

Peleteiro, J.; García-López, J. (2003). Parámetros biomecánicos en escalada deportiva y su influencia en el rendimiento. RendimientoDeportivo.com, N°4.
<http://www.RendimientoDeportivo.com/N004/Artic017.htm> [Consulta 19/07/2003]



Parámetros biomecánicos en escalada deportiva y su influencia en el rendimiento.

Peleteiro, J.; García-López, J.

1) INTRODUCCIÓN

La escalada libre apareció por primera vez como práctica competitiva en los años 80. En 1989 se celebró la primera Copa del Mundo, uno de los mayores hitos de esta actividad, la cual contó ya con seis eventos repartidos a lo largo del calendario e importantes premios en metálico para sus ganadores (Mathis, 1989; Watts y Drobish, 1998). Estas competiciones tuvieron una rápida difusión, y, como consecuencia, surgieron el patrocinio deportivo de marcas involucradas en la escalada y las revistas divulgativas. Conjuntamente creció el interés de los escaladores por métodos que mejorasen su rendimiento. Dicha preocupación por el rendimiento impulsó a los escaladores a servirse de los conocimientos obtenidos en las ciencias del deporte para planificar sus entrenamientos, diseñar dietas, tratamiento de las lesiones ocasionadas por la práctica de escalada, etc. Este desarrollo conjunto de competición e investigación en escalada queda evidenciado por el hecho de que los primeros estudios científicos encontrados datan de fechas próximas a las de las celebraciones de las competiciones (Mathis, 1989).

Hoy se pueden encontrar publicaciones sobre escalada en muchas revistas especializadas sobre ciencias del deporte.

Siguiendo la clasificación de Goodard y Neuman (1993) –figura 1– de los diferentes factores que afectan al rendimiento podemos encontrar fácilmente una correspondencia entre sus categorías y las ciencias del deporte. Dentro de todos estos factores la biomecánica, junto a otras ciencias, se ocupa del estudio de la coordinación y técnica así como de los aspectos tácticos y las condiciones externas.

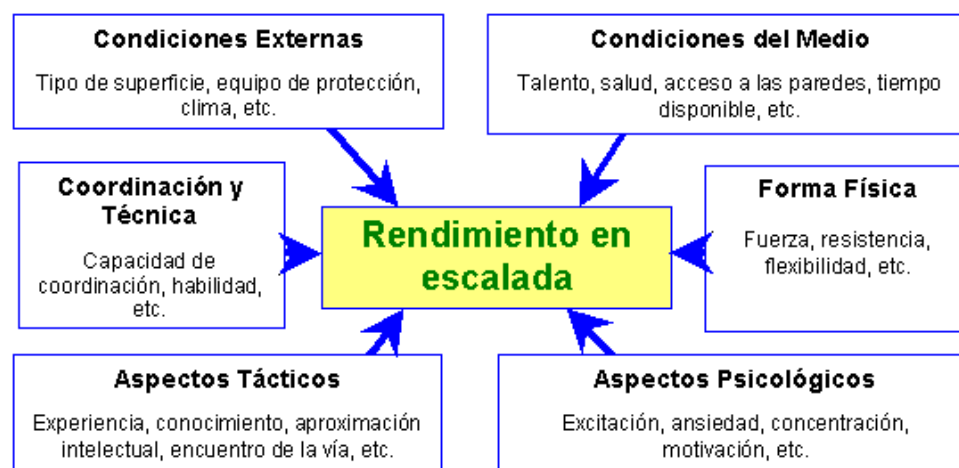


Figura 1: Factores determinantes del rendimiento en escalada (Goddard y Neumann, 1993).

Esta clasificación de carácter intuitivo ha sido la única realizada hasta el momento en investigación científica de la escalada. Su importancia radica en la propuesta de una serie de parámetros que sus autores identifican como determinantes del rendimiento en esta actividad. A pesar de las múltiples críticas que podría recibir la clasificación, es interesante comprobar los abundantes parámetros influyentes en el rendimiento en escalada que pueden ser estudiados por la biomecánica deportiva.

La biomecánica deportiva puede aclarar los fenómenos relacionados con el movimiento mediante su estudio y descripción así como a partir del análisis de las fuerzas que actúan a lo largo de su ejecución. Sin embargo, el estudio de las fuerzas no sólo ha de centrarse en las relacionadas con el movimiento, también ha de analizar aquellas que provocan su ausencia. Por todo ello, la biomecánica representa una herramienta útil para explicar y analizar diferentes variables y técnicas presentes en este deporte.

La escalada deportiva consiste en desplazarse por una pared, que puede tener diferentes inclinaciones (vertical, horizontal, desplomada o tumbada), sin utilizar ningún tipo de apoyo o agarre añadidos. Estos desplazamientos no son ejecutados de forma continua sino que las fases de movimiento se alternan con paradas, en una proporción del $63 \pm 9,4$ % para el tiempo de ejercicio y del $36,3 \pm 9\%$ para el tiempo estático (Billat y cols., 1995). Estos resultados fueron hallados a partir de un estudio realizado en dos vías de 15 metros con características diferentes: una de gran complejidad técnica y otra de mayor exigencia física, ambas con una dificultad de 7b y que requerían de 3 a 10 minutos para ser ascendidas. Por tanto, se puede decir que los movimientos de escalada poseen una serie de características específicas.

