



## **FIABILIDAD DE LA DINAMOMETRÍA ISOCINÉTICA PARA OBTENER EL ÁNGULO ÓPTIMO DE LA MUSCULATURA EXTENSORA DE LA RODILLA APLICADO AL CICLISMO.**



**Bernabé Piñero Pastor**

(bpinero@alu.umh.es)

**Universidad Miguel Hernández de Elche**

**-2016-**

**Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud**

**Laboratorio de Biomecánica y Salud**

**Tutor Académico:** Dr. José Luis López Elvira

## **Fiabilidad de la dinamometría isocinética para obtener el ángulo óptimo de la musculatura extensora de la rodilla aplicado al ciclismo.**

### **RESUMEN**

Introducción. La relación entre fuerza y ángulo óptimo de la articulación de la rodilla como determinantes importantes para la optimización del rendimiento en ciclismo. Estos resultados son de utilidad en el diseño y aplicación de programas de evaluación, corrección y optimización para la mejora del rendimiento deportivo y de prevención de lesiones.

Objetivo. Determinar la fiabilidad de la dinamometría isocinética como medio para obtener el ángulo óptimo en el que la musculatura extensora de la rodilla ejerce su máximo torque.

Métodos: Fueron evaluados 10 participantes del género masculino, sanos y sin lesiones en el momento del estudio. Las mediciones de los test se hicieron a dos velocidades angulares predeterminadas (10°/s y 210°/s), repitiéndose estas 3 veces con una semana de separación entre cada una. Las variables isocinéticas utilizadas para el análisis de la fuerza muscular extensora y flexora concéntrica de la rodilla dominante fueron pico de torque (N/m) y ángulo de pico de torque (°).

**Palabras claves:** dinamómetro isocinético, rodilla, torque, ángulo óptimo.

### **ABSTRACT.**

Introduction. The relation between strength and optimum angle of the knee joint as important determinants for the cycling performance optimization. These results are useful in

the design and implementation of evaluation, correction and optimization programs for improving sports performance and injury prevention.

**Objective.** To determinate the reliability of isokinetic dynamometer as a means to obtain the optimum angle wherein the extensor musculature of the knee exerts its maximum torque.

**Methods.** 10 healthy and uninjured men participated in the study. Test measurements were made to the two predetermined angular velocities (10°/s and 210°/s), repeating these 3 times a week apart each. The isokinetic variables used for the analysis of the extensor and flexor concentric muscle strength of dominant knee were peak torque (N/m) and angle of peak torque (°).

**Keywords:** isokinetic dynamometer, knee, torque, optimum angle.

---

## INTRODUCCIÓN

Existen diversas modalidades deportivas que pueden ser desempeñadas de manera saludable, destacando entre ellas el ciclismo por su alto componente aeróbico y su bajo nivel de impacto articular.

El ciclismo es un modo excelente de hacer ejercicio para alcanzar una buena salud y un buen nivel de fitness. Es tan efectivo como el jogging y la carrera para tonificar los grandes músculos de la parte inferior del cuerpo, proporcionando el estímulo aeróbico necesario al sistema cardiovascular, pero con menor riesgo de lesiones en las articulaciones (Carmichael & Burke, 2006, p.7).

En la actualidad se ha convertido en una práctica de ocio, así como de competición, alternativa al fútbol, y que por su carácter recreacional resulta muy útil como herramienta biosaludable. Como dato significativo, más de 20 millones de españoles poseen una bicicleta y cerca de 3 millones la utilizan de manera habitual, ya sea como medio de transporte o para realizar actividad física (Fundación ECA Bureau Veritas, 2013).

Montar en bicicleta es una de las actividades más completas y universales para la protección de las articulaciones y la mejora del sistema circulatorio e inmunológico.

En palabras de Ingo Fröbose, autor del informe *Cycling & Health* (2012), la bicicleta fortalece cuerpo y alma, afirmando que solo 10 min de pedaleo al día, ya repercuten en la musculatura, el riego sanguíneo y las articulaciones.

