

## Descripción de la carga mecánica soportada por los dedos en distintos agarres de escalada deportiva en expertos

### *Description of the mechanical stress on the fingers depending on the type of hold in expert climbing*

Morenas, J.<sup>1</sup>, Sabido, R.<sup>1</sup>, Leyton, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de control Motor, Facultad de Ciencias del Deporte, Cáceres. Universidad de Extremadura.

Dirección de contacto

Jesús Morenas Martín: [chiquinino@hotmail.com](mailto:chiquinino@hotmail.com)

Fecha de recepción: 16 de marzo de 2010

Fecha de aceptación: 7 de junio de 2010

#### RESUMEN

En la escalada deportiva, el entrenamiento de los músculos flexores de los dedos es un factor determinante para el rendimiento. Pero aún hoy, no se ha investigado apenas la intervención de cada dedo individualmente en diferentes posiciones de agarre en escalada. El objetivo de este estudio es estudiar las diferentes cargas que soportan los dedos en tres agarres típicos usados en escalada deportiva, y si éstas varían entre escaladores de distinto nivel. En este estudio, contamos con 34 escaladores expertos en dos grupos diferenciados para conocer si existen diferencias significativas entre ellos.

Con la utilización de este protocolo, hemos visto una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la distribución de la carga en los tres tipos de agarre analizados. Concluimos que la distribución de la carga en los dedos varía para cada tipo de agarre. Vemos también que escaladores de un mayor nivel distribuyen la carga entre los dedos de manera diferente a los escaladores de menor nivel.

Palabras clave: escalada, dedo, carga mecánica, agarre.

**ABSTRACT**

In sport climbing, training the flexor muscles in the fingers is a crucial determinant for performance. At present, the effect of each individual digit in different grip positions has not been fully investigated. The aim of our research, therefore, is to study how different loads supporting the fingers are affected in three typical grip positions used in sports climbing, and if exists differences between high and low level climbers. In the present study, we divided 34 expert climbers into two groups and investigated whether a significant difference existed between.

Using this protocol, we have shown a significant ( $P < 0.05$ ) difference exists in load distribution in the three kinds of grip analysed. Moreover, we observe that each individual finger contributes in a different way in each type of grip. We conclude that the distribution of the mechanical load in fingers differs according to grip position. We see that climbers at higher level differentially distribute mechanical load between the fingers compared with subjects at lower level.

Keywords: climbing, finger, mechanical load, grip.

**INTRODUCCIÓN**

Por prensión manual (*grasping*) entendemos el acto de agarrar con los dedos un objeto (An et al., 1978). La prensión manual implica la coordinación en el control de las fuerzas de contacto (Johansson y Westling, 1988; Flanagan et al., 1999). La mayoría de las investigaciones de prensión manual en escalada se basan en la utilización de un dinamómetro manual para medir la fuerza (Watts et al., 1999; Quaine y Vigouroux, 2003; Usaj, 1996). Sin embargo en este tipo de mediciones el sujeto realiza el agarre utilizando la oposición del pulgar y la zona tenar de la mano, mientras que el escalador en la mayoría de los casos se suspende del agarre acomodando solamente las falanges de los dedos en función de las características del mismo (Watts, 2004).

Para intentar dar solución a este problema algunos autores utilizaron un instrumental más específico, adaptando un dinamómetro manual a los agarres que se utilizan en escalada (Bourdin et al., 1998; Schweizer, 2001; Noé et al., 2001; Watts et al., 1996; Grant et al., 1996; Watts, 2004), pero sin llegar a ser del todo específicos, debido a la posición del sujeto. El principal problema que encontramos en los diseños anteriores es la inespecificidad del agarre, ya que en prácticamente ningún caso el sujeto se encuentra suspendido de los dedos, como en una situación real (Watts, 2004; Grant et al., 1996; Schweizer, 2001). Tampoco se ha estudiado la implicación individual de cada dedo, además de que los escaladores ejercen la fuerza necesaria para mantenerse suspendidos del agarre.