En escalada pueden darse cuatro circunstancias en función del gradiente de las paredes, ya que el ángulo de éstas va determinar el tipo de técnica a emplear; éstas son:

- 1) Escalar por una pared vertical (ángulo aproximadamente recto).
- 2) Escalar por una pared desplomada (ángulo mayor de 90°).
- 3) Escalar por una pared inclinada (ángulo menor de 90°).
- 4) Escalar por un techo (ángulo próximo a los 180°).

Asimismo, dentro de cada una de estas cuatro condiciones, el escalador alterna entre desplazamiento y equilibrio.

Hay que tener en cuenta que lo anterior es una clasificación realizada con el objeto de obtener una visión en conjunto, destacando las diferencias más esenciales, sin embargo no existe una delimitación sin interferencias: en la práctica no se darán las cuatro situaciones de forma aislada, existiendo además otros factores influyentes en la elección de la técnica. No obstante en esta revisión, dicha clasificación resulta de gran utilidad.

La diferenciación entre los factores que afectan a la escalada se ha establecido en función del concepto mecánico de equilibrio, propio de la física newtoniana. Así para que un cuerpo se mantenga estable, la suma de las fuerzas y momentos que actúan sobre éste ha de ser igual a cero:

$$\boxed{\Sigma F = 0} \quad \boxed{\Sigma M = 0}$$

Siguiendo este principio se comprenderá cómo varían las técnicas de escalada en función del ángulo de la pared.

Una persona en bipedestación está en equilibrio puesto que la fuerza con que la gravedad atrae su cuerpo, que puede suponerse aplicada en el centro de gravedad (CG), se anula con la fuerza que el cuerpo ejerce contra el suelo (normal). También el momento es nulo ya que suponemos que ambas fuerzas son iguales y de sentido contrario (Serway, 1997).

Si trasladamos este mismo esquema a una situación estática en una pared, la fuerza de la gravedad actuará de forma análoga al ejemplo anterior y la fuerza que en dicho ejemplo se ejerce contra el suelo va a estar localizada en la parte de la superficie de los pies en contacto con los apoyos. Para evitar el momento que generan estas fuerzas sería necesario conseguir que ambas coincidiesen. Por ello, no será posible mantener el equilibrio en todas las condiciones, sino tan sólo en el caso de la pared inclinada y, en ocasiones, en la vertical. Todo ello hace necesario el agarre con las manos y contrarrestar el desequilibrio hacia atrás en las paredes próximas a la vertical, verticales, desplomadas y horizontales.

Generalmente en biomecánica se simplifican estos principios y se asume que un cuerpo está en equilibrio siempre y cuando la proyección de su CG caiga dentro de la base de sustentación (BDS). Ésta es "el área de un polígono delimitado por aristas que unen los puntos distales en los que se recibe las fuerzas de reacción del suelo" (Aguado, 1993). Mathis encontró que para un ángulo de 78° , el CG de los escaladores cae hacia delante de la BDS, para un ángulo de 84° la proyección del CG pasa por el medio (siempre y cuando se use una técnica apropiada de mantenimiento de equilibrio) y para un ángulo de 90° el CG cae por detrás, por tanto, el escalador estará desequilibrado (Mathis, 1989). Hay que señalar que este autor no midió la posición del CG sino que únicamente lo estimó mediante "la línea de tiro gravitacional". Por ello, estos resultados necesitan nuevas investigaciones que los corroboren o desmientan.

2) ESCALADA EN PAREDES VERTICALES

Este es el tipo de escalada mayormente tratado en la literatura revisada. La proyección del centro de gravedad, por lo general, estará fuera de la base de sustentación, generando la necesidad de agarrarse con las manos. Así la fuerza que los escaladores ejercen con los brazos para contrarrestar este desequilibrio es importante y depende de la posición adoptada.

Este hecho fue estudiado por Quaine y cols. (1997a). Mediante un análisis de las fuerzas de reacción en dos posiciones: una "forzada" en la que se mantenían los muslos y brazos paralelos al suelo y otra "optimizada"

que los sujetos elegían libremente. Para ello instrumentaron 4 presas con galgas extensiométricas triaxiales (Schulumberger, modèle CD 7501) colocadas en un muro artificial de escalada y registraron por separado las fuerzas en cada uno de los agarres. Simultáneamente filmaron al escalador mediante dos cámaras de 100 y 50 Hz (NAC HSV 400 y SONY). La cámara de 100 Hz se situó perpendicularmente al plano sagital de los sujetos y filmó dos marcas colocadas en el acromion (hombro) y en el trocánter (fémur), para conocer los movimientos anteroposteriores del tronco. La otra cámara (50 Hz) proporcionó una filmación posterior del plano frontal de dichos sujetos, a los cuales se les colocaron marcas en las vértebras C7 y L4-L5 para registrar los movimientos laterales. Este estudio se realizó con 6 escaladores de nivel internacional, y la tarea elegida consistió en partir de una posición cuadrúpeda estable y realizar 5 sueltas de la pierna derecha y 5 sueltas de la mano derecha, aleatoriamente para evitar la anticipación y sin requerimientos de velocidad. Se analizaron las 5 sueltas del pie derecho.