En su informe Fröbose demuestra los múltiples beneficios de la práctica del ciclismo, destacando entre otros que se reduce el riesgo de infarto en un 50%; previene la aparición de hernias discales, ya que al montar en bicicleta estimulamos pequeños músculos de las vértebras dorsales y fortalecemos la zona lumbar; disminuye el riesgo de padecer artrosis, debido a que los movimientos cíclicos que se producen al pedalear, suponen una carga mínima para las articulaciones y garantizan una situación de sustento para los cartílagos; a nivel del sistema inmunológico, el pedaleo moviliza los fagocitos, y como terapia para enfermedades, mejora el estado de ánimo.

Si asociamos salud y ciclismo, deberemos tener en cuenta que para que esta práctica consiga el pretendido bienestar físico y personal, la misma deberá ejecutarse de manera adecuada. Es por ello, que en la actualidad está cada vez más extendido el fenómeno del bikefitting, que no pretende otra cosa que la adaptación biomecánica de la bicicleta al ciclista

con el fin de mejorar la eficiencia y la aerodinámica (relacionados con el rendimiento) y la prevención de lesiones.

A este respecto, existen multitud de estudios que refrendan y certifican la relación entre la posición sobre la bicicleta y los beneficios obtenidos. Coyle et al. (1991) afirmaban que las diferencias entre contrarrelojistas en la distancia de 40 km, no solo se debían a factores fisiológicos. González y Hull (1989), establecieron que la habilidad para generar potencia en ciclismo estaba influenciada por la adaptación antropométrica del ciclista a su bicicleta.

La posición sobre la bicicleta afecta al desempeño del ciclismo, lo que puede observarse en el movimiento de las articulaciones, así como a la capacidad de generar potencia (Too, 1990; Vrints et al., 2011; Yoshihuku y Herzog, 1990). Las posiciones altas sobre el sillín (109% de la parte interna de la pierna o 102% mayor que la altura del trocánter) aunque son reconocidas como más eficaces en la generación de potencia (Rankin y Neptune, 2010; Vrints et al., 2011), una excesiva altura del sillín solicita en exceso la musculatura posterior de la pierna y derivará en sobrecargas de isquiotibiales, tendinitis de bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso.

Por otro lado las posiciones bajas afectan al movimiento de la articulación de la rodilla, comprometiendo la correcta intervención mecánica del grupo muscular de la misma (Vrints et al., 2011), produciéndose lesiones por sobrecarga del cuádriceps, tendón cuadricipital, rótula y tendón rotuliano.

La musculatura extensora de la rodilla puede ser evaluada usando el dinamómetro isocinético, siendo esta una herramienta contrastada y fiable para evaluar la capacidad de generar momento de fuerza en articulaciones concretas. El dinamómetro isocinético mide la

fuerza muscular ejercida dinámicamente en un rango de movimiento determinado, a una velocidad constante y programable (Martínez, 2005; Delgado y Adame, 2010).

En la actualidad, la dinamometría isocinética representa uno de los métodos más objetivos para cuantificar la fuerza muscular en condiciones dinámicas, habiéndose demostrado en numerosas publicaciones la fiabilidad, validez y reproducibilidad de las variables obtenidas, por lo que cada vez se utiliza con más frecuencia en la clínica (Feirig et al., 1990; Wilk y Johnson, 2000; Slocker de Arce et al., 2002).

Pincivero et al. (1997) establecen que la metodología isocinética tiene muchas ventajas, entre las que se encuentran que al evaluar sólo una articulación por cada prueba y posibilitar el aislamiento de grupos musculares, permite identificar problemas más específicos y, por tanto, orientar hacia diagnósticos más concretos; y que el protocolo usado en los test es altamente reproducible, siempre que la corrección de la gravedad y la posición del individuo hayan sido debidamente considerados.

