

TRABAJO FIN DE MÁSTER

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RENDIMIENTO DEPORTIVO Y
SALUD



FIABILIDAD INTER- E INTRASESIÓN DE UN SISTEMA INNOVADOR QUE PERMITE MEDIR LA CONTRACCIÓN VOLUNTARIA MÁXIMA Y LA RATIO DE DESARROLLO DE LA FUERZA DE CUÁDRICEPS E ISQUIOSURALES

Autor: Juan José Colado Sánchez

Director: Víctor Moreno Pérez

Co-tutor: Aaron Miralles Iborra

Curso 2020-2021

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN.	5
2. MÉTODO	9
2.1 Participantes	9
2.2 Procedimiento del estudio.....	9
2.3 Mediciones.....	10
2.4 Variables.....	11
2.5 Análisis Estadístico.	12
3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es investigar la fiabilidad intrasesión e intersección de un sistema innovador que permite determinar la contracción voluntaria máxima y la RFD de cuádriceps e isquiosurales en un ángulo de 30º de flexión de rodilla con el fin de obtener un instrumento menos costoso y fiable para su uso tanto en fútbol amateur como profesional. Veintiún futbolistas juveniles masculinos participaron en el test-retest durante 2 sesiones (una de ellas con una parte de familiarización) separadas por 1 semana de diferencia. La contracción voluntaria máxima se midió durante 4-5 segundos y la RFD durante los primeros milisegundos de la contracción. El análisis estadístico se realizó con una hoja de cálculo específica por pares utilizando el índice de correlación intraclass (ICC), el error estándar de medida en valores absolutos (SEM) y como coeficiente de variación (%SEM) y el mínimo cambio detectable (MDC).

Palabras clave: Contracción voluntaria máxima (MVC), Ratio de desarrollo de la Fuerza, Cuádriceps, Isquiosurales, Fútbol.

ABSTRACT

The aim of this project is to investigate the intrasession and intersession reliability of an innovative system that allows determining the maximum voluntary contraction (MVC) and RFD of quadriceps and hamstring at a 30° knee flexion angle to obtain a less expensive and reliable instrument for use in both amateur and professional football. Twenty-one male youth football players participated in the test-retest during 2 sessions (one of them with a familiarization part) separated by 1 week apart. The maximum voluntary contraction was measured during 4-5 second and the RFD during the first milliseconds of the contraction. Statistical analysis was performed with a specific spreadsheet for consecutive pairs using the intraclass correlation index (ICC), the standard error of measurement in absolute values (SEM) and as coefficient of variation (%SEM) and the minimum detectable change (MDC).

Keywords: Maximum voluntary contraction (MVC), Rate of force development, Quadriceps, Hamstrings, Football.

1. INTRODUCCIÓN.

Según datos oficiales de la Fédération Internationale de Football Association (FIFA), 265 millones de jugadores y 5 millones de árbitros están involucrados activamente en el fútbol, lo que representa un 4% de la población mundial (Sarmiento, Anguera, Pereira & Araújo, 2018).

Filter et al. (2019) señalan que el fútbol es un deporte intermitente donde se entrelazan actividades de alta intensidad (sprints máximos) y acciones de intensidad baja y moderada (caminar y trotar), sin embargo, los esfuerzos de alta intensidad generados en un partido están incrementando progresivamente.

Aunque la práctica del fútbol genera grandes beneficios psicológicos y físicos, desafortunadamente no está exento de riesgos altos de lesión. La epidemiología de lesiones en hombres es elevada y en mujeres es escasa y concentrada principalmente en el LCA (Larruskain, Lekue, Diaz, Odriozola & Gil, 2017).

Según un estudio realizado por Del Coso, Herrero y Salinero (2016) en el fútbol femenino un 74% de las lesiones se concentran en las extremidades inferiores haciendo hincapié en los ligamentos. Las zonas corporales con mayor ratio de lesión son las rodillas y los tobillos. Entre estas dos, las rodillas son las más afectadas con un 44,3% de lesiones en las cuáles predomina el LCA 39,2% seguido del ligamento colateral lateral 35,6%.

La aparición de estas lesiones viene desencadenada y reforzada por diferentes factores de riesgo tanto extrínsecos como intrínsecos.