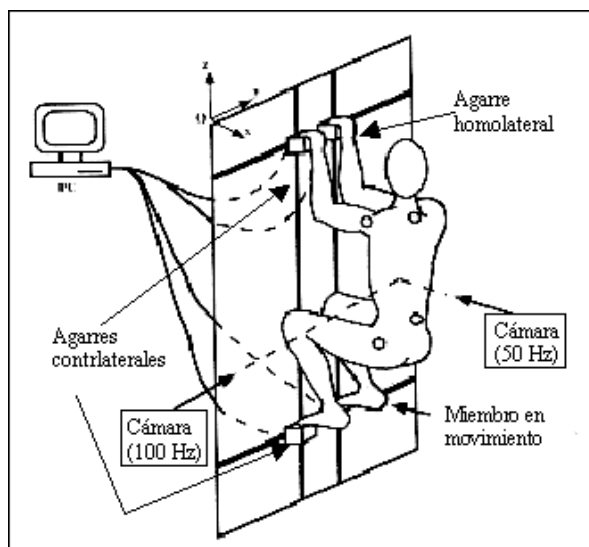


Figura 2: Esquema de la instalación experimental de Quaine y cols. (1997b).

Como resultado encontraron que las fuerzas de reacción en la postura "optimizada" eran 1,4 veces más bajas que en la "forzada" (de $178,5 \pm 25,05$ N a $265,54 \pm 60,7$ N para las fuerzas verticales de la mano izquierda), concluyendo que la dificultad en escalada aumenta con la distancia entre el cuerpo y los apoyos.

Hasta este punto únicamente se han descrito y analizado las fases estáticas de escalada. Sin embargo, el tiempo dedicado a las fases dinámicas es mayor y, por tanto, cuantitativamente más importante.

En cuanto al dinamismo el primer punto a analizar es la previa liberación de peso que se produce al paso de un agarre al siguiente. En este momento se produce una redistribución de las fuerzas entre los apoyos. Quaine y cols. (1997a, 1997b, 1999a, 1999b), con la metodología descrita anteriormente, estudiaron las diferencias en la distribución de fuerzas entre una posición estable de cuatro apoyos y otra de tres. El resultado obtenido fue que, tanto en los movimientos de pie como en los de mano, las fuerzas verticales aumentaban sobre los apoyos contralaterales al miembro movido (p. ej.: cambios de $172,72 \pm 20,64$ a $251,1 \pm 41,98$ N en el apoyo del pie izquierdo para movimientos de la mano derecha), mientras que en el apoyo homolateral restante apenas si había cambios. Por otro lado, observó también que las fuerzas horizontales (laterales y anteroposteriores) aumentaban en los apoyos contralaterales y en el apoyo homolateral disminuían casi hasta cero. En estos estudios se encontraron tiempos de latencia de 140 ± 26 ms entre la aplicación de fuerzas en la mano izquierda y el inicio del movimiento voluntario, de 86 ± 11 para el pie izquierdo y de 66 ± 23 ms para la mano derecha. Todo esto implica que las variaciones de fuerza ocurren antes del movimiento, o, lo que es lo mismo, que son cambios preparatorios.

Estos autores realizaron otro análisis más exhaustivo de la distribución de las fuerzas en escalada vertical, analizando los momentos de las fuerzas (Quaine y cols., 1999a, 1999b). Para ello utilizaron el muro de escalada ya descrito pero, pero prescindieron del equipo de análisis calculando los desplazamientos matemáticamente. La tarea realizada consistió en soltar el pie derecho y la mano izquierda de su agarre cinco veces cada uno y mantener el miembro soltado a aproximadamente 2 cm del agarre. Sólo los movimientos de pie fueron analizados y para ello se consideró el sistema de referencia situado en el centro del apoyo del pie izquierdo. Así los momentos en sentido horario eran positivos y negativos los antihorarios. También encontraron que, cuando se soltaba un agarre, la única solución para reestablecer el equilibrio es disminuir la fuerza anteroposterior aplicada sobre el agarre homolateral. De ello se deduce que la única solución para contrarrestar este momento es aumentar la fuerza anteroposterior aplicada en los apoyos contralaterales ya que el centro de gravedad apenas se mueve. Esto conlleva que el momento de peso corporal alrededor del eje anteroposterior permanece constante. El escalador, por su parte, al realizar este movimiento, tiende a girar en sentido horario alrededor del eje anteroposterior, a no ser que produzca fuerzas lo suficientemente importantes como para contrarrestarlo. La estrategia utilizada para reducir este fenómeno consiste en disminuir casi hasta cero la fuerza lateral aplicada en el apoyo homolateral. Eso reduce el momento en sentido horario, aumentando la fuerza en el contralateral e incrementando el momento antihorario. Una vez que un apoyo ha sido soltado, el segmento libre deberá de agarrar la siguiente presa y

redistribuir las fuerzas, reequilibrándose con el nuevo agarre.

Un análisis de esos movimientos de agarre o de prensión (Bourdin y cols., 1999) sería el siguiente:

- Fase preparatoria: intervalo de tiempo entre el primer movimiento de la mano y la suelta del agarre.
- Fase de movimiento libre: intervalo que dura hasta que se toma contacto con el objeto o zona que se va a agarrar.
- Tras el contacto: tiempo durante el cual los sujetos aplican fuerzas efectivas.