Mediante la evaluación muscular isocinética se puede determinar el rendimiento muscular y que según Véliz (2000) comprende 3 elementos, el torque máximo, el trabajo muscular y la potencia muscular. El más estudiado es el torque máximo, cuyo comportamiento es analizado a distintas velocidades angulares, siendo este un parámetro muy utilizado para evaluar la fuerza muscular y recomendado sobre todo con propósitos clínicos, de investigación y de predicción del rendimiento físico (Martínez, 2005; De Ste Croix et al., 2003). Los valores de torque máximo y velocidad angular mantienen una relación inversa, mientras que el primero disminuye la segunda aumenta, lo que lleva a la necesidad de conocer el comportamiento del torque en distintas velocidades, sin conformarse sólo con una velocidad (Véliz, 2000).

Existe mucha bibliografía referente a estudios en los que se ha investigado y relacionado el torque máximo y su relación con ángulos específicos (Russell et al., 1995; Caldwell et al., 1993), teniendo en cuenta que los ángulos a los que se obtiene ese momento de fuerza pueden ser variables y que dentro de cada disciplina deportiva existen gestos específicos que las diferencian (Méndez et al., 1999). Sin embargo es difícil que un gesto determinado se realice siempre en los mismos ángulos, pudiendo variar ligeramente dentro de una especialidad deportiva (Del Valle et al., 1998).

Aunque existe mucha bibliografía referente a la valoración de la musculatura extensora de la rodilla, con el objetivo de buscar el ángulo del máximo torque, sin embargo generalmente se ha hecho en acciones isométricas a distintos ángulos, y teniendo en cuenta que el ciclismo es un actividad que requiere de una acción dinámica, los datos obtenidos en estos pueden no ser representativos y extrapolables, de ahí la razón que fundamenta la necesidad de realizar este estudio.

El objetivo del presente estudio es evaluar la dinamometría isocinética como método fiable para encontrar el ángulo óptimo en el que la musculatura de la rodilla ejerce su máximo momento de fuerza (torque), con el fin de individualizar una medida en la que la relación ángulo-máximo torque pueda ser trasladada a la altura del sillín y la posición sobre la bicicleta.

## **MÉTODOS**

### **Participantes**

La muestra estaba compuesta por 10 participantes del género masculino, sanos y sin lesiones en el momento del estudio. Sus datos antropométricos fueron tomados antes de la

primera prueba, así como el peso de la pierna, quedando reflejados en un breve historial que se completaba antes de cada sesión (promedio $\pm$ desviación estándar: edad 27.3 $\pm$ 6.53 años; altura 1.72 $\pm$ 0.05 m; peso corporal 69.45 $\pm$ 10.78 kg).

Así mismo, se les solicitó a los sujetos no ingerir bebidas excitantes ni alimentos abundantes en las 2 h antes de cada medición y no practicar deporte de manera intensa desde el día antes a su participación.

El protocolo de estudio se basó en la Declaración de Helsinki, y todos los participantes fueron informados previamente dando su consentimiento por escrito.

### **Protocolos**

El protocolo utilizado para la evaluación de la fuerza muscular extensora y flexora de la rodilla dominante fue en contracción concéntrica. La estructura del mismo consistió en la toma de 3 mediciones por sujeto, mediando entre cada una de ellas una semana de diferencia. Cada una de las sesiones de evaluación estuvo precedida por un test de calentamiento que consistía en dos series concéntricas, una a 60°/s y otra a 180°/s (extensión-flexión), mediando 10 s de descanso entre cada una.

Después de esto, cada participante fue evaluado siguiendo los test diseñados para este estudio. Los test fueron creados de manera contrabalanceada y estos estaban compuestos por 3 series de cada una de las dos velocidades angulares de la musculatura extensora en contracción concéntrica a evaluar, siendo estas 10°/s y 210°/s. Las series constaban de 1 repetición para la de 10°/s y de 5 repeticiones para la de 210°/s, mediando entre cada una de las series 1 min de descanso. La selección de ambas velocidades angulares se hizo teniendo en

cuenta la utilización de la velocidad más lenta posible sin ser isométrica ( $10^\circ/s$ ) y de la que fuera equivalente a la velocidad media de la rodilla con un pedaleo a 90 rpm ( $210^\circ/s$ ).

