3	± 1,4 <sup>+</sup>							

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

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

<sup>(a)</sup> Ver tabla 1 para definición de grados; \* mano derecha; + mano izquierda; <sup>d</sup> lado dominante; <sup>nd</sup> lado no dominante; <sup>∧</sup> media de valores de fuerza en mano derecha e izquierda.

**Tabla 5.** Fuerza resistencia en escaladores.

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

<sup>(a)</sup> 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; <sup>IF</sup> índice de fatiga.



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

Estudio	Sujetos (n)	Edad (años)	Nivel <sup>(a)</sup>	Test	VO <sub>2</sub> max (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 (élites)	30	8a		51,9 ± 3,4*

<sup>(a)</sup> Ver tabla 1 para definición de grados; H, hombre; M, mujer, \* VO<sub>2</sub>pico.

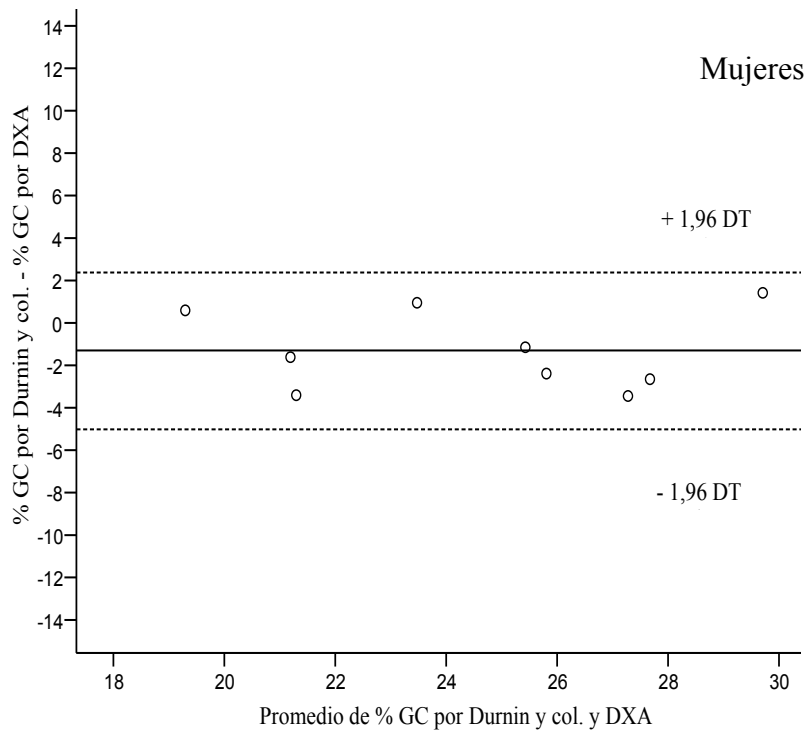
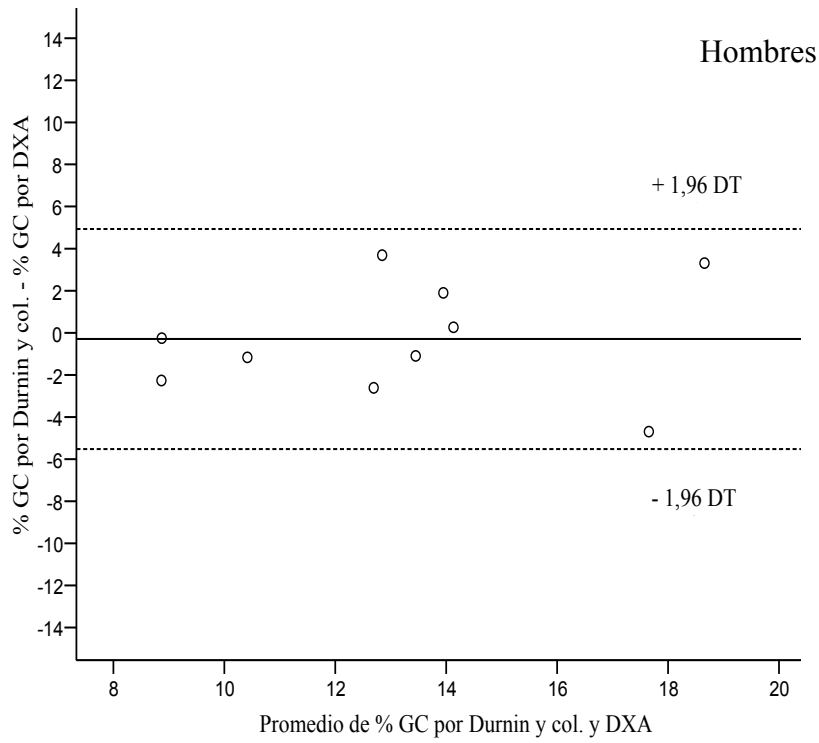
**Tabla 7.** Parámetros fisiológicos en la escalada deportiva.

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 desplazada, 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 desplazada (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 desplazada (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.