Para estudiar esas tres fases Bourdin y cols. (1999), analizan las diferentes variables cinéticas y cinemáticas presentes en cada una de ellas. Para tomar los datos cinéticos utilizaron cuatro presas para manos instrumentadas con galgas extensiométricas uniaxiales (200 Hz). Los apoyos de pies no fueron instrumentados. Para recoger las variables cinemáticas recurrieron a un sistema de tres cámaras optoelectrónicas (Selspot II 200 Hz). En total se contó con 7 escaladores diestros y un mínimo de 2 años de experiencia, y la tarea consistió en, partiendo de una posición cuadrúpeda, agarrar las presas colocadas en el nivel superior, 35 cm por encima, primero con una mano y después con la otra. Las variables independientes en este análisis fueron: la postura (fácil y compleja), dada por el tamaño de los agarres de partida (pequeños 0,8 cm, medianos 2 cm o grandes 5 cm) y los requerimientos de precisión, determinados, a su vez, por el tamaño de las presas superiores (de dimensiones iguales a los agarres inferiores). Las variables dependientes fueron: medidas de velocidad de la mano y medidas de la fuerza ejercida sobre los agarres.

Como resultado, estos autores encontraron que en una posición compleja la fase preparatoria aumentaba y la fase de movimiento libre disminuía ya que el desequilibrio es mayor (triple apoyo vs. cuádruple apoyo). Sin embargo, no encontraron relaciones entre los requerimientos de precisión y la duración de la fase de movimiento libre, permaneciendo inmutable a pesar de las variaciones en las presas. Tras el contacto, la duración de los ajustes aumentaba a medida que disminuía el tamaño de los agarres, también la postura tiene influencia en éstos.

Sin duda, son necesarios más estudios sobre escalada que abarquen la totalidad de los movimientos propios de este deporte así como análisis de la actividad que señalen cuáles son éstos.

3) ESCALADA EN PAREDES DESPLOMADAS

En este tipo de escalada, la proyección vertical del CG de los escaladores caería fuera de la base de sustentación si éstos no se agarrasen con las manos. Por ello este tipo de escalada es más estable que en paredes verticales, siendo la base de sustentación más amplia (Noé y cols., 2001) al no coincidir los agarres en la misma línea vertical. Sin embargo, no por ello este tipo de escalada implica un menor esfuerzo por parte de las extremidades superiores, sino todo lo contrario, ya que el desequilibrio hacia atrás es mayor y, por tanto, la labor de los brazos es también mayor.

Esto ha sido corroborado por estudios fisiológicos como el de Watts y Drobish (1998), que encontraron que el gasto metabólico aumentaba con el ángulo de la pared. Noé y cols. (2001), compararon las fuerzas de reacción entre escalada en desplome y vertical empleando una metodología similar a la de Quaine y cols. (1997a, 1997b, 1999a, 1999b). Para este estudio, contaron con siete escaladores de nivel internacional a los que se les pidió que adoptasen una posición sobre los agarres lo más cómoda posible durante 3 s con los antebrazos colocados verticalmente y que después soltasen uno de los apoyos de pie sin realizar sacudidas. Sólo se analizaron los movimientos de pie derecho en dos posiciones diferentes: la primera, con el muro de escalada en posición vertical y con el muro desplomado 10°, la segunda.

El resultando fue que la magnitud de las fuerzas verticales en los pies es mayor en las posiciones verticales ($57 \pm 12\%$ del peso corporal), mientras que dichas fuerzas verticales en los agarres de manos fueron más importantes en las posiciones desplomadas ($62 \pm 9\%$ del peso corporal). En cuanto a la distribución del peso corporal en triple apoyo, se encontró la ya comentada distribución contralateral de las fuerzas de reacción y una disminución en los apoyos homolaterales para la posición vertical (Noé y cols., 2001, Quaine y cols., 1997a, 1997b). Por su parte, para la posición desplomada, encontraron que las fuerzas disminuían ligeramente en el agarre homolateral (significativamente menos que en la posición vertical) y que además aumentaban significativamente menos en los agarres contralaterales.

Respecto a los momentos, encontraron que, dado que el CG de los escaladores apenas se movía, los momentos del peso corporal permanecían constantes al pasar de tres a cuatro apoyos. La principal diferencia entre las dos posiciones es que, en la desplomada, el momento del peso corporal alrededor del eje lateral se contrarresta mediante momentos inducidos por las fuerzas anteroposteriores y por momentos adicionales generados por las fuerzas verticales aplicadas a los agarres de manos. Por lo tanto, la fuerza vertical ejercida con las manos en posición desplomada implica necesariamente un trabajo en contra de las fuerzas verticales y acciones de estabilización, mientras que, en posición vertical, la fuerza vertical sólo se utiliza para el trabajo antigravitatorio. También se encontró que, para la posición desplomada, al igual que para la vertical (Noé y cols., 2001, Quaine y cols., 1997a, 1997b), cuando se lleva a cabo el movimiento, el aumento de fuerza en la mano contralateral es necesario para contrarrestar el momento del peso corporal alrededor del eje anteroposterior. A esto ayuda la disminución del momento producido por la fuerza lateral de la mano homolateral. Sin embargo, en el lado contralateral el momento en la mano es mayor y, en el pie menor, respecto a la posición vertical.

En resumen, el equilibrio en desplome es más fácil de mantener aunque las fuerzas ejercidas sobre los apoyos de manos son mayores, por ello este tipo de escalada causa una mayor fatiga.

