



- ◆ Trabajo realizado por la Biblioteca Digital de la Universidad CEU-San Pablo
- ◆ Me comprometo a utilizar esta copia privada sin finalidad lucrativa, para fines de investigación y docencia, de acuerdo con el art. 37 de la M.T.R.L.P.I. (Modificación del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual del 7 julio del 2006)

J. Martín Urrialde¹. *Socio AEF n.º 1.140*
J. Torres²

Estudio del ratio excéntrico/concéntrico del cuádriceps femoral en corredores de marathón y sujetos normales

1 Fisioterapeuta.
Subdirector Paramédico
Marathón de Madrid
2 Médico Deportivo.
Director Médico Marathón
de Madrid

Correspondencia:
José A. Martín Urrialde
Coslada, 8 - 4ª Dcha.
28028 Madrid

RESUMEN

La actividad excéntrica muscular tiene un papel importante en la actividad deportiva atlética.

El ratio excéntrico/concéntrico es uno de los más estudiados en las dinamometrías, y sobre todo, el del cuádriceps femoral, el cual puede ser alterado por un determinado tipo de actividad o entrenamiento.

Diez corredores de marathón y 10 individuos normales fueron examinados por medio de un dinamómetro isocinético Biodex System 2, a una velocidad de 180°/sec, durante los esfuerzos máximos de contracción concéntrica y excéntrica de dicho músculo.

No se encontró diferencia significativa en el ratio concéntrico/excéntrico (0,68 corredores y 0,65 en sujetos normales).

PALABRAS CLAVE

Excéntrico; Isocinético; Ratio; Cuádriceps.

ABSTRACT

Eccentric muscle activation has been found to play an important role in sports activities.

The eccentric/concentric ratio is one of the most studied by means dynamometers, and specially referred to Quadriceps femoris, wich may be altered by activity or training.

10 marathón runners and 10 normal individuals were examined in a Biodex System 2 Isokinetic Dynamometer, at 180°/sec. of velocity, in both concentric and eccentric maximal efforts.

We found no significant difference in eccentric/concentric ratio (0.68 runners and 0.65 normal individuals).

KEY WORDS

Eccentric/concentric ratio; isokinetics; Quadriceps femoris.

124 INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más comunes para devolver a un deportista el nivel de fuerza muscular perdido tras una lesión es el ejercicio isocinético, en el cual, la extremidad se mueve a una velocidad prefijada, con una resistencia ajustada automáticamente a través de todo el recorrido articular considerado.

Este ajuste permite el máximo esfuerzo dinámico durante todo el recorrido, o lo que es lo mismo, desarrollar la máxima tensión constantemente, sea cual sea el tipo de contracción considerada.

Durante la contracción concéntrica el músculo desarrolla su máxima tensión durante el acortamiento de sus fibras, en tanto que en la contracción excéntrica la máxima tensión ocurre durante la elongación fibrilar. Sin embargo, la mayor tasa de tensión se obtiene en la contracción excéntrica, pues en la misma se involucran tanto los componentes contráctiles y no contráctiles del músculo.

Alexander estudió la actividad isocinética concéntrica y excéntrica de corredores, en concreto sprinters, en cadera, rodilla y tobillo (2, 3). Encontró que el ratio de los valores máximos de torque eran muy parecidos en muchas articulaciones, cuando se comparaba el valor concéntrico y excéntrico, excepto en los extensores de rodilla y en los dorsiflexores del tobillo, los cuales mostraban una preponderancia excéntrica. Es importante observar si esta preponderancia es exclusiva de los corredores de velocidad, o si bien se haya presente en la población normal.

Hay muchos estudios sobre la actividad muscular del cuádriceps femoral durante la carrera de velocidad y de fondo (4, 15). El recto anterior es activado durante el despegue del pie para desacelerar la extensión de cadera, de forma excéntrica, y luego es usado de forma concéntrica durante la fase de avance de la pierna.

El vasto lateral y medial tiene una corta actividad excéntrica antes de la fase de contacto y a través de la primera fase del apoyo, para desacelerar la flexión de rodilla.