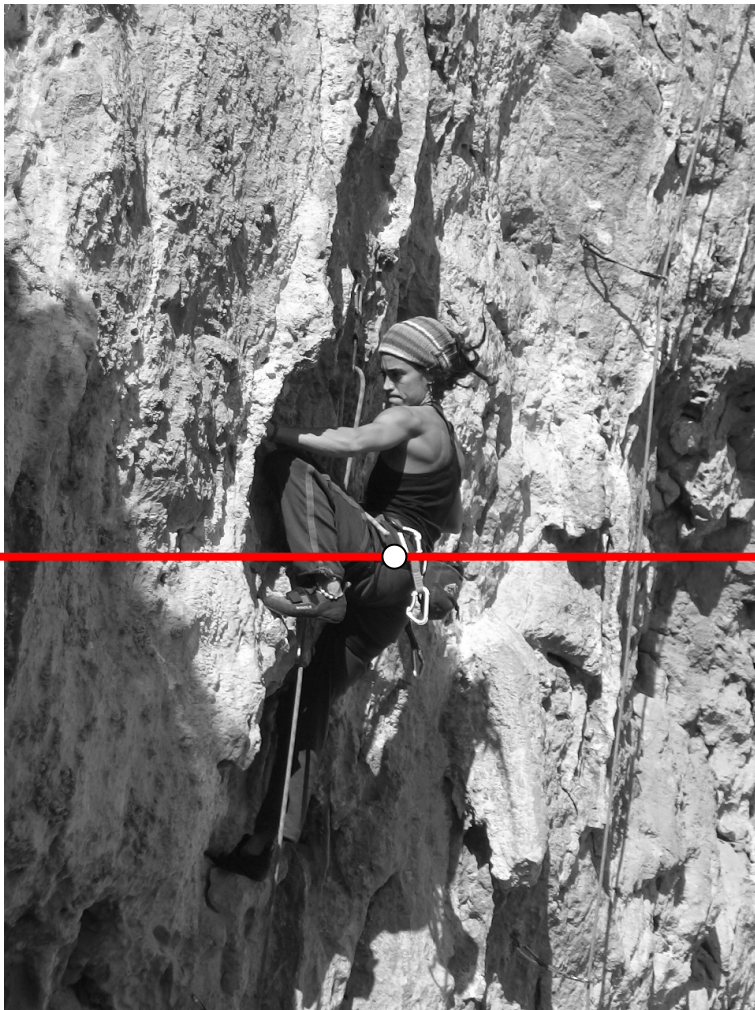


**Figure 1.** Escalada en rocódromo



**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

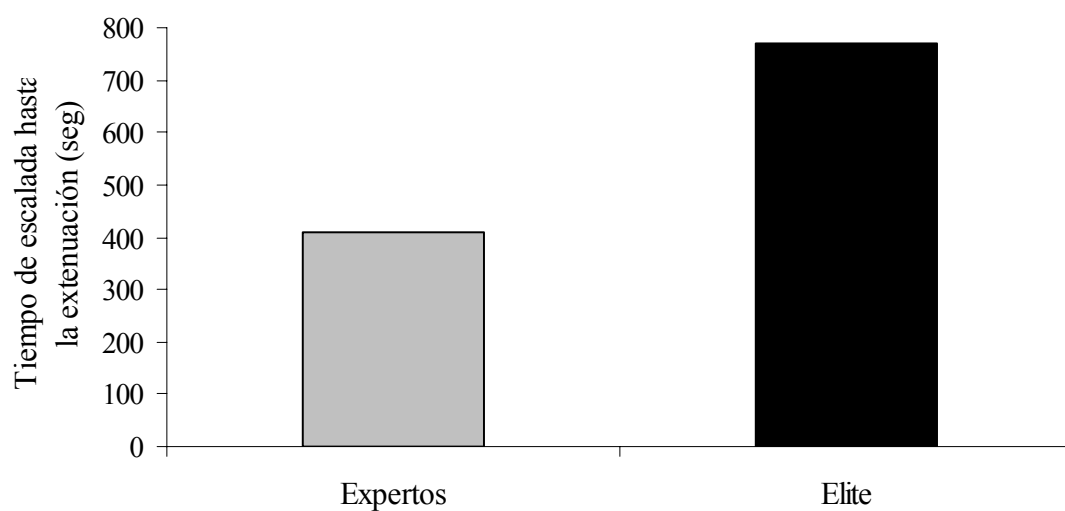
inferiores indican los límites de acuerdo al 95% (diferencia entre métodos  $\pm 1,96$  DT de las diferencias).