4) ESCALADA EN PAREDES INCLINADAS

Existen muy pocos estudios de este tipo de escalada ya que, por lo general, la escalada en paredes inclinadas es únicamente realizada por principiantes. En una pared inclinada, cualquiera que sea la técnica utilizada, es posible evitar el desequilibrio sin agarrarse con las manos puesto que se puede conseguir que la proyección del CG caiga dentro de la BDS.

Existe una variante de escalada en paredes inclinadas, conocida como escalada en adherencia, para la que se necesita una gran experiencia. En esta variante los escaladores ascienden por una pared en la que prácticamente no hay apoyos con un ángulo bastante próximo a la vertical. Aquí toma especial relevancia la fuerza de rozamiento entre el escalador y la pared, que es la que posibilita la ascensión contrarrestando la componente horizontal del peso. De hecho, fueron los escaladores aficionados a este tipo de escalada quienes comenzaron a utilizar unas zapatillas con una suela de goma cocida que aumentaba esta fuerza de rozamiento, hoy ampliamente utilizada por todos los escaladores, cualquiera que sea su especialidad (Aguado, 1993). Existen otras estrategias para aumentar las fuerzas de rozamiento como, por ejemplo, la utilización de compuestos generalmente derivados del magnesio en sus manos, mejorando así el agarre (Aguado, 1993, Li y cols., 2001).

Li y cols. (2001) estudiaron el uso de carbonato de magnesio en escalada y su influencia sobre el coeficiente de fricción en diferentes tipos de roca. Se diseñó un aparato que consistía en una plataforma de fuerzas sobre la que se colocaban superficies pulidas de diferentes rocas (granito, arenisca y conglomerado). Esta plataforma estaba sobre unos raíles a los que se les había acoplado un potenciómetro. En un extremo, a través de una galga extensiométrica, se colocó una cuerda de kevlar para colgar un peso de 29 N. El estudio consistió en colocar la yema de los dedos sobre la plataforma de fuerzas en 4 condiciones diferentes, con la piel seca, con la piel seca con carbonato de magnesio, con la piel mojada y con la piel mojada con carbonato de magnesio.

Encontraron que el carbonato de magnesio disminuía el coeficiente de fricción, contrariamente a lo que habitualmente se piensa, y que el agua apenas tiene efecto sobre dicho coeficiente. Respecto al tipo de roca, se encontró que, a igual textura, la arenisca presenta mayor coeficiente de fricción que el conglomerado o el granito. Sin embargo, un gran número de escaladores utilizan carbonato de magnesio, contradiciendo los resultados de este estudio. Para aclarar esto son necesarias investigaciones más exhaustivas sobre este tema.

La escalada en paredes inclinadas con apoyos en la pared ya fue estudiada (Mathis, 1989) mediante un dinamómetro que contenía una presa instrumentada (agarre superior de la mano) capaz de registrar fuerza vertical. Dicha presa se fijó en un muro que podía inclinarse a diferentes ángulos (78, 84 y 90°) y que permitía cambiar las presas de lugar. Se valoraron 15 escaladores y 5 escaladoras de nivel 5.4 a 5.12 según la escala YDS, respectivamente. Debían agarrarse con una mano a la presa superior y, subir los pies a dos presas, manteniendo una posición de equilibrio. La combinación de los ángulos de inclinación de la pared y el tamaño de los agarres dio lugar a 6 condiciones experimentales diferentes para cada escalador y se encontraron valores de fuerza para los apoyos pequeños del 11% de peso corporal para 78°, del 17% para 84° y del 20% para 90°. Es preciso tener en cuenta que estas medidas fueron tomadas en un solo agarre pero que, con todo, siguen siendo más bajos que los valores de fuerza manifestados en otros estudios en condiciones diferentes.

Se concluyó que la fuerza ejercida en los agarres no guarda ningún tipo de relación con el nivel o habilidad de los escaladores. Esa indiferencia entre las dos variables se obtuvo incluso cuando las fuerzas fueron corregidas en función del peso corporal. También se demostró que el tamaño de los apoyos de los pies afecta más a las fuerzas ejercidas por estos miembros que el ángulo de inclinación de la pared. No obstante en este estudio hay algunas deficiencias en cuanto al protocolo, tales como la disponibilidad de una sola presa instrumentada uniaxialmente, o el hecho de que los valores de fuerza se registrara gráfica y no electrónicamente.

5) ESCALADA EN PAREDES HORIZONTALES Y FUERZA DE PRENSIÓN

No se han encontrado publicaciones en la literatura revisada que traten específicamente este tipo de escalada. Sin embargo, se podría considerar como un caso extremo de escalada en desplome y ya que la fuerza que se ejerce con los brazos es mayor a medida que aumenta el ángulo, probablemente es en este tipo de escalada en el que dicha fuerza es mayor, ya que el ángulo es máximo. No obstante, serán necesarios posteriores estudios que corroboren esta hipótesis.

5.1. Fuerza de prensión

Los escaladores que pretendan alcanzar los máximos niveles de rendimiento han de poseer elevados valores de fuerza relativa de prensión. Han sido numerosos los tests propuestos para valorar las manifestaciones de la fuerza en el tren superior, cualidad determinante del rendimiento en escalada. Incluso se han diseñado

dinamómetros adaptados al gesto específico de la escalada para valorar la fuerza máxima de los flexores de los dedos (Binney, 1996; Grant y cols., 1996 y 2001; Mathis, 1989).