El objetivo de este trabajo es estudiar los patrones de distribución de la carga entre los dedos en tres agarres típicos de escalada deportiva, para así conocer si los dedos intervienen de forma diferente dependiendo del tipo de agarre. El segundo objetivo es conocer si estos patrones de distribución de la carga mecánica en

los dedos son diferentes entre escaladores de distinto nivel.

**MÉTODO****Muestra**

Para este estudio la muestra estaba compuesta por 34 escaladores, todos varones, con una media de edad de 27,3 años  $\pm$  5,6, una media de años escalando de 8,1 años  $\pm$  4,7 años y una media de grado máximo de 7b. Todos los escaladores pertenecientes a centros de tecnificación deportiva. Para la segunda parte del estudio se realizaron dos grupos, en función del nivel de rendimiento: uno de menor nivel (con niveles de dificultad de 7a hasta 7c) con 18 sujetos, y uno de mayor nivel (con niveles de 8a hasta 8c) con 16 sujetos.

**Diseño**

La variable independiente que se ha manipulado en el presente trabajo de investigación fue el tipo de agarre. De los numerosos agarres típicos de escalada y sus múltiples variantes se seleccionaron los agarres en los que se utilizan los cuatro dedos (desechamos el pulgar), y de éstos se utilizaron los más representativos y habituales en la escalada deportiva y el bloque (Quaine y Vigouroux, 2003). Se distinguieron, así, tres tipos de agarre: arqueo, semi-extensión y extensión, que describimos a continuación:

**- Agarre en arqueo (*crimp*)**

Esta posición de la mano es utilizada cuando la superficie de la roca es menor que el tamaño de una falange, lo que impide utilizar los agarres anteriores. De esta forma sólo se utiliza la falange distal de todos los dedos. En este agarre las articulaciones

distales están hiperextendidas, de ahí el nombre de arqueo. Pero por el contrario las falanges medias están flexionadas al máximo, para dar a la mano una forma de “gancho”. El dedo pulgar se colocará sobre el dedo índice para reforzar la estructura, y evitar así que los dedos se extiendan. Las articulaciones metacarpo-falángicas de los dedos índice y corazón adoptarán una posición de flexión de unos 20° y las de los dedos anular y meñique estarán en extensión completa (Schweizer, 1997).

- **Agarre en semi-extensión** (*half open hand*)

Esta posición se utiliza cuando la superficie de la roca permite introducir los dedos hasta las falanges proximales de los dedos más largos. Del meñique, al ser el quinto metacarpiano mucho más corto que los demás, solo se introducirá hasta la falange media. De esta forma las articulaciones distales de los dedos índice, corazón y anular estarán en total extensión, mientras que las articulaciones medias estarán en flexión (80°-90°) (Schweizer, 1997). Por su parte, el meñique presentará una flexión en su articulación distal y una extensión casi total en su articulación proximal. Las articulaciones metacarpo-falángicas estarán en extensión también.

- **Agarre en extensión** (*open hand grip o slope*)

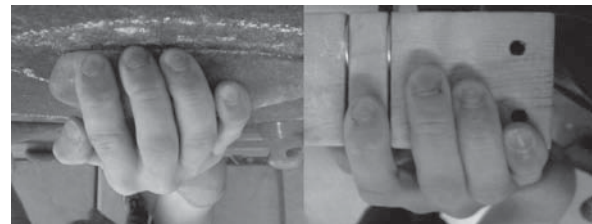
Esta posición se utiliza cuando la superficie no permite introducir más allá de las falanges medias de los dedos. Por la anatomía de la mano, si se introducen las falanges medias y distales de los dedos corazón y anular, del dedo índice sólo se podrá introducir hasta la mitad de la falange media y del meñique sólo la distal, debido a que estos dedos presentan metacarpianos y falanges más cortas. (Clerke et al., 2005). El agarre en extensión se utiliza cuando se agarran grandes bordes o agujeros mientras que la articulación interfalángica distal se flexiona de 50° a 70° y la proximal se flexiona levemente.