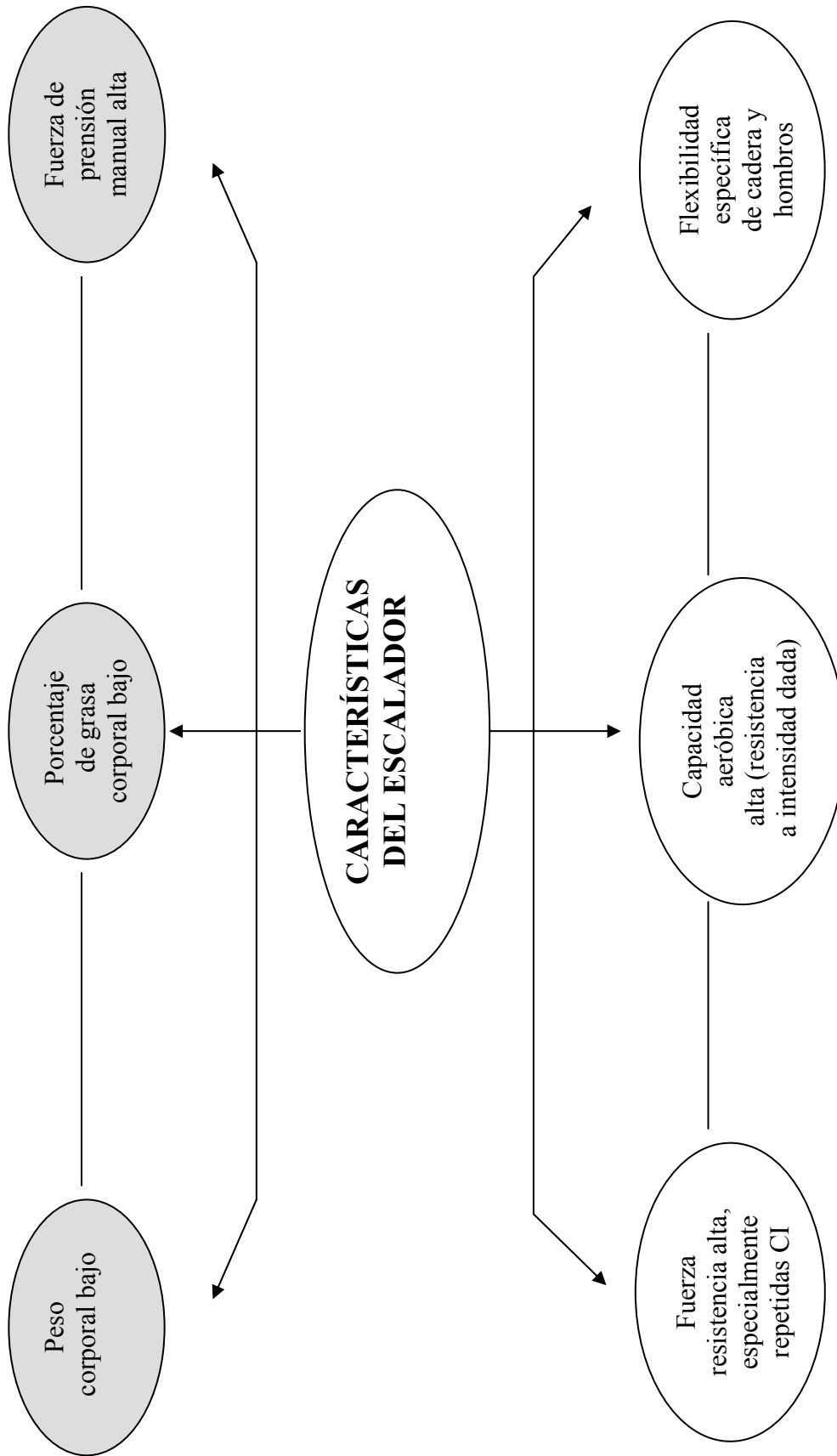
**Figure 3.** Escaladora realizando un movimiento de escalada donde el pie se eleva hasta la cadera mientras el otro se mantiene por debajo, indicando la importancia teórica de la flexibilidad de cadera para este deporte.



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



**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).  $P < 0.001$ .



**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.





## **CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

---

- I. Los escaladores de élite españoles poseen un alto y homogéneo nivel de rendimiento en escalada. Además, presentan un bajo porcentaje de masa grasa y una gran fuerza relativa de presión manual. Los resultados son muy similares a los que presentan escaladores de élite mundial.
- II. Para estimar el porcentaje de grasa corporal en escaladores, las ecuaciones de Durnin para hombres y mujeres parecen ser las más exactas.
- III. La fuerza de presión manual en adolescentes está influenciada por el tamaño de la mano y el tamaño del agarre del dinamómetro.
- IV. La fuerza de presión manual en niños y niñas de 6 a 12 años está influenciada por el tamaño de la mano y el tamaño del agarre del dinamómetro.
- V. La posición del codo en completa extensión (0 grados) parece ser el protocolo más adecuado para evaluar la fuerza máxima con un dinamómetro manual. Además, el dinamómetro TKK proporciona mayor validez y fiabilidad para medir la fuerza de presión manual en comparación con los dinamómetros Jamar y DynEx.
- VI. El tiempo de escalada hasta la extenuación es un determinante del rendimiento entre escaladores de alto nivel.
- VII. Los datos publicados en la literatura científica reclaman la necesidad de desarrollar, evaluar y estandarizar estrategias para conocer aspectos que aun no se han desarrollado en profundidad así como planificar programas de entrenamiento para mejorar el rendimiento en escalada deportiva de alto nivel.