La evaluación isocinética de la fuerza se llevó a cabo mediante el equipo de dinamometría Biodex System 4 (Biodex Medical system Inc., Shirley, NY, USA), calibrado de acuerdo al manual del fabricante, dichas calibraciones y evaluaciones fueron llevadas a cabo en todos los casos por el mismo investigador.

Cada evaluación fue llevada a cabo por separado y precedida de una explicación detallada, oralmente y por escrito, así como de una demostración para que experimentaran las sensaciones de la prueba. Inmediatamente después los participantes fueron posicionados en el equipo y estabilizados con correas sobre el tronco, pelvis y la pierna evaluada, para evitar movimientos compensatorios. En ese instante, mediante el goniómetro, se midió la inclinación del fémur entre el trocánter y el epicóndilo lateral, para ajustar el ángulo real de la rodilla al de la palanca de la máquina.

La posición sentada fue ajustada a un ángulo aproximado de  $85^\circ$  de flexión de cadera y el eje mecánico del dinamómetro fue alineado con el eje de la articulación de la rodilla, el epicóndilo lateral femoral. La espinillera fue colocada justo por encima del maléolo medial. Todos los procedimientos y corrección de gravedad fueron llevados a cabo según las instrucciones del manual del fabricante. Después de calibrar la posición inicial ( $90^\circ$  flexión y  $0^\circ$  extensión), el rango de movimiento del brazo-palanca fue limitado entre los  $35^\circ$  de extensión y  $115^\circ$  de flexión de la rodilla, correspondientes estos al rango aproximado de pedaleo en el ciclismo. Los participantes fueron instruidos para que no movieran la pierna no objeto del estudio y que realizaran la máxima fuerza durante todas las repeticiones, siendo alentados verbalmente para ello.

Las variables analizadas, pico de torque (N/m) y ángulo de pico de torque (°) en extensión concéntrica, fueron extraídas directamente por el equipo isocinético. Para evitar los efectos provocados por la aceleración y el frenado durante cada una de las mediciones, los datos extraídos de ambas variables se midieron teniendo en cuenta la zona del movimiento en donde la velocidad de ejecución era constante y la que se fijó en el test.

### **Análisis estadístico**

Para el análisis de los datos antropométricos se hallaron los valores promedio y la desviación estándar. Así mismo, se comprobó la normalidad de la distribución de las variables con el test Shapiro-Wilk. Para comprobar la fiabilidad del dinamómetro isocinético, como medio para encontrar la relación ángulo óptimo-máximo torque, se utilizaron el ICC (Intraclass Correlational Coefficient) y el SEM (Standar Error of Measurement) siguiendo el procedimiento de Hopkins (2000, 2015). Además se compararon los ángulos óptimos a las dos velocidades angulares por medio de la prueba T Student para muestras relacionadas.