La variable dependiente medida en este estudio fue el porcentaje de carga mecánica soportada por los dedos en suspensión, es decir, cuando la totalidad del peso corporal queda colgado de los dedos. La carga mecánica soportada por la mano en un agarre es igual a la suma de las cargas mecánicas soportadas por cada dedo implicado en el agarre (Kinoshita et al., 1995). De este modo, durante el presente estudio, siempre hablaremos de la carga mecánica soportada por un dedo como porcentaje de la carga mecánica total de la mano en el agarre.

### Instrumental

■ El instrumental utilizado fue un dinamómetro iso-

métrico marca Interface modelo SSM-AJ-5000N acoplado sobre una base soporte, que permitía la colocación de la mano del sujeto en una posición natural de agarre en escalada deportiva. Con este diseño, el sujeto simula casi a la perfección la situación real de un agarre de escalada, quedando suspendido con el único apoyo de sus dedos (Figura 1). La adquisición de datos fue realizado mediante una tarjeta analógico-digital marca USB-1208FS.



**Figura 1. Similitud del agarre en situación real (izquierda) y el agarre en situación experimental sobre el soporte empleado en nuestro estudio (derecha).**

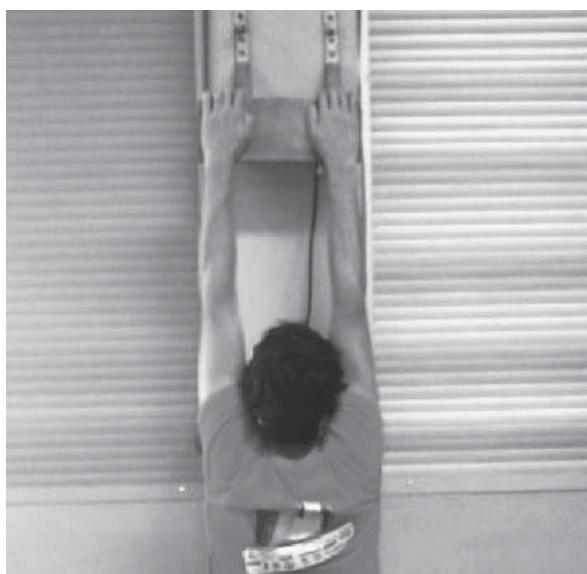
La conversión de la señal procedente del dinamómetro isométrico se realizó mediante la tarjeta de conversión analógico/digital, marca *Measurement Computing* (TM), modelo *USB-1208FS*, y se elaboró un módulo sobre el software LabView 8.5 que registraba los datos y nos indicaba la curva de carga mecánica, pico máximo, pico mínimo y carga mecánica en tiempo real. Para la toma de datos se utilizó una frecuencia de muestreo de 1000Hz.

### Procedimiento

La primera fase del proceso de medida consistía en la administración de la información inicial a los sujetos y la cumplimentación del informe de consentimiento. Tras esto, procedíamos a realizar una sesión de calentamiento estándar para evitar lesiones. El calentamiento consistía en ejercicios de suspensiones sobre la base soporte, realizando 5 suspensiones de 10 segundos de cada uno de los agarres medidos, descansando entre series 2 minutos (Jasperse et al., 1994; Hoozemans y van Dieën, 2005).

El proceso de medición consistía en 12 suspensiones de 2 segundos cada una. En cada suspensión se medía un solo dedo en uno de los 3 tipos de agarre (4x3). Se pedía al sujeto que se colocara frente a la base soporte y que colocara sus manos sobre éste, atendiendo a colocar sólo el dedo índice sobre la leva móvil. El deportista debía colocar la mano izquierda en la misma posición que la derecha. A la voz de pre-

parados, el sujeto flexionaba las rodillas y extendía los codos, de manera que estuviera ya casi en suspensión, con tan solo la punta de los pies apoyados en el suelo. Una vez comprobado que el deportista había colocado los dedos de una forma correcta, se daba una nueva señal para que levantara los pies del suelo y quedara de esta manera suspendido totalmente de los dedos (Fig. 2). En el momento que se observaba que el sujeto se encontraba en una situación estable, es decir, sin oscilaciones, se procedía a una toma de datos de 2 segundos. Cuando terminaba este registro de datos se informaba al deportista para que se apoyara de nuevo en el suelo y colocara el siguiente dedo a medir sobre la leva móvil. Tras 10" de descanso se iniciaba de nuevo el proceso anterior.