### **Conclusión general:**

Los resultados de la presente memoria de Tesis Doctoral ponen de manifiesto los determinantes fisiológicos de la escalada deportiva además de proporcionar una metodología estándar para evaluar algunos de los parámetros fisiológicos más importantes.

## CONCLUSIONS

---

- I. Spanish elite sport climbers have showed a high and homogeneous level performance in sport climbing. In addition, they have a low percentage body fat and a high relative handgrip strength. These results are similar to world cup sport climbers' results.
- II. Out of the 17 equations studied, the Durnin's equation is the most accurate for estimating percentage body fat in both male and female elite sport climbers.
- III. There is an optimal grip span to which the dynamometer should be adjusted when measuring handgrip strength in adolescents.
- IV. There is an optimal grip span to which the dynamometer should be adjusted when measuring handgrip strength in boys and girls aged 6-12 years.
- V. The handgrip strength test with elbow in full extension can be the most appropriate protocol to assess maximal handgrip strength in adolescents. In addition, among the three dynamometers studied, the TKK dynamometer seems to provide a higher criterion related validity and reliability for measuring maximal handgrip strength in this population compared to Jamar and DynEx dynamometer.
- VI. Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance among high level sport climbers.
- VII. Scientific data demonstrate that there is an urgent need for the development, testing and standardize strategies to know aspect that has not been studied. This will help to better prescribe training programmes in high level sport climbing.

### **Overall conclusion:**

The results of the present PhD Thesis highlight the physiological determinants in sport climbing. In addition to provide a standard testing methodological to evaluate some of the most important physiological parameters.



**CURRICULUM VITAE** abreviado [Short CV]

---

**Actividad académica**

- Diplomada en Magisterio, especialidad Educación Física. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Huelva (Junio 2001).
- Licenciada en Ciencias de la Educación Física y el Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada (Junio 2004).
- Estudios de Doctorado, Facultad de Medicina, Universidad de Granada (2005-2008).

**Actualmente**

- Personal en activo del Grupo EFFECTS-262. Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Granada, España.
- Línea de trabajo de Tesis Doctoral “Fisiología de la escalada deportiva”.

**Cargos anteriores**

- Estancia de Investigación en el Grupo Genud (**G**rowth, **E**xercise, **N**utrition and **D**evelopment). Departamento de Fisiología y Enfermería. Facultad de Medicina. Universidad de Zaragoza (desde 01-05-2007 hasta 31-08-2007).
- Estancia de Investigación con Beca procedente de la Universidad de Granada, en UKK Institute for Health Promotion Research, Tampere, Finlandia (desde 01-05-2008 hasta 31-07-2008).
- Estancia de Investigación con Beca procedente de la Universidad de Granada, en Unit for Preventive Nutrition, Department of Biosciences and Nutrition at NOVUM, Karolinska Institutet, Suecia (desde 01-08-2008 hasta 31-10-2008).

**Interés científico y capacidades**

- Valoración de la condición física: experiencia en test de campo y en test de laboratorio en Fisiología del ejercicio (tapiz rodante, cicloergómetros, ergómetros específicos de escalada con analizador de gases y fuerza muscular).
- Evaluación de la composición corporal. Experiencia en técnicas antropométricas y técnicas más exactas como Absorciometría dual de rayos-X (DXA).
- Experiencia científica en termino de publicación, focalizados principalmente en fisiología de la escalada deportiva, además de las inter-relaciones entre actividad física, condición física y composición corporal en niños y adolescentes.

**Proyectos de investigación**

1. Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence (**HELENA**). EUROPEAN COMMISSION, RESEARCH DIRECTORATE- GENERAL, Directorate E-Biotechnology, agriculture and food, Food Quality. Framework Programme 6- Call identifier: FP6-2003-Food- 2A. [www.helenastudy.com](http://www.helenastudy.com)

2. Identification and prevention of Dietary -and lifestyle- induced health Effects In Children and infants (**IDEFICS**). EUROPEAN COMMISSION, Sixth Framework Programme. Contract nº. 016181 (FOOD). <http://www.ideficsstudy.eu/Idefics/>
3. Research net about physical exercise and health in special populations (**EXERNET**). Spanish Ministry of Education and Science. DEP2006-00046. <http://www.spanishexernet.com/>
4. Assessing levels of Physical Activity (**ALPHA**). European Commission, DG SANCO. Agreement number 2006120. [www.thealphaproject.eu](http://www.thealphaproject.eu)

#### **Publicaciones científicas en revistas internacionales**

1. Ruiz JR, **España-Romero V**, Ortega FB, Sjöstrom M, Castillo MJ, Gutiérrez A. "Hand-size influences optimal grip span in male and female teenagers". *J Hand Surg [Am]*. 2006; 31(8): 1367-1372.
2. **España-Romero V**, Artero EG, Santaliestra-Pasías AM, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. "Hand span influences optimal grip span in boys and girls aged 6-12 years". *J Hand Surg [Am]*. 2008; 33(3): 378-84.
3. Artero EG, **España-Romero V**, Jiménez-Pavón D, Carreño-Galvez F, Ruiz JR, Ortega FB, Miranda MT, Gutiérrez A, Castillo MJ. "Use of whole-body vibration as a mode of warming up before counter movement jump". *J Sports Sci Med*. 2007; 6: 574-5.
4. **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Vicente-Rodríguez G, Moreno LA, Castillo MJ, Gutiérrez A. "Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry". *J Sports Sci*. In press.
5. **España-Romero V**, Ortega FB, Vicente-Rodríguez G, Artero EG, Rey PJ, Ruiz JR. "Elbow position affects handgrip strength in adolescents; Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers". *J Strength Cond Res*. In press.