El uso concéntrico de estos músculos se efectúa antes del contacto inicial del pie y en la fase de propulsión de la pierna (4, 5).

Cavagna et al. demostraron que a medida que la carrera aumenta de intensidad y velocidad, la actividad excéntrica juega un papel más importante que la concéntrica (4).

MATERIAL Y MÉTODO

Muestra

Se examinaron 10 hombres, corredores de maratón procedentes de un Club de Corredores y 10 sujetos procedentes de la Universidad de Alcalá de Henares, sin relación con la carrera de fondo.

Los corredores de maratón habían participado antes de la prueba en al menos dos competiciones oficiales, terminando en ambas el recorrido.

En ambos casos, y por azar, la muestra fue totalmente masculina.

Material

El examen isocinético fue efectuado en el Departamento de Ciencias Morfológicas y Cirugía de la Facultad de Medicina, por medio de un dinamómetro isocinético Biodex controlado electrónicamente, y dotado de su correspondiente soporte informático.

Su diseño permite el examen de la actividad muscular midiendo el torque máximo en un espectro de velocidades desde 0 a 450°/sec.

La resistencia es ofrecida por un accesorio solidarizado a la extremidad del sujeto, y con el mismo eje de rotación que la rodilla examinada, siendo el empuje efectuado a nivel del 1/3 superior de la tibia.

El umbral de error de este equipo, calculado por su sistema operativo es de 0,96 en pruebas dinámicas y 0,98 en pruebas estáticas (9, 10).

Muchos trabajos se han desarrollado en torno a la exactitud de las mediciones de los valores concéntrico y/o excéntrico de los extensores de rodilla (11-13) y a pesar de la variedad de protocolos usados en referencia a series, repeticiones, velocidades, etc, el umbral de error es admitido unánimemente mayor de 0,85 (11-13).

DESARROLLO DE LA PRUEBA

Todos los examinados realizaron la prueba con su pierna dominante, definida como la que usan habitualmente para batir, chutar, cargar, etc.

Tras un calentamiento consistente en dos vueltas a una pista de atletismo oficial, por la calle interior, y al ritmo que cada sujeto estableció, se sentó al mismo en la silla de pruebas, siguiendo las indicaciones de la firma fabricante del dinamómetro.

El examen consistía en 3 ensayos de contracción concéntrica y excéntrica con la mayor tensión posible, para lo cual se permitió a cada sujeto realizar 6 contracciones submáximas y 2 máximas, al objeto de familiarizarse con el funcionamiento del dinamómetro.

Tras 2 minutos de descanso, se realizaron 3 contracciones máximas a una velocidad angular preseleccionada de 180°/sec, primero en forma concéntrica y luego en forma excéntrica, las cuales fueron registradas por el dinamómetro a través de su equipo informático, en forma de curvas.

ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

El principal factor de comparación fue designado como el «ratio concéntrico/excéntrico» (r), el cual fue colocado para cada sujeto, usando la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\text{Torque Máximo Concéntrico}}{\text{Torque Máximo Excéntrico}} \times 100 \times \text{GET}$$

En esta fórmula, propuesta en 1992 por Alexander (3), los valores indicados significan:

- *Torques máximos*: Valor del Momento máximo de cada tipo de contracción, en la citada velocidad, medido en unidades inglesas ft-lbs (libras-pies).
- *GET*: Gravity Effect Torque. Momento gravitatorio del miembro analizado. Valor ofrecido de manera automática por el equipo, y obtenido por la medición del efecto gravitatorio de la pierna, mas el dispositivo mecánico de fijación al motor.

Se calcularon los valores promedios, rangos de análisis y desviación standard de la muestra, para las tablas de peso/edad, y torques máximos, usándose el valor 0,05 como valor significativo de correlación estadística.

Tabla 1. Medidas antropométricas de sujetos examinados

	Edad	Peso (kg)
Maratonianos		
— Promedio	20,4	78
— Rango analizado	18 - 24	59 - 90
— Desviación standard	0,79	25,3
Estudiantes		
— Promedio	19,5	70
— Rango analizado	18 - 23	52 - 81
— Desviación standard	1,27	20,2

La tabla 1 muestra las medidas antropométricas de edad y peso de las muestras, observándose que la edad media de los maratonianos es superior a la del grupo de muestra (estudiantes).