**Figura 2. Posición del sujeto en el momento de la medida, momento en el cual queda suspendido de sus manos.**

Cuando se completaba el proceso de medición de los cuatro dedos de uno de los tipos de agarre, se dejaba un descanso de 2 minutos antes de pasar a la medición del siguiente agarre.

### Análisis de Datos

El análisis estadístico fue realizado con el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 15.0. (© 2008 SPSS Inc.). En primer lugar se obtuvieron los datos estadísticos descriptivos, para hallar las medias de la edad, años escalando y grado de dificultad de la muestra.

Se realizó un análisis mediante una prueba T de medidas relacionadas, para estudiar si la carga soportada

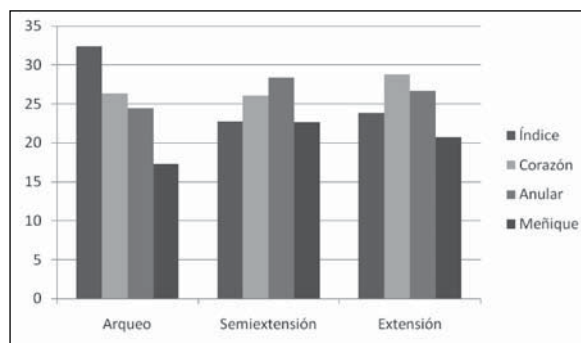
por un dedo en concreto destacaba sobre los demás de manera significativa en un tipo de agarre determinado.

Para el análisis entre grupos, realizamos un ANOVA del factor "grupo" para los agarres semiextensión y extensión. Así estudiaremos si las distribuciones de la carga varían en función del nivel experiencia del sujeto.

### RESULTADOS

Al realizar las pruebas T de medidas relacionadas comparando los dedos por parejas, encontramos diferencias significativas en todos los pares de dedos en el agarre en arqueo. En el agarre de semiextensión estas diferencias fueron significativas en todos los pares, excepto cuando comparamos los dedos índice y meñique. También encontramos diferencias significativas para todos los pares de dedos en el agarre de extensión.

Estudiando los análisis estadísticos descriptivos, buscamos patrones en el reparto de carga entre los dedos, hallando las medias del porcentaje de carga mecánica soportada por los dedos. (Fig. 3)



**Figura 3. Patrones de distribución de la carga en función del agarre, expresados en porcentaje de carga total soportada por cada dedo.**

Hemos observado que los patrones de carga son diferentes para cada tipo de agarre, ya que los datos arrojan distribuciones dispares, guardando cierta similitud la extensión y la semi-extensión, y siendo el arqueo radicalmente distinto.

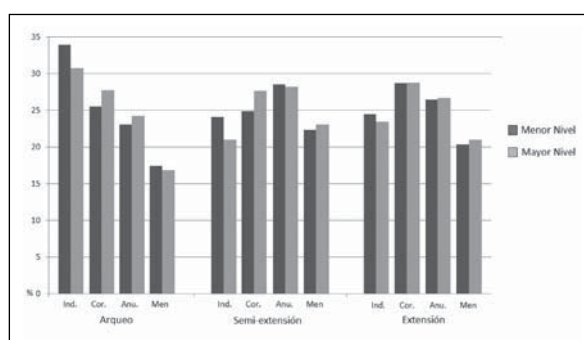
En el agarre de semiextensión, para la muestra completa (n=34), podemos observar una distribución diferente, ya que es el anular, con un 28,44%, el que más carga soporta, seguido del corazón con un 26,17%, y por último, con valores muy similares, del índice y el meñique con un 22,72% y 22,65% respectivamente.

Podemos también observar, que para nuestra muestra de escaladores, en el agarre de arqueo, observamos

una distribución de la carga mecánica de 32,46% para el índice, 26,47% para el corazón, 23,52% en el anular y 17,39% en el meñique.