#### **Publicaciones científicas en revistas nacionales**

6. **España-Romero V**, Ortega FB, García-Artero E, Ruiz JR, Gutiérrez A. Características de rendimiento, antropométricas y de fuerza muscular en el escalador de élite español. *Selección: Revista española e iberoamericana de medicina de la educación física y el deporte*. 2006; 15(4): 176-183.
7. Carreño-Gálvez F, Artero EG, **España-Romero V**, Jiménez-Pavón D, Ortega FB, Ruiz JR, Gutiérrez A. Economía de carrera: análisis de la metodología para su evaluación y el tratamiento de resultados. *Selección: Revista Española e Iberoamericana de Medicina de la Educación Física y el Deporte*. 2007; 16(2): 91-7.

#### **Artículos sometidos**

8. **España-Romero V**, Ortega FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A, Castillo MJ, Ruiz JR. "Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high level sport climbers". *submitted*.

9. **España-Romero V**, Artero EG, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez Sainz A, Castillo MJ, Ruiz JR. [Physiology of sport climbing]. *Submitted*.
10. Artero EG, **España-Romero V**, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Ruiz JR, Vicente-Rodríguez G, Bueno M, Marcos A, Gómez-Martínez S, Urzanqui A, González-Gross M, Moreno LA, Gutiérrez A, Castillo MJ. “Health-related fitness in adolescents: underweight, and not only overweight, as an influencing factor. The AVENA study”. *submitted*.

### Capítulos de libro

1. **España-Romero V**. Mujer, Deporte e Investigación. Anuario 2005/2006. IES Alonso Cano. Durcal, Granada. I.S.B.N. 84-689-9030-2.
2. Carbonel Baeza A, **España-Romero V**, Aparicio García-Molina V, Roero Rodríguez C, Heredia Jiménez JM, García Artero E, Ortega Porcel F, Delgado Fernández M, Gutiérrez Sainz A, Castillo Garzón M. Formación de Técnicos en Actividad Física para Personas. Mayores. JUNTA DE ANDALUCIA. CONSEJERÍA DE COMERCIO, TURISMO Y DEPORTE. Instituto Andaluz del Deporte. 2007. ISBN nº 978-84-690-8202-7.
3. Gracia L, Vicente-Rodríguez G, Rey-López P, **España-Romero V**, Moreno LA. “Energy Metabolism and Childhood Obesity Development”. *Child Nutrition Physiology*. Editorial: Nova science Publishers. Hauppauge (New Cork). *In press*.
4. **España-Romero V**, Castro-Piñero J, Ruiz JR. Actividad Física y Salud Cardiovascular en Niños y Adolescentes Base Científica Derivada de Estudios Epidemiológicos. Actividad física y salud en niños y adolescentes. *In press*.
5. Jiménez-Pavón D, **España-Romero V**, Ortega Porcel FB. Condición Física En La Actividad Deportiva”. Editado por Colegio Oficial de Licenciados en Educación Física. *In press*.

### Participación en congresos y eventos de carácter científico

1. **España-Romero V**, Ortega Porcel FB, Gutiérrez Sáinz A. Comunicación. Características antropométricas de escaladores de élite. *Congreso Internacional de actividad Física y Educación Física*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Consejo Superior de Deportes, Universidad de Castilla-La Mancha. Cuenca, Spain. December 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2005.
2. **España-Romero V**, García-Artero E, Cervantes M, Jiménez-Pavón D, Carreño-Gálvez F. Communication.[Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry]. *I International Congress on Sport Sciences*. Pontevedra, Spain. May 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup>, 2006.
3. García-Artero E, **España-Romero V**, Jiménez-Pavón D, Carreño-Gálvez F. Communication. “Accute effect of whole body vibration on jumping performance”. *I International Congress on Sport Sciences*. Pontevedra, Spain. May 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup>, 2006.
4. Carreño-Gálvez F, García-Artero E, Jiménez-Pavón D, **España-Romero V**. Communication. [Running Economic: How to evaluate and How to manage the results]. *I International Congress on Sport Sciences*. Pontevedra, Spain. May 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup>, 2006.