En cuanto a factores extrínsecos se ha indicado que una mayor exposición a partidos y entrenamientos tiene una asociación significativa respecto al riesgo de lesión. La evidencia es limitada respecto a la posición específica de juego, pero se ha evidenciado que los defensores y delanteros tienen mayor riesgo de lesión de LCA y tobillo (Alahmad, Kearney & Cahalan, 2020). Por otro lado, tener mayor número de tacos en la bota, que estos tengan un tamaño elevado, el césped artificial y el clima seco son factores de riesgo que también aumentan la probabilidad de lesión (Sutton & Bullock, 2013).

En cuanto a factores de riesgo intrínsecos en el fútbol femenino, Alahmad et al. (2020) encontraron que tanto el impacto de una lesión previa, la laxitud articular (hipermovilidad), una relación entre los isquiosurales y los cuádriceps (H/Q) inferior al

55% en la contracción concéntrica de ambos grupos musculares a 90 grados y el incremento de la edad eran factores determinantes.

Entre ellos uno de los factores que más prevalencia tiene sobre las lesiones de rodilla, específicamente sobre el LCA es el ratio (H/Q). Este ratio ha sido utilizado para examinar la similitud entre los patrones de velocidad de contracción de los isquiosurales y los cuádriceps y con ello evaluar la capacidad funcional de la rodilla y el equilibrio muscular (Rosene, Tracey, Fogarty, Brian & Mehaffey, 2001). Esto es apoyado por el estudio de Risberg et al. (2018) donde indican que la fuerza de cuádriceps e isquiosurales en los atletas es una parte importante de la capacidad funcional y contribuye significativamente a la actuación y la biomecánica de la extremidad inferior.

La coordinación en la contracción de isquios y cuádriceps puede proporcionar una estabilización dinámica en esta articulación y proteger la rodilla en ejercicios dinámicos relacionados con el deporte. La problemática se observa cuando las atletas utilizan una mayor activación de los cuádriceps sin aumentos similares en la contracción de los isquiosurales al realizar aterrizajes con una intensidad de caída incremental. Una disminución de los isquiosurales respecto al reclutamiento de los cuádriceps está implicado como un mecanismo potencialmente lesional en las extremidades inferiores (Myer et al., 2009).

Los test de fuerza muscular isocinéticos han sido utilizados durante décadas y es la medida más común a la hora de observar la relación de cuádriceps e isquiosurales en población atlética y no atlética (Risberg et al., 2018). Tradicionalmente se ha medido de forma concéntrica ambos músculos a 60°/seg ya que reportaban mayor fiabilidad respecto a otros ángulos (Moeller et al., 2017; Risberg et al., 2018;). Recientemente se está midiendo el momento de fuerza de cuádriceps en concéntrico y de isquios en excéntrico (Rosene et al., 2001).

Esto es debido a que muchas acciones que se dan requieren de extensiones balísticas de rodilla. Uno de los ratios utilizados ha sido el mixto con un posición excéntrica de flexores de rodilla a 30°/seg y concéntrica de extensores a 240°/seg mostrado como un indicador válido (Moreno, Barbado, Juan, Quesada & Vera, 2013).

Crossier et al. (2008) indicaban que con este ratio mixto (Flex exc 30º/Ext conc 240º), obtener un valor menor de 0,8 se relaciona con un alto riesgo de lesión.

Otra forma de evaluar y controlar diferentes factores como la ratio H/Q es mediante test isométricos y con estos obtener variables relevantes como la MVC (contracción voluntaria máxima) (Moeller, 2017). Según Turpeinen, Freitas, Rubio, Jordan y Aagaard, (2020) la MVC no se da hasta los primeros 300 – 500 ms del inicio de la contracción.

Nielsen et al. (2020) indican que la MVC no refleja los requisitos neuromusculares durante las actividades dinámicas rápidas y las lesiones de LCA ocurren habitualmente en los momentos iniciales de la acción como por ejemplo en los primeros 50 ms tras un golpeo de balón.

Debido a que se da de forma tardía es fundamental el análisis de otra variable como es la RFD (ratio of force development). La RFD refleja la capacidad de producir fuerza muscular rápida por unidad de tiempo tras el inicio de una contracción, que se puede medir durante la contracción isométrica utilizando curvas de fuerza-tiempo o torque-tiempo y calculando la pendiente de la curva entre dos puntos. (Ejemplo: 0-50 ms). Este factor está relacionado con el reclutamiento de unidades motoras y la descarga de neuronas motoras las cuáles tienen gran influencia en la fase volitiva inicial (<75 ms) (Turpeinen, 2020; Courel-Ibañez, Hernández-Belmonte, Cava-Martínez & Pallarés, 2020).