### **AGRADECIMIENTOS**

A todos los participantes en el presente estudio, sin su compromiso e interés no habría sido posible la realización del mismo. En especial al profesor-tutor José Luis López Elvira, al co-tutor Juan Miguel Vallés González y al doctorando Alejandro López Valenciano, por su atención, asesoría, orientación y participación desinteresada en todo momento. Muy especialmente a Alberto Galindo Martínez, mi compañero de línea de investigación, por su apoyo y amistad constante e incondicional.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Caldwell, G., Adams, W. & Whetstone, M. (1993). Torque/velocity properties of human knee muscles: peak and angle-specific estimates. *Can J Appl Physiol.* 18, 274.
- Carmichael, C. & Burke, E. (2006). *Bicicleta, salud y ejercicio*. Badalona, España: Paidotribo.
- Coyle, E., Feltner, M., Kautz, S., Hamilton, M., Montain, S., Baylor, A., Abraham, L. & Petrek, G. (1991) Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 23, 93-107.
- Cycling & Health (2012). Ingo Fröbose.
- Delgado-Virgen, H. y Adame-Trevino, J. (2010). Ejercicio isocinético en pacientes con gonartrosis. *Rev Mex Med Fis Rehab.* 2, 12-20.
- Del Valle, M., Méndez, B., Egocheaga, J. y Sirgo, G. (1998). Aplicaciones de la biomecánica al alto rendimiento deportivo. Importancia del rango de movimiento específico (REM) en la evaluación isocinética. *Arch Med Dep.* 65, 193.
- De Ste Croix, M., Deighan, M. & Armstrong, N. (2003). Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med.* 33(10), 727-43.
- Feiring, D., Ellenbecker, T. & Dercheid, G. (1990). Test- retest reliability of the Biodex isokinetic dynamometer. *Journal Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 11, 298-300.
- Fundación ECA Bureau Veritas (2013). Barómetro anual de la bicicleta 2013. Madrid: Dirección General de Tráfico.
- Gonzalez, H. & Hull, M. (1989). Multivariable optimization of cycling biomechanics. *J Biomech.* 22(11-12), 1151-1161.
- Hopkins, W. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 30, 375-381.

- Hopkins, W. (2015). Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience*, 19, 36-42 (sportsci.org/2015/ValidRely.htm).
- [http://www.academia.edu/10167769/GENERALIDADES\\_SOBRE\\_LA\\_DINAMOMETR%C3%8DA\\_ISOCIN%C3%89TICA](http://www.academia.edu/10167769/GENERALIDADES_SOBRE_LA_DINAMOMETR%C3%8DA_ISOCIN%C3%89TICA). Consultado el 15 de diciembre de 2016.
- Martínez González-Moro, I. (1998). Isocinéticos en Medicina del Deporte. *Selección*, 7(2), 88-94.
- Martínez González-Moro, I. (2003). Valoración Clínico-isocinética del aparato locomotor. *Universidad de Murcia*.
- Méndez, B., Del Valle, M., Sirgo, G. y Argüelles, I. (1999). Variaciones en el ángulo de producción del momento máximo de fuerza. *Arch Med Dep*. 15, 565.
- Pincivero, D., Lephart, M. & Karunakara, A. (1997). Reliability and precision of isokinetic strength and muscular endurance for quadriceps and hamstrings. *International Journal of Sport Medicine*. 18, 113-17.
- Rankin, J. & Neptune, R. (2010). The influence of seat configuration on maximal average crank power during pedaling: a simulation study. *J Appl Biomech*. 26(4), 493-500.
- Russell, K., Quinney, H., Hazlett, C. & Hillis, D. (1995). Knee muscle strength in elite male gymnasts. *J Orthop Sport Phys*. 22, 10.
- Slocker de Arce, A., Carrascosa, J., Fernández, F., Clemente de Arriba, C. y Gómez L. (2002). Análisis isocinético de la flexo-extensión de la rodilla y su relación con la antropometría del miembro inferior. *Rehabilitación*. 36, 86-92.
- Too, D. (1990). Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Med*. 10, 286-302.
- Véliz, C. (2000). Evaluación muscular isocinética del grupo flexo-extensor de rodilla. *Kinesiología*, 59, 53-57.

- Vrints, J., Konnckx, E., Van Leemputte, M. & Jonkers, I. (2011). The effect of saddle position on maximal power output and moment generating capacity of lower limb muscles during isokinetic cycling. *J Appl Biomech.* 27(1), 1-7.
- Weir, J. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 19(1), 231-240).
- Wilk, K. & Johnson, E. (1988). The reliability of the Biodex B- 2000. *Physical Therapy.* 68, 792.
- Yoshihuku, Y. & Herzog, W. (1990). Optimal design parameters of the bicycle-rider System for maximal power output. *J Biomech.* 23, 1069-1079.