5. Jiménez-Pavón D, Cervantes M, **España-Romero V**, Carreño-Gálvez F, García-Artero E. Communication. [Beer consumption for recovery of electrolyte levels, hormonal and immunological metabolism after exercise in a hot environment in trained men]. *I International Congress on Sport Sciences*. Pontevedra, Spain. May 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup>, 2006.
6. **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Sjöström M, Castillo MJ, Gutiérrez A. Poster Communication. "Hand grip strength is influenced by sex, hand size and grip span in adolescents". *I International Symposium "The adults of Tomorrow: Impact on Health of Physical Activity, Fitness and Fatness"*. Granada, Spain. February 23<sup>th</sup>, 2007. **Selección: Revista española e iberoamericana de medicina de la educación física y el deporte**. 2007; 17(1): 25.
7. Vicente-Rodríguez G, Rey JP, Ortega FB, Mesana MI, **España-Romero V**, Chillón P, Tercedor P, Castillo MJ, Moreno LA, On behalf of the AVENA study group. Poster Communication. "Lean mass, but not sedentary behaviours, is associated with bone mass in adolescents. The AVENA study". *I International Symposium "The adults of Tomorrow: Impact on Health of Physical Activity, Fitness and Fatness"*. Granada, Spain. February 23<sup>th</sup>, 2007". **Selección: Revista española e iberoamericana de medicina de la educación física y el deporte**. 2007; 17(1): 30.
8. **España-Romero V**, Carbonell-Baeza A, Roero-Gutiérrez C, Delgado Fernández M, Gutiérrez-Sainz A, Castillo-Garzón MJ. Poster Communication. [Training for technicians in physical activity for older people]. *II International Congress on Physical Activity in Older. "Life-Styles"*. Málaga, Spain. March 1<sup>th</sup>-3<sup>th</sup>, 2007.
9. Jiménez Pavón D, Ortega FB, Ruiz JR, Artero EG, **España-Romero V**, González-Gross M, Gutiérrez A, Castillo MJ and Grupo AVENA. Communication. "Physical fitness in the school". *Jornadas de Intercambio de Experiencias Motrices*. Córdoba, Spain. April 20<sup>th</sup>-22<sup>th</sup>, 2007.
10. **España-Romero V**, Jiménez-Pavón D, Cervantes M, Romeo J, Artero EG, Ruiz JR, Ortega FB, Marcos A, Gutiérrez A, Castillo MJ. Communication. [Dehydration and Rehydration: effects on body composition]. *CI Symposium about Beer, Sport and Health (B002607JA)*. Medicine Faculty, University of Granada, Spain. May 29<sup>th</sup>, 2007.
11. Artero EG, Jiménez-Pavón D, Cervantes M, Romeo J, **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Marcos A, Gutiérrez A, Castillo MJ. Communication. [Dehydration on Physical Performance]. *I Symposium about Beer, Sport and Health (B002607JA)*. Medicine Faculty, University of Granada, Spain. May 29<sup>th</sup>, 2007.
12. Jiménez-Pavón D, Cervantes M, Romeo J, **España-Romero V**, Artero EG, Ruiz JR, Ortega FB, Marcos A, Gutiérrez A, Castillo MJ. Communication. "Dehydration and Rehydration: effects on perceptual-motor abilities". *I Symposium about Beer, Sport and Health (B002607JA)*. Medicine Faculty, University of Granada, Spain. May 29<sup>th</sup>, 2007.
13. Fernández-Rodríguez JM, Navarro D, Domínguez MJ, Ortega FB, Sánchez C, Jiménez-Pavón D, Artero EG, Chillón P, **España-Romero V**, M. J. Castillo. Poster Communication. "Plan de intervención de educación física en escolares de 1º de ESO orientado a la mejora de la condición física". *I Symposium about Beer, Sport and Health (B002607JA)*. Medicine Faculty, University of Granada, Spain. May 29<sup>th</sup>, 2007.
14. **España-Romero V**, Ortega F, Artero EG, Ruiz JR, Vicente-Rodríguez G, Castillo MJ. Communication. [Body fat measurement in elite sport climbers: comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry]. *XII Congreso nacional de la Federación Española de Medicina del Deporte. VI Congreso Iberoamericano de*

*Medicina del Deporte. Simposium conmemorativo del Real Betis Balompié S.A.D. IX Jornadas de Salud del Centro de Estudios, Desarrollo e Investigación del Fútbol Andaluz (CEDIFA). FEMEDE. Sevilla, Spain. October 24<sup>th</sup>-27<sup>th</sup>, 2007. Archivos de Medicina del Deporte. 2007; 121: 396.*