La estructura de los dinamómetros específicos para escalada pretende imitar la posición que el brazo, antebrazo y mano adoptan durante la escalada (Figura 3). Han sido adaptados específicamente para cada investigación. Así, al igual que los muros artificiales de escalada, su estandarización, utilización y difusión están muy limitadas. En la figura 3 se representa un esquema de dinamómetro adaptado (Grant y cols., 1996 y 2001). Éste presenta una superficie para el codo y la muñeca, de forma que los dedos quedan sobre una placa que mide la fuerza de flexión mediante un transductor electrónico uniaxial.

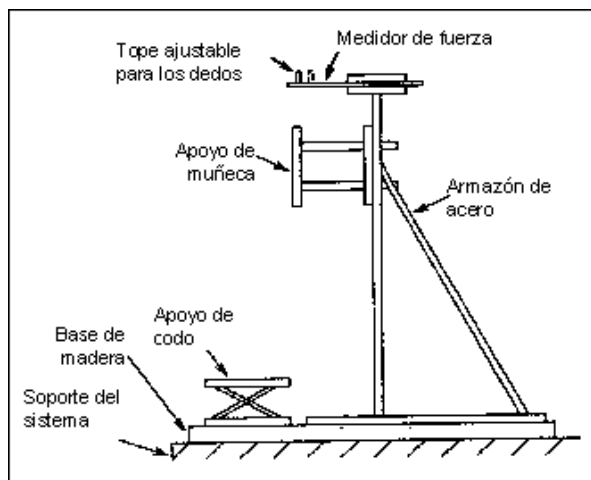


Figura 3: Esquema del dinamómetro de Grant y cols. (1996 y 2001).

Un dinamómetro de estas características fue utilizado por Mathis (1989), para medir la máxima fuerza voluntaria de los dedos. Comprobó la reproducibilidad de este aparato mediante medidas repetidas con un grupo de escaladores. Encontró valores de 98.3 lbs (437.3 N) para hombres y de 48.4 lbs (215.3 N) para mujeres, altamente correlacionados con la capacidad para escalar ($r = 0.90$, $p < 0.0001$).

Binney (1996), con una metodología similar, valoró 10 escaladores y 8 escaladoras de nivel nacional. Realizaron una prueba de fuerza máxima isométrica (FMI) de flexión de los dedos y otra de fuerza resistencia con valores del 60% y el 40% de la FMI cronometrando el tiempo transcurrido hasta que los sujetos no eran capaces de mantener el 40% y 60% de la FMI. Los resultados fueron $57,4 \pm 9,0$ Kg ($563,1 \pm 88,3$ N) para los hombres y $44,4 \pm 9,7$ Kg ($435,6 \pm 95,2$ N) para las mujeres. Sin embargo, cuando se expresaron estos valores respecto al peso corporal ($9,22 \pm 1,28$ N/Kg y $7,65 \pm 1,77$ N/Kg para hombres y mujeres, respectivamente), con correlaciones con el rendimiento para las mujeres ($r=0,93$, $p<0,05$). Respecto a la fuerza resistencia se constató una tendencia a su aumento en los escaladores con mayor rendimiento en competición ($r=0,55$ para 60% FMI y $r=0,33$ para 40% FMI), pero estos resultados no alcanzaron los niveles de significación deseada. En el caso de las escaladoras los resultados no se halló ninguna tendencia ($r=-0,16$ y $r=0,10$, respectivamente).

Grant y cols. (1996), con un dinamómetro como el de la figura 3, realizaron una medición de la fuerza máxima ejercida por ambas manos en diferentes tipos de agarres, comparando escaladores de élite ($n=10$), escaladores de recreación ($n=10$) y no escaladores ($n=10$). Los tipos de agarre fueron: 1) agarre en pinza (P), presionando con el dedo pulgar en oposición al resto de dedos; 2) agarre en arqueado (A), consistente en agarrarse formando ángulos agudos en las articulaciones de la mano, ejecutándose con dos (A2) o cuatro dedos (A4); 3) agarre en extensión (E), formando ángulos obtusos en las articulaciones y, también, realizándose con dos (E2) o cuatro dedos (E4), tal que en E2 se usase el dedo índice y el dedo corazón. Adicionalmente se valoró la fuerza de presión (PR) con un dinamómetro manual convencional.

Los datos obtenidos para la mano derecha se presentan en la tabla 1, en la que queda de manifiesto que no hay diferencias entre los tres grupos para la fuerza de presión y agarres A2 y A4. Sin embargo, sí existieron diferencias significativas para los agarres en pinza, P, E2 y E4. Como conclusión se constata una mayor fuerza en los dedos para determinados agarres en los escaladores de élite.

	Escaladores de élite (a)	Escaladores de recreación (b)	No escaladores (c)
PR (N)	532 ± 23	472 ± 23	478 ± 23
P (N)	95 ± 5* ^{**}	69 ± 5	70 ± 5
E4 (N)	446 ± 30 ^{**}	359 ± 29	309 ± 30
A4 (N)	221 ± 16	202 ± 16	184 ± 16
E2 (N)	329 ± 24 ^{**}	249 ± 23	224 ± 24
A2 (N)	154 ± 10	133 ± 10	128 ± 10

Tabla 1: Valores de fuerza máxima (N) obtenidos en escaladores de élite (a), de recreación (b) y no escaladores (c): presión manual (PR), agarre en pinza (P), agarre en extensión con 2 (E2) y 4 (E4) dedos, y agarre en arqueado con 2 (A2) y 4 (A4) dedos. * diferencias significativas con los escaladores de recreación; **

diferencias significativas con los no escaladores (Adaptada de Grant y cols., 1996).