Courel-Ibañez et al. (2020) indican que la RFD y el impulso durante las pruebas de extensión de rodilla se pueden evaluar con alta confiabilidad durante las fases tardías (0-250 ms) desde la primera sesión. Las fases tempranas (0-150 ms) sería conveniente una sesión de familiarización y las fases iniciales (0-50 ms) requieren de una familiarización mayor para alcanzar una confiabilidad suficiente.

Las pruebas isométricas se realizan con un ángulo de flexión de rodilla de 30 grados debido a que las lesiones de isquiotibiales y de ligamentos de la rodilla son más susceptibles de ocurrir cuando la rodilla se encuentra en un ángulo más extendido (Moreno-Pérez, 2020; Grazioli, 2019).

Un error común que se realiza es comparar los desequilibrios de la pierna afectada con los de la pierna sana a la hora de volver a los terrenos de juego. Es un error debido a que

la pierna que no ha sido afectada puede disminuir sus valores de fuerza tras el período de lesión y se estaría comparando con unos valores atípicos y contraproducentes. Establecer unos valores de fuerza específicos para el deporte según la edad y el género es importante (Risberg et al., 2019).

El objetivo de esta investigación es conocer la fiabilidad inter- e intrasesion de un sistema innovador basado en una galga y un banco portátil de diseño propio que permite establecer la contracción voluntaria máxima y la RFD de cuádriceps e isquiosurales en un ángulo de 30º de flexión de rodilla con el fin de obtener un instrumento menos costoso y fiable para su uso tanto en el fútbol amateur como profesional.

2. MÉTODO

2.1 Participantes

Un total de 21 futbolistas amateurs masculinos (media \pm desviación estándar [SD]; edad: 18.16 ± 0.84 años; masa corporal: 70.09 ± 7.18 kg; altura: 175.28 ± 8.8 cm) participaron de forma voluntaria en este trabajo de investigación. El tamaño muestral se evaluó utilizando G*power (software versión 3.1, Düsseldorf, Germany) y los resultados indicaban que un total de 17 participantes eran necesarios para detectar una correlación de ($r = 0.60$) con una potencia del 80% y un alfa del 5%.

Los participantes procedían de categorías juveniles de fútbol. Como criterios de inclusión, los participantes no tomaban ningún tipo de medicación ni presentaban molestias previo al inicio de la prueba. Además, debían practicar de forma regular el fútbol.

A cada jugador se le informaba sobre el protocolo que se iba a seguir y rellenaron un consentimiento informado. Esta investigación se realizó de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki 2013 y fue aprobada por el comité de Revisión de Ética Local (código: DCD.JLE.01.20)

2.2 Procedimiento del estudio

El estudio se llevó a cabo en un área clínica específica del club durante el período competitivo. Los participantes fueron citados en dos ocasiones. En una primera sesión, los participantes eran informados sobre la ejecución de la prueba que iban a realizar y se familiarizaban con dos intentos de cuádriceps e isquiosurales para reducir el efecto aprendizaje. También se recogían datos como el peso, la altura y rellenaban una hoja para saber lesiones previas, pierna dominante y años de experiencia deportiva. En esa misma sesión de familiarización, posteriormente a ella se llevó a cabo la primera sesión. A la semana siguiente de la primera toma de datos se realizó la segunda. Todas las tomas se llevaron a cabo el mismo día y hora de la semana con la intención de que presentasen las mismas condiciones y evitar la variabilidad circadiana.

Las evaluaciones fueron realizadas por (evaluador 1: fisioterapeuta) y (evaluador 2: profesional físico-deportivo). Durante las evaluaciones, únicamente estaba presente uno de los evaluadores para generar un ambiente tranquilo. Todas las pruebas se

realizaron mediante una evaluación a ciegas en ocasiones separadas y no se intercambió ningún tipo de información tras las mediciones entre los evaluadores. Previo a las mediciones los participantes realizaron un calentamiento específico para mejorar la activación neuromuscular y de esta forma maximizar la fuerza isométrica máxima en ambos grupos musculares. El calentamiento estaba compuesto por 2 series de 6 segundos de 3 ejercicios diferentes: Inch Runs, base rotations, and side to side over line con un descanso de 10 segundos entre serie (Courel-Ibañez, Hernández-Belmonte, Cava-Martínez & Pallarés, 2020).