15. Artero EG, **España-Romero V**, Urzanqui A, Valtueña J, González-Gross M, Moreno LA, Ortega FB, García-Fuentes M, Castillo MJ, y grupo AVENA. Communication. [Physical fitness level in overweight and obese adolescents (AVENA Study)]. *XII Congreso nacional de la Federación Española de Medicina del Deporte. VI Congreso Iberoamericano de Medicina del Deporte. Simposium conmemorativo del Real Betis Balompié S.A.D. IX Jornadas de Salud del Centro de Estudios, Desarrollo e Investigación del Fútbol Andaluz (CEDIFA). FEMEDE. Sevilla, Spain. October 24<sup>th</sup>-27<sup>th</sup>, 2007. Archivos de Medicina del Deporte. 2007; 121: 408-9.*
16. Jiménez-Pavón D, Cervantes-Borunda M, Romeo J, **España-Romero V**, Artero EG, Ortega FB, Ruiz JR, González-Gross M, Marcos A, Gutiérrez A, Castillo MJ. Communication. [Exercise, dehydration and rehydration: effects on perceptual-motor habilitéis. *XII Congreso nacional de la Federación Española de Medicina del Deporte. VI Congreso Iberoamericano de Medicina del Deporte. Simposium conmemorativo del Real Betis Balompié S.A.D. IX Jornadas de Salud del Centro de Estudios, Desarrollo e Investigación del Fútbol Andaluz (CEDIFA). FEMEDE. Sevilla, Spain. October 24<sup>th</sup>-27<sup>th</sup>, 2007. Archivos de Medicina del Deporte. 2007; 121: 383-4.*
17. **España-Romero V**, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Ruiz JR, Sánchez-Muñoz C, Gutiérrez A. "Physiological predictors of rock climbing performance". *I Internacional Symposium of Altitude Training. Granada, Spain. February 14<sup>th</sup>-16<sup>th</sup>, 2008.*
18. Artero EG, Jiménez-Pavón D, **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Gutiérrez A, Castillo MJ. Poster communication: [Fitness as a health determinant in children and adolescents]. *VI Jornadas Jóvenes Investigadores. Asociación de Jóvenes Investigadores de Granada (ASI) y Federación de jóvenes investigadores (FJI). Granada, Spain. February 13<sup>th</sup>-15<sup>th</sup>, 2008.*
19. **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Santaliestra-Pasias A, Gutiérrez A. "Hand size influences optimal grip span in children, adolescents and adult women". *The International Congress on Physical Activity and Public Health. Amsterdam, Holland. April 13<sup>th</sup>-16<sup>th</sup>, 2008.*
20. **España-Romero V**, Ortega FB, Vicente-Rodríguez, Artero EG, Rey P, Ruiz JR. Poster communication. "Elbow position affects handgrip strength in adolescents; Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers". *International Course: Symposium HELENA, Promoting a Healthy European Lifestyle through Exercise and Nutrition in Adolescence. Granada, Spain. April 20<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup>, 2008. ISBN: 978-84-96876-40-8.*
21. Ruiz JR, **España-Romero V**, Ortega FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Santaliestra-Pasias A, Castillo MJ, Gutierrez A. Poster communication. "Influence of hand size and grip span on maximal handgrip strength". *International Course: Symposium HELENA, Promoting a Healthy European Lifestyle through Exercise and Nutrition in Adolescence. Granada, Spain. April 20<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup>, 2008. ISBN: 978-84-96876-40-8.*
22. Artero EG, **España-Romero V**, Carbonell Baeza A, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Ruiz JR, Vicente-Rodríguez G, Heredia JM, Soto V. Poster communication. "Jump field tests and isokinetic strength in adolescents. The HELENA Study". *International Course: Symposium HELENA, Promoting a Healthy European Lifestyle through*

*Exercise and Nutrition in Adolescence*. Granada, Spain. April 20<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup>, 2008. ISBN: 978-84-96876-40-8.

23. Jiménez-Pavón D, Ortega FB, Artero EG, **España-Romero V**, Aparicio V, Sánchez Muñoz C, Chillón P, Ruiz JR, Moreno Aznar L, Castillo MJ. Poster communication. “Associations between upper limb muscular fitness field tests and isokinetic parameters. HELENA study”. *International course: symposium HELENA, Promoting a Healthy European Lifestyle through Exercise and Nutrition in Adolescents*. Granada, Spain. April 20<sup>th</sup>-22<sup>th</sup>, 2008. ISBN: 978-84-96876-40-8.
24. **España-Romero V**, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A. Poster communication. “Body fat in elite rock climbers measured by anthropometry and Dual Energy X-ray Absorptiometry”. *13<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS)*. Estoril, Portugal. July 9<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2008.
25. Jiménez-Pavón D, Romeo J, Cervantes-Borunda M, Ruiz JR, **España-Romero V**, González-Gross M, Marcos A, Castillo MJ. Communication. “Rehydration after exercise under hot environment: effects of beer vs water”. *13<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS)*. Estoril, Portugal. July 9<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2008.
26. **España-Romero V**, Ortega FB, Vicente-Rodríguez, Artero EG, Rey P, Ruiz JR. Poster communication. “Validity and reliability of Jamar, DynEx and TKK dynamometers; Elbow position affects handgrip strength in adolescents”. *International Symposium of Exercise and Health in special Populations*. Faculty of Health and Sports Sciences. Huesca, Spain. October 23<sup>rd</sup>-24<sup>th</sup>, 2008.
27. Artero EG, **España-Romero V**, Carbonell Baeza A, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Ruiz JR, Vicente-Rodríguez G, Heredia JM, Soto V. “Association between jump field tests and isokinetic strength in adolescents”. *International Symposium of Exercise and Health in special Populations*. Huesca, Spain. October 23<sup>rd</sup>-24<sup>th</sup>, 2008.
28. Ruiz JR, Castro-Piñero J, Artero EG, Ortega FB, **España-Romero V**, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A, Sjöström M, Suni A, Castillo MJ. “Does fitness in children predict health later in life?”. *International Symposium of Exercise and Health in special Populations*. Huesca, Spain. October 23<sup>rd</sup>-24<sup>th</sup>, 2008.