En la tabla 2 se muestran los valores de Peak Torque (PT) obtenidos a la velocidad prefijada, en contracción concéntrica y excéntrica, medidos en ft-lbs, observándose pequeñas diferencias.

Tabla 2. Valores de torque máximo concéntrico y excéntrico (valores medidos en ft-lbs)

	T. Máximo Concéntrico	T. Máximo Excéntrico
Maratonianos		
— Promedio	181	220
— Rango analizado	130 - 231	172 - 291
— Desviación standard	32,2	35,1
Estudiantes		
— Promedio	177	219
— Rango analizado	134 - 247	180 - 279
— Desviación standard	36,2	28,9

Tabla 3. Ratio concéntrico/excéntrico del Peak Torque

Maratonianos	
— Promedio	0,75
— Rango analizado	0,69 - 0,88
— Desviación standard	0,15
Normales	
— Promedio	0,78
— Rango analizado	0,61 - 0,90
— Desviación standard	0,17

126 Por último, en la tabla 3 se expone el ratio concéntrico/excéntrico, según la fórmula anterior, con un valor promedio ligeramente superior para el grupo de estudiantes.

DISCUSIÓN

En este estudio no hemos hallado diferencia significativa entre los ratios de los corredores de maratón y la muestra de sujetos no corredores, bien por no haber obtenido una muestra correcta, o bien porque no existe tal diferencia.

Si partimos que para obtener datos significativos, aplicando estrictamente los principios estadísticos, necesitaríamos cerca de 1.000 sujetos de prueba, una muestra excesivamente grande y lejos de nuestro alcance. No obstante, en este pequeño estudio podemos constatar que no existen grandes diferencias en el ratio citado entre los dos grupos, y que por tanto pudiera cuestionarse la necesidad de fortalecer los músculos isquiotibiales, para mejorar el rendimiento del corredor.

La especificidad del ejercicio es una realidad dentro del entrenamiento de fuerza (6, 7), pues reforzando a un músculo en unas condiciones específicas, se obtiene el máximo rendimiento del mismo, en esas mismas condiciones. Este hecho ha sido demostrado con el empleo de técnicas isométricas hasta la saciedad, y en este momento, el debate se centra en las técnicas concéntricas y excéntricas (6, 8).

En nuestros resultados podemos inferir que no hay efecto en acostumbriamiento cuando usamos la tensión excéntrica del cuádriceps femoral, y si se compara con el estudio de Khun et al. (14) quien sí encontró diferencias significativas entre corredores y no corredores, testados a diversas velocidades en modo concéntrico, podemos concluir que una necesidad común de todos los corredores es mejorar su respuesta concéntrica, y no tanto la excéntrica, refiriéndonos en todo momento al cuádriceps femoral.

Algunos rasgos de nuestro estudio pueden ser criticados:

- Muestra reducida de sujetos.
- Ligeras diferencias en edades, al no hallar grupos homogéneos.

— Pérdida del entorno natural en el que se desenvuelve la carrera, al realizarse la prueba dentro de un laboratorio de Biomecánica, usando un dinamómetro.

De estos rasgos, los dos primeros pueden ser obviados, mediante una cuidadosa selección de la muestra objeto de estudio, pero el tercero, representa un punto crítico en todos los estudios realizados con dinamómetros. La dificultad del sujeto para acostumbrarse a las sensaciones y reacciones del dinamómetro, pueden llevarle a realizar esfuerzos submáximos, y sobre todo, la influencia de las fases de co-contracción muscular en los últimos grados de cada arco de recorrido, como manifestación del reflejo miotático, stretch-shortening cycle, en la bibliografía sajona; nos debe llevar a la conclusión de cuestionar la validez de las pruebas exploratorias de actividades en cadena cinética cerrada, como la carrera, por medio de experimentos en cadena cinética abierta (dinamometría tradicional de rodilla).