2.3 Mediciones

Todas las mediciones se llevaron a cabo en un banco de diseño propio de 75 cm de altura donde se sentaban los participantes (Figura 1). A 10 cm del suelo se fijó en uno de los extremos una galga extensométrica portátil con el software equipado (ChronoJump, Barcelona, España) de muestreo a 85 Hz y en el otro extremo se colocó una tobillera rígida y resistente diseñada para ejercicios isométricos máximos que minimizaba los movimientos articulares. La barra podía alongarse y reducirse en función de cada participante buscando una posición de 30º grados de flexión de rodilla la cual se medía con un goniómetro de mano. También se colocaba una cinta que cinchaba el muslo del sujeto para que se produjeran las menores oscilaciones posibles. Previo al inicio de la sesión se calibró la galga usando un disco de 5 kg, de acuerdo con las directrices de fabricación. Las condiciones eran estandarizadas y monitorizadas usando información visual en tiempo real proporcionada por el software del fabricante para evitar alteraciones en la medida de pretensión inicial y en el contra movimiento.

Los participantes completaron la sesión realizando 2 contracciones isométricas máximas durante 4-5 segundos de cuádriceps con un descanso de 20 segundos entre las mismas y luego 2 series isométricas máximas de 4-5 segundos para isquiosurales con la pierna dominante. El mismo procedimiento se realizó con la pierna no dominante. Una vez finalizada esta primera parte con el primer evaluador, el sujeto descansó 3 minutos y realizó el mismo procedimiento con el evaluador número 2 para recopilar información sobre la fiabilidad intra- e inter- evaluador de la pierna dominante y no dominante. Los jugadores fueron instruidos para que realizaran la máxima contracción voluntaria y se les animó verbalmente a empujar o traccionar lo más fuerte posible tanto en cuádriceps

como en isquios. La sesión número 2 siguió el mismo procedimiento y se utilizó para conocer la fiabilidad intersesión. Se decretó como pierna dominante aquella pierna preferida por el sujeto para golpear el balón.



Figura 1. Sujeto situado en el banco en posición inicial.

2.4 Variables

Las medidas para la curva fuerza-tiempo se obtuvieron automáticamente utilizando el software para iOS (ChronoJump, 2.1.0, Barcelona, España). Los resultados de cada uno de los dos ensayos se utilizaron para el análisis intrasesion, mientras que el ensayo con los valores más altos fue utilizado para el análisis de fiabilidad test-retest. El software proporciona una señal en crudo (señal original) y ajustada (función monoexponencial inversa que se ajusta mejor a los datos brutos). Este hecho se consigue ajustando la $F_{\text{máx}}$ (fuerza máxima, MVC) y tau (tiempo necesario para alcanzar el 63,2% de la $F_{\text{máx}}$).

$$F = F_{\text{max}} \times (1 - e^{-(t/\tau)})$$

Las siguientes variables fueron calculadas:

- Contracción voluntaria máxima: fuerza isométrica instantánea máxima medida en Newtons (N).
- Rate of force development (RFD). Fue obtenida a través de la pendiente de la curva fuerza-tiempo ($\Delta\text{Force}/\Delta\text{time}$) expresada en $\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$. El pico de RFD instantáneo (RFDmax) fue la pendiente más alta de la curva. La RFD promedio se calculó durante tres períodos superpuestos en milisegundos para recopilar medidas en tres fases diferentes de la contracción: 0-50 ms (RFD 0-50), 0-150 ms (RFD 0-150) y 0-250 ms (RFD 0-250) (Courel-Ibañez et al., 2020).

2.5 Análisis Estadístico.

Todo el análisis de la fiabilidad fue realizado mediante una hoja de cálculo específica por pares, la cual se puede descargar en www.sportsci.org. Las medidas que aparecen en la hoja de cálculo son mejores estimaciones que los estadísticos de fiabilidad basados en ANOVA más habituales (Hopkins WG, 2015). Esta hoja permite medir la fiabilidad entre las variables de fuerza intrasesión e intersección mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el error estándar de medida (SEM). El coeficiente de correlación intraclase (ICC) ha sido calculado con un intervalo de confianza del 90% (CI), usando el ICC de efectos mixtos bidireccionales (2,1), (4,3) para las medidas intrasesión y los efectos aleatorios bidireccionales (3,1), (4,2) para las medidas intersección. El ICC fue interpretado como bajo (<0.5), moderado (0.5-0.79), bueno (0.79-0.90), y excelente (>0.90). Se utilizó un ICC superior a 0.75 como valor de corte para catalogar a este sistema como una prueba fiable (Moreno-Pérez et al., 2020). El error estándar de medida (SEM) en valores absolutos (N) y expresado como coeficiente de variación (%SEM) fue calculado para determinar la magnitud de variabilidad entre el test-retest. Un valor del %SEM <10% fue usado para considerar al banco portátil con la galga como un sistema con bajo error (Moreno-Pérez et al., 2020). También se calculó el mínimo cambio detectable (MDC) usando la fórmula: $MDC = SEM \cdot \sqrt{2} \cdot 1.96$ (Nevill & Atkinson, 1997).