## AGRADECIMIENTOS

---

Especialmente a mis **padres**, porque esa dulce valentía siendo tan jóvenes ha creado en mí la fuerza que tengo, porque iluminan mi camino y lo llenan de ilusiones, de sueños que con coraje se van cumpliendo. Gracias mamá, gracias papá, por ayudarme, por confiar en mi, por TODO.

A mis hermanas, a **M<sup>a</sup> Ángeles** por esa admiración incondicional que tiene hacia mí, y a **María** por preocuparse de mí como una mamá mientras yo pensaba que era una nena. ¡No me dí cuenta que creció!

A mi “**yaya**”, mi compañera de habitación, mi hermana, mi madre, mi abuela, mi estrella...

A mi familia, mi abuela **Mercedes**, mi **Titi, Loli, Cinta, Gele, Elena**, y tod@s los que no nombro y están, y también, a los que ya no están.

A mis directores, **Ángel Gutiérrez**, ¡el motor de esta Tesis sin duda!. La primera página de este librito lleva el nombre de *Escalada deportiva*, esto era un sueño difícil y que hoy se hace realidad. Gracias por permitirme llevarlo a cabo. A **Manuel Castillo**, por dejarme un hueco dentro del grupo de investigación, por darme la oportunidad de poder vivir de esto después de las numerosas becas que nunca llegaron, por permitirme disfrutar de sus grandes ideas. Y especialmente a **Jonatan Ruiz**, mi director y amigo, por sus lecciones de humildad, por las ganas y motivación que siempre me transmitiste y me llenaron y me llenan de “poder”, por confiar en mi desde el principio, por hacerlo siempre todo tan fácil, por enseñarme todo lo que tú aprendiste, en definitiva...por TODO.

A mis compañeros, **David Jiménez**, por los momentos compartidos en el departamento, a **Fran Ortega**, por su sinceridad, por su amistad... ¡por toda su gran ayuda con la estadística! y por todas las cervezas compartidas en el camino. A **Enrique García**, porque no he dado ni un solo paso en este camino sin él, porque mi Tesis es tú Tesis Enrique. Todo ha sido muy especial al mismo tiempo que difícil, pero eso ha hecho que los dos subamos alto alto y ¡a ver ahora quién lo cambia! Te quiero mucho petardo.

A mis niñas, **Cristina**, mi compañera de cordada con su sonrisa constante, siempre tan positiva y llena de energía, gracias por escucharme, por cuidarme, por mimarme, por ser tan especial. A **M<sup>a</sup> José**, por todas las “charlitas” compartidas que nos dieron fuerzas para avanzar. Porque sin vosotras la vida en Granada no hubiera estado tan llena de buenos momentos. ¡Va por todos los viajes y escaladas que nos quedan juntas!

A **Virginia**, por su buenísima compañía en el hogar, en Alfacar ¡Por qué dure mucho más Virgi!

A **Luis Moreno**, por acogerme en su grupo de Investigación cuando más lo necesitaba, y a todo el equipo maño, que además de ser “punteros” en su materia destacan por ser buenas personas. ¡Gracias por hacerme sentir desde el primer día como una más!

A **Michael Jöström**, por darme la posibilidad de trabajar en su grupo, por hacerme un hueco dentro de la Unit, Thanks.

A **Palma**, a **Miguelón**. A tod@s los compañeros que pasaron por el Grupo EFFECTS y dejaron un poco de ell@s, en especial a **Quilly**, **Ana Moreno**, **Ana Carbonel**, **Paula**, **Morín**, **Mónica**, **Marcelo**, **Daniel** y **Andrés**.

A **Noelia**, por su fiel amistad y ¡claro, por su ayuda con el diseño!. También a todo el equipo onubense, especialmente a **Helena**, **Tanin**, **Migue**, **Violeta**, **Cinti**, **Nuria**, **Mamen**, **Caroco**, **Virginia** y **Edu** y mis primas **Noelia**, **Rosa**, **Caro** y **Belén**.

A los amig@s de Graná, entre ell@s a **Ángeles**, **Fran**, **Paloma** y **Javi**, **Marga**, **Andrea**, **Francis**, **Mamen**, **Alba**, **Juan**, **Kiko**, **Pedro**, **Praderas**, **Joselito**...

A tod@s los no nombrados que también estuvieron cerca.

Y por supuesto, a tod@s los escaladores que hicieron posible este trabajo, **Pablo Gómez**, **José Padial**, **Francisco Javier Pérez**, **Javier Morales**, **Cristina Rueda**, **Christian Lupión**, **Bernardo Giménez**, **M<sup>a</sup> José Cardell**, **M<sup>a</sup> Asunción Yaguas**, **Andrea Cartas**, **Armando Raya**, **Alexandra Schweikart**, **M<sup>a</sup> José Domínguez**, **Belén Robles**, **Verónica Alcaraz**, **Álvaro Torrejón** y **Rafa Fanegas**.

Gracias.