En el año 2001, este mismo autor repitió este estudio con escaladoras (Grant y cols., 2001), también de elite (n=10), de recreación (n=10) y no escaladoras (n=10). Empleó los mismos agarres pero sin diferenciar entre agarre en arqueo y en extensión.

Los resultados de este estudio para la mano derecha se muestran en la tabla 2. En este caso fueron encontradas se encuentran diferencias significativas en las escaladoras de recreación para los agarres PR y E4. En las no escaladoras, se hallaron diferencias para los agarres E2 y E4.

	Escaladoras de elite (a)	Escaladoras de recreación (b)	No escaladoras (c)
PR (N)	338 ± 12*	289 ± 10	307 ± 11
P (N)	34.8 ± 8.2	38.1 ± 8.9	29.2 ± 6.9
E4 (N)	321 ± 18*,**	251 ± 14	256 ± 15
E2 (N)	193 ± 17**	171 ± 15	136 ± 12

Tabla 2: Valores de fuerza máxima (N) obtenidos en escaladores de elite (a), de recreación (b) y no escaladores (c): prensión manual (PR), agarre en pinza (P), en extensión con 2 (E2) y 4 (E4) dedos. * diferencias significativas con los escaladores de recreación; ** diferencias significativas con los no escaladores (Adaptada de Grant y cols., 1996).

La conclusión obtenida fue similar a la anterior, indicando la necesidad de mejoras en las escaladoras de recreación para llegar a niveles más altos.

6) OTROS ESTUDIOS

Hasta ahora se ha expuesto un análisis de las partes de los movimientos básicos de trepa. Sin embargo éstos no deben considerarse una suma de partes, sino un conjunto de movimientos realizados a lo largo de una vía de forma global.

Así, Cordier y cols. (1993 y 1994), llevaron a cabo estudios sobre la entropía (grado de desorden) de la trayectoria del centro de gravedad de los escaladores, un posible indicador de la habilidad de los sujetos o del estado en el proceso de aprendizaje. La entropía se puede considerar una medida de la complejidad que se halla mediante una fórmula matemática. Para ello filmaron a los escaladores con un LED en la cintura mientras realizaban 10 repeticiones de una vía de escalada. Las grabaciones fueron procesadas informáticamente (digitalización de las trayectorias), y una vez obtenida la trayectoria del cuerpo del escalador, se calculaba la entropía de las líneas.

Se contó con dos grupos de escaladores, uno de nivel medio y otro de nivel alto. El resultado fue una alta relación entre el número de repeticiones y la entropía. El grupo de nivel alto obtuvo un valor de entropía media menor que el grupo de nivel medio, describiendo además una curva diferente cada grupo. La entropía en el grupo de alto nivel disminuía rápidamente y alcanzaba una meseta estable, mientras que en el de nivel medio no disminuía hasta la 8ª repetición.

Las variables cinemáticas en una vía son importantes, así lo manifiesta un estudio de Abendroth-Smith, que en 1997 realizaron un análisis comparativo entre la cinemática y diferentes manifestaciones de la fuerza en diferentes grupos musculares en 21 escaladores y 8 escaladoras. Para la cinemática utilizaron un sistema de medición del movimiento bidimensional que muestreaba los datos a 30 Hz y los filtraba a 23 Hz durante un ejercicio que simulaba la escalada. Para las mediciones de fuerza del antebrazo utilizaron un dinamómetro de prensión, para las de flexión abdominal y tracción lateral una máquina de poleas Cybex.

La máxima correlación se encontró en los varones ($r = 0,85$) entre la máxima velocidad vertical del CG y el nivel de los escaladores.

Más adelante estos autores presentaron otro trabajo (Slaug y cols., 1998) en el que predecían el rendimiento en escalada mediante ecuaciones. Se aprecian mejoras metodológicas como el ajuste de los tamaños muestrales (26 hombres y 26 mujeres) y el aumento en el número de variables analizadas. Los modelos propuestos se presentan en la tabla 3.

	Variables	R
Mujeres	Nivel = - Grasa + Susp + CGVy	0,77
Hombres	Nivel = - Grasa + Susp + MIVy	0,71
Total	Nivel = - Grasa + Susp + Prens + AAAI + MIVy - Sync CGVy	0,82

Tabla 3: Correlación de los modelos propuestos por Slaug y cols. (1998), para el rendimiento en escalada: (CGVy) velocidad vertical del centro de gravedad, (Susp) tiempo en suspensión agarrado con las manos, (Grasa) grasa corporal, (MIVy) velocidad vertical de la muñeca izquierda, (AAAI) aceleración angular del antebrazo izquierdo, (Prens) fuerza de prensión, (Sync) tiempo entre la variable anterior y posterior.

Otro modelo que también trata de predecir el rendimiento de escaladores de elite es el propuesto por Watts y

cols. (1993). Aquí la toma de datos fue realizada en una de las pruebas de la Copa del Mundo, midiendo fuerza de prensión, edad, experiencia, nivel, altura, masa corporal, % grasa corporal, masa magra y volúmenes de antebrazo y de brazo. Se encontró que la habilidad tenía una fuerte relación con el % de grasa y la fuerza de prensión relativa. Esta relación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Nivel de escalada} = 2,4419 + (F_{\text{relativa}} \times 2,9536) - (\% \text{grasa} \times 0,0825)$$

Es preciso señalar que esta fórmula sólo se puede aplicar a sujetos que presenten una maestría técnica igual a la de la población analizada en este estudio de lo contrario, se llegaría a resultados erróneos.