En el agarre de extensión se observa una distribución diferente. El primer lugar lo ocupa el corazón, con un 28,74%, seguido del anular con un 26,62%, del índice con un 23,86% y el meñique con un 20,77%.

Por otro lado, tras la división en grupos según el nivel de rendimiento, observamos que hay diferencias significativas en la carga mecánica en los dedos índice y corazón entre el grupo de menor y mayor rendimiento, tanto para el agarre de arqueado como para el de semiextensión. Por otro lado no observamos diferencias significativas en el agarre de extensión entre los dos subgrupos (Figura 4).



**Figura 4: Diferencias en la distribución de la carga entre el grupo de menor nivel y de mayor nivel.**

## DISCUSIÓN

Observando los estudios revisados en los que se trata la presión manual en escalada, vemos que la mayoría utilizan muestras no específicas o con escaladores de bajo nivel, (Koukoubis et al., 1995; Quaine y Vigouroux, 2003; Watts et al., 1999), y encontramos pocos con una muestra de escaladores de alto rendimiento (López, 2005; Watts, 2004). Un punto a destacar el presente estudio es el tamaño y especificidad de la muestra, ya que los 34 escaladores son de alto rendimiento, participantes en las principales competiciones de nivel nacional en sus categorías correspondientes, mientras que la mayoría de las muestras utilizadas en presión manual no corresponden a poblaciones específicas.

Siguiendo los varios de los trabajos analizados (Kinoshita et al., 1995; Latash et al., 1998a, 1998b), observamos que los dedos no trabajan de la misma forma al agarrar un objeto, aportando cada uno individualmente un nivel de fuerza diferente. Esto lo vemos reflejado en nuestro estudio, donde la

intervención de cada dedo varía con la forma del agarre.

Basándonos en las investigaciones posteriores (McDermid et al., 2004), donde sugieren que los dedos más fuertes son los inervados por el nervio cubital (índice y el corazón), vemos que no necesariamente éstos tienen una mayor implicación en el tipo de agarre. En nuestros dedos no existe un dedo que destaque de una forma significativa en todos los agarres.

Los patrones encontrados difieren de los resultados obtenidos en investigaciones sobre contracciones concéntricas voluntarias máximas de los dedos, (McDermid et al., 2004; Li, 2002). Evidentemente estos datos se han de mirar con cautela, pues la contracción que aquí estudiamos no es ni concéntrica ni máxima, sino isométrica.

En nuestro estudio, hemos encontrado patrones de distribución de la carga mecánica para cada agarre. En el agarre de semiextensión, encontramos que el anular es el dedo que más carga soporta. Esto puede ser debido a la disposición de los dedos, donde el anular apoya la parte central de la falange proximal, mientras que los dedos índice y corazón apoyan sobre la articulación metacarpofalángica y el meñique sobre la articulación interfalángica proximal. En el agarre de extensión se observa una distribución diferente, ocupando el primer lugar el dedo corazón. Pensamos que esta distribución se debe al apoyo de la falange distal completa de los dedos corazón y anular, y sólo media falange para los dedos índice y meñique.

Las diferencias significativas encontradas en los dedos índice y corazón, comparando deportistas con más y menos nivel pueden deberse a que al aumentar la dificultad de la vía, normalmente disminuye el tamaño de los agarres, con lo que frecuentemente el escalador sólo puede introducir dos dedos, siendo normalmente el corazón y el anular, o tan solo un dedo, siendo siempre el corazón (Watts et al., 1996; Quaine y Vigouroux, 2003). Esto supondría que los escaladores de mayor nivel estén más acostumbrados a utilizar el dedo corazón, y por tanto éste soporte más carga.

## CONCLUSIONES

Con la aplicación de este protocolo experimental, concluimos, que existen patrones de distribución de la carga diferentes para cada uno de los tres tipos de agarre analizados. Así mismo vemos que cada dedo en particular contribuye de una forma diferente en cada tipo de agarre.