En un reciente estudio realizado entre corredores de velocidad en la Universidad de Durham (9), los autores llegan a similares puntos de discusión, y abundando en el mismo tema, Davies et al. (6) hallaron una correlación entre el entrenamiento concéntrico en cadena abierta y el entrenamiento funcional de saltos, polemizado con los hallazgos de Anderson et al. (1) quien no halló tal correlación entre test isocinéticos y actividades funcionales.

Otro detalle que deseamos resaltar en nuestro estudio, es la semejanza de valores en los torques máximos excéntricos y concéntricos de cada grupo. Si efectuamos el ratio entre el torque y el peso, veremos que los sujetos «normales» producen más torque, por kg de peso, que los corredores.

Por último, el ratio conc/exc promedio coincide con el obtenido por Alexander (3), cuyo valor era de 0,77, aunque su estudio se efectuó a 210°/sec, si bien, la actividad excéntrica de un músculo no se ve muy afectada por los cambios de velocidad. Podemos aventurar que existe un único ratio de fuerza excéntrica con respecto a concéntrica, para el cuádriceps, cuando se compara con otros músculos de la extremidad inferior, y en concreto con los isquiotibiales, lo cual

tiene un incalculable valor predictivo, en los programas fisioterápicos de reforzamiento muscular.

CONCLUSIÓN

No se halló diferencia remarkable en el ratio concéntrico/excéntrico, analizando sujetos corredores y no corredores.

El ratio de los torques máximos de cada modo de contracción y su efecto sobre el rendimiento deportivo, no ha sido estudiado en los principales músculos implicados.

Este mismo ratio, puede tener una importancia extrema para el fisioterapeuta, como valor predictivo en técnicas de reforzamiento muscular, y merecerá una mayor atención en el futuro. 127

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias Morfológicas y Cirugía de la Universidad de Alcalá de Henares, por el uso de los equipos dinamométricos y obtención de sujetos de examen entre sus alumnos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson MA, et al. The relationship among isometric, isotonic and isokinetics concentric and excentric quadiceps and hamstrings force and three components of athletic performance. *J Orthop Sport Phys Ther* 1991; 14: 114-120.
2. Alexander MJ. The relationship between muscle strenght and sprint kinematics in elite sprinters. *Can J Sport Sci* 1989; 14: 148-157.
3. Alexander MJ. Peak torque values for antagonist muscle groups and concentric and eccentric contraction type for elite runners. *Arch Phys Med Rehab* 1990; 71: 334-339.
4. Cavagna GA, et al. Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiol* 1965; 20: 157.
5. Cavagna GA, Komareck L. The mechanics of running. *J Physiol* 1971; 217: 709-722.
6. Davies GJ, Ellenbecker TS. Eccentric isokinetics. *Orthop Phys Ther Clin* 1992; 1: 297-336.
7. Duncan P, Chandler JM, et al. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989; 11: 70-75.
8. Ellebecker TS, Davies GJ, Rowinski M. Concentric vs eccentric isokinetic strenthening of the rotator cuff. *Am J Sports Med* 1988; 16: 64-68.
9. Fairbanks R, Lawler B. Eccentric-concentric ratio of Quadiceps in Sprinters runners. *IES* 1994; 13 (1): 41-43.
10. Hanten WP. Reliability and validity of the kinetic communicator for the measurements of torque, work and power. *Phys Ther* 1988; 68: 825.
11. Harding B, Black T. Reliability of a reciprocal test protocol performed on the Kin-Com: test of knee extensor and flexor strength. *J Orthop Sport Phys Ther* 1988; 10: 218-223.
12. Kramer JF. Reliability of knee extensor and flexor torques during continuous concentric-eccentric cycles. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 440-446.
13. Jackson A, Meske N. Univariate and multivariate analysis of the reliability of the Kin-Com. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 19: 253.
14. Khun S, et al. Comparaisón of peak torque and hamstrings/quadiceps femoris ratios during high velocity isokinetic exercise in sprinters, cross-country runners and normal males. *Isok Exerc Sci* 1991; 1: 138-145.
15. Mc Curry D, Davies GJ, et al. The effect of a seven week isokinetics training program on eccentric strength development. *Med Sci Exerc* 1896: 19.