Como conclusión al presente trabajo, se puede decir que la biomecánica de escalada deportiva representa un campo de investigación, que, aunque no es suficientemente amplio como para explicar todos y cada uno de sus movimientos, permite una aproximación conceptual a lo que acontece en las partes de sus movimientos. Son necesarios más estudios que corroboren o desmientan los resultados presentes en la literatura, y nuevas investigaciones dirigidas hacia tipos de escalada y movimientos aún no tratados.

7) BIBLIOGRAFÍA

Abendroth-Smith, J.; Slauch, R. (1997). A kinematic and strength comparison of sport rock climbers. *American Society of Biomechanics, 21st meeting*, 24-27.

Aguado, X. (1993). *Eficacia y técnica deportiva*. Análisis del movimiento humano. Publicaciones INDE, Barcelona.

Billat V. , Palleja P. , Charalaix T. , Rizzardo, P.; Janel N. (1995). Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35: 20-24.

Binney, D.M. (1996). *Identification of selected attributes which predict competition climbing performance*. Tesis Doctoral, University of Sheffield.

Bourdin, C.; Teasdale, N.; Nougier, V.; Bard, C.; Fleury, M. (1999). Postural constraints modify the organization of grasping movements. *Human Movement Science*, 18: 87-102.

Caron, O.; Rougier, P. (1993). Analysis of Posture and Movement in Climbing: Application for Testing Boots. *International Society of Biomechanics, XIVth Congress*, vol. I, 240-241.

Cordier, P.; Mendès France, M.; Bolon, P.; Pailhous, J. (1993). Entropy, degrees of freedom, and free climbing: a thermodynamic study of a complex behaviour based on trajectory analysis. *International Journal of Sport Psychology*, 24: 370-378.

Cordier, P.; Mendès France, M.; Bolon, P.; Pailhous, J. (1994). Entropy as a global variable of the learning process. *Human Movement Science*, 13: 745-763.

Gélat, T.(1993). Influence of the difficulty of the task on initial posture and posturo-kinetic co-ordination in climbing. *International Society of Biomechanics, XIVth Congress*, vol. I, 240-241.

Gooddard, D.; Neumann, U. (1993). Performance rock climbing. *Cordee*: 12.

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.

Grant, S.; Hasler, T.; Davies, C.; Aitchison, T.C.; Wilson, J.; Whittaker, A. (2001). A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *Journal of Sports Sciences*, 14: 301-309.

Kauer, B.; Gebert, W.; Werner, I. (1999). Three-Dimensional Analysis of Rock Climbing Techniques. *Abstracts of the 1st International Conference on Science and Technology in Climbing and Mountaineering*. University Of Leeds, UK.

Li, F.X.; Margetts, S.; Fowler, I. (2001). Use of "chalk" in rock climbing: *sine qua non* or myth? *Journal of Sports Sciences*, 19: 427-432.

Mathis, S.C. (1989). *Finger contact force-time curves measured in a simulated rock climbing situation*. Tesis Doctoral, University of Maryland.

Noé, F.; Quaine, F.; Martin L. (2001). Influence of steep gradient supporting walls in rock climbing: biomechanical analysis. *Gait and Posture*, 1386-1394.

Quaine, F.; Martin, L.; Bianchi, J.P. (1997a). The effect of body position and number of supports on wall reaction forces in rock climbing. *Journal of Applied Biomechanics*, 13: 14-23.

Quaine, F.; Martin, L.; Bianchi J.P. (1997b). Effect of a leg movement on the organisation of the forces at the holds in a climbing position 3-D kinetic analysis. *Human Movement Science*, 16: 337-346.

Quaine, F.; Martin, L. (1999a). Biomechanical study of equilibrium in rock climbing. *Abstracts of the 1st International Conference on Science and Technology in Climbing and Mountaineering*. University Of Leeds, UK.

Quaine, F.; Martin, L. (1999b). A biomechanical study of equilibrium in sport rock climbing. *Gait and Posture*, 10: 233-239

Rougier, P.; Bianchi, J.P. (1991). Evaluation objective de la difficulté en escalade par la relation posturo-

cinétique. *STAPS*, 26: 61-77.

Rougier, P. (1993). Biomechanical strategies observed in climbing during a voluntary and imposed movements. In, *Abstracts of the International Society of Biomechanics, XIVth Congress*. vol. II: 1152-1153

Serway, R. A. (1997). Física. *Mc Graw-Hill Ineramericana Editores. S. A.*

Slaugh, R.; Hyder, M.; Abendroth-Smith, J. (1998). Prediction models correlating performance of sport rock climbers. *North American Congress on Biomechanics*, 14-18

Watts P.B.; Drobish K.M. (1998). Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30 (7): 1118-1122.

Watts, P.B.; Martin, D.T.; Durtschi, S. (1993). Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *Journal of Sports Sciences*, 11: 113-117.

Imprimir

RendimientoDeportivo.com
Revista Digital

Depósito Legal: LE-1832-01

ISSN: 1578-7354