Así mismo, al dividir la muestra en dos grupos, vemos que escaladores con un nivel de rendimiento alto, manifiestan un patrón de distribución en la carga mecánica entre los dedos diferente al de sujetos con menor nivel de rendimiento.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- An, K.N., Cooney, W.P., Chao, E.Y. and Linsched, R.L. (1978). Functional strength assessment of normal fingers. *Advances in bio-engineering*, 89-90.
- Ayub, M. M., Lo Presti, P. and Berme, N. (1980). Resultant finger joint loads in selected activities. *Journal of Biomedical Engineering*, 2, 285- 289.
- Bourdin, C., Teasdale, N. y Nougier, V. (1998). Attentional demands and the organization of reaching movements in rock climbing. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 69 (4), 406-410.
- Flanagan, J.R., Burstedt, M.K.O. and Johansson, R.S. (1999). Control of fingertip forces in multidigit manipulation. *Journal of Neurophysiology*, 81, 1706-1717.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A. and Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *Journal of Sport sciences*, 14 (4), 301-309.
- Hoozemans, M.J. and van Dieën, J.H. (2005). Prediction of handgrip forces using surface EMG of forearm muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15 (4), 358-366.
- Jasperse, J.L., Seals, D.R. y Callister, R. (1994). Active forearm blood flow adjustments to handgrip exercise in young and older healthy men. *Journal of Physiology*, 15 (2), 353-360.
- Johansson, R.S. y Westling, G. (1988). Coordinated isometric muscle commands adequately and erroneously programmed for the weight during lifting task with precision grip. *Experimental Brain Research*, 71, 59-71.
- Kinoshita, H., Kawai, S. and Ikuta, K. (1995). Contributions and co-ordination of individual fingers in multiple finger prehension. *Ergonomics*, 38, 1212-1230.
- Koukoubis, T.D., Cooper, L.W., Glisson, R.R., Seaber, A.V. and Feagin Jr, J.A. (1995). An electromyographic study of arm muscles during climbing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 3, 121-124.
- Latash, M.L., Gelfand, I.M., Li, Z-M. and Zatsiorsky, V.M. (1998a). Changes in the force-sharing pattern induced by modifications of visual feedback during force production by a set of fingers. *Experimental Brain Research*, 123, 255-262.
- Latash, M.L., Li, Z-M. and Zatsiorsky, V.M. (1998b). A principle of error compensation studied within a task of force production by a redundant set of fingers. *Experimental Brain Research*, 122, 131-138.
- Li, Z.M. (2002). The influence of wrist position on individual finger forces during forceful grip. *The Journal of Hand Surgery*, 27, 886-896.
- López, E. (2005). Efecto de dos entrenamientos de fuerza máxima de agarre con distinta presa y el mismo tiempo de esfuerzo sobre la resistencia de agarre en escaladores deportivos de alto nivel. Universidad de Castilla-La Mancha. *Memoria Doctorado*. (en espera de publicación).
- McDermid, J.D., Lee, A., Richards, R.S. y Roth, J.H. (2004). Individual Finger Strength: Are the ulnar Digits Powerful? *Journal of Hand Therapy*, 17 (3), 364-367.
- Noé, F., Quaine, F. and Martin, L. (2001). Influence of steep gradient supporting walls in rockclimbing: biomechanical analyses. *Gait Posture*, 13, 86-94.
- Quaine, F. and Vigouroux, L. (2003). Maximal resultant four fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. *International Journal of Sports Medicine*, 25 (8), 634-637.

- Schweizer A. (2001). Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of Biomechanical*, 34, 217-223.
- Usaj, A. (1996). The increase of duration of isometric contraction may not relate to change of relative oxygenation of forearm muscle. *European Journal of Physiology*, 431 (6), 265-266.
- Watts, P.B., Gannon, R., Kobeinia, J. Maynard, J. Sansom, R.L. and Jensen, E. (1999). EMG responses in rock climbing using six hand positions. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 31 (5), S169.
- Watts, P.B., Newbury, V. and 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, P.B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 361-372.
- Weightman, B.O., Amis, A.A. (1982). Finger joint force predictions related to design of joint replacements. *Journal of Biomedical Engineering*, 4, 197-225.