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alahmad, T. A., Kearney, P., & Cahalan, R. (2020). Injury in elite women's soccer: a systematic review. *The Physician and sportsmedicine*, 48 (3), 259-265.
2. Courel-Ibáñez, J., Hernández-Belmonte, A., Cava-Martínez, A., & Pallarés, J. G. (2020). Familiarization and Reliability of the Isometric Knee Extension Test for Rapid Force Production Assessment. *Applied Sciences*, 10 (13), 4499.
3. Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 36 (8), 1469-1475.
4. Del Coso, J., Herrero, H., & Salinero, J. J. (2018). Injuries in Spanish female soccer players. *Journal of sport and health science*, 7 (2), 183-190.
5. Fíltter, A., Olivares, J., Santalla, A., Nakamura, F. Y., Loturco, I., & Requena, B. (2020). New curve sprint test for soccer players: Reliability and relationship with linear sprint. *Journal of sports sciences*, 38 (11-12), 1320-1325.
6. Hopkins WG (2015). Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience* 19, 36-42 (sportsci.org/2015/ValidRely.htm)
7. Larruskain, J., Lekue, J. A., Diaz, N., Odriozola, A., & Gil, S. M. (2018). A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28 (1), 237-245.
8. Mau-Moeller, A., Gube, M., Felser, S., Feldhege, F., Weippert, M., Husmann, F., ... & Behrens, M. (2019). Intrarater reliability of muscle strength and hamstring to quadriceps strength imbalance ratios during concentric, isometric, and eccentric maximal voluntary contractions using the isoforce dynamometer. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 29 (1), 69-77.
9. Myer, G. D., Ford, K. R., Foss, K. D. B., Liu, C., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2009). The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clinical journal of sport medicine*, 19 (1), 3-8.
10. Moreno-Perez, V., Barbado-Murillo, D., Juan-Recio, C., Quesada-de-la-Gala, C. M., & Vera-Garcia, F. J. (2013). The use of isokinetic dynamometry to establish

- risk profiles of hamstring injury in professional football players. *RICYDE-REVISTA INTERNACIONAL DE CIENCIAS DEL DEPORTE*, 9 (34), 333-341.
11. Moreno-Pérez, V., Beato, M., Del Coso, J., Hernández-Davó, J. L., Sole, A., Peñaranda-Moraga, M., ... & Romero-Rodriguez, D. (2021). Intra and inter-tester reliability of a novel device to assess gluteal muscle strength in professional football players. *Research in Sports Medicine*, 1-13.
 12. Nevill, A. M., & Atkinson, G. (1997). Assessing agreement between measurements recorded on a ratio scale in sports medicine and sports science. *British Journal of Sports Medicine*, 31 (4), 314–318. <https://doi.org/10.1136/bjism.31.4.314>
 13. Nielsen, J. L., Arp, K., Villadsen, M. L., Christensen, S. S., & Aagaard, P. (2020). Rate of Force Development Remains Reduced in the Knee Flexors 3 to 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Medial Hamstring Autografts: A Cross-Sectional Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 48 (13), 3214-3223.
 14. Risberg, M. A., Steffen, K., Nilstad, A., Myklebust, G., Kristianslund, E., Moltubakk, M. M., & Krosshaug, T. (2018). Normative quadriceps and hamstring muscle strength values for female, healthy, elite handball and football players. *Journal of strength and conditioning research*, 32 (8), 2314.
 15. Rosene, J. M., Fogarty, T. D., & Mahaffey, B. L. (2001). Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *Journal of athletic training*, 36 (4), 378.
 16. Sarmiento, H., Anguera, M. T., Pereira, A., & Araújo, D. (2018). Talent identification and development in male football: A systematic review. *Sports Medicine*, 48 (4), 907-931.
 17. Sutton, K. M., & Bullock, J. M. (2013). Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 21 (1), 41-50.
 18. Turpeinen, J. T., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J. Á., Jordan, M. J., & Aagaard, P. (2020). Contractile rate of force development after anterior cruciate ligament reconstruction—a comprehensive review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30 (9), 1572-1585.