

Carrasco, L.; Espinar, J.; Carbonell, F.J.; Martínez-Díaz, I.C. (202x) Local and General Fatigue: Effects on Knee Proprioception in Soccer Players. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. x (x) pp.xx Pendiente de publicación / In press.

ORIGINAL

FATIGA LOCAL Y GENERAL: EFECTOS SOBRE LA PROPIOCEPCIÓN DE RODILLA EN FUTBOLISTAS

LOCAL AND GENERAL FATIGUE: EFFECTS ON KNEE PROPRIOCEPTION IN SOCCER PLAYERS

Carrasco, L.¹; Espinar, J.²; Carbonell, F.J.³ y Martínez-Díaz, I.C.¹

¹ Profesores del Departamento de Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla (España) lcarrasco@us.es, martinezdiaz@us.es

² Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Sevilla Fútbol Club, S.A.D. Área de Preparación Física (España) juanespinar96@hotmail.com

³ Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Departamento de Educación Física y Deporte, Universidad de Sevilla (España) francarbonel1996@gmail.com

Código UNESCO / UNESCO code: 241118 Fisiología del Movimiento / Physiology of movement

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification: 14: Fisioterapia y rehabilitación / Physiotherapy and rehabilitation.

Recibido 29 de julio de 2019 **Received** July 29, 2019

Aceptado 1 de mayo de 2020 **Accepted** May 1, 2020

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue contrastar los efectos de dos tipos de fatiga, local y general, sobre la propiocepción de la rodilla. 22 jugadores semi-profesionales de fútbol, fueron evaluados en un dinamómetro isocinético antes y después de realizar esfuerzos que indujeron fatiga muscular local así como fatiga general. Dicha evaluación se basó en la prueba de reposicionamiento angular activo de la rodilla, registrando las desviaciones absolutas y relativas respecto al ángulo diana (30° de flexión). La inducción de ambos tipos de fatiga consiguió alterar de forma significativa la capacidad propioceptiva de los sujetos tras valorar únicamente el error absoluto, si bien no se observaron diferencias significativas en su contraste. En conclusión, e independientemente de su tipología, la fatiga inducida a estos futbolistas parece influir sobre la propiocepción de sus rodillas, aunque este efecto está condicionado por el tipo de error angular que se considere.

PALABRAS CLAVE: propiocepción, test de reposicionamiento, fatiga, rodilla, fútbol.

ABSTRACT

The aim of this study was to contrast the effects of two different types of fatigue, local and general, on knee proprioception. Twenty two male amateur soccer players were evaluated on isokinetic dynamometer before and after exercise-induced both local and general fatigue. This evaluation consisted of an active knee repositioning test, in which mean absolute and relative deviations regarding target angle (30° knee flexion) were assessed. The proprioceptive capacity of the subjects was affected by induction of both types of fatigue only when mean absolute error was estimated; however, no statistical differences were found between them. In conclusion, and regardless of their type, fatigue induced to these players seems to influence the proprioception of the knees although this effect is dependent on the type of angular error that is considered.

KEYWORDS: proprioception, joint repositioning test, fatigue, knee, soccer.

1 INTRODUCCIÓN

El fútbol se caracteriza por ser un deporte de contacto que implica constantes esfuerzos de alta intensidad, acciones de habilidad con el balón, movimientos explosivos y disputas con el adversario, entre otras acciones. La combinación de éstos y otros factores externos, hacen que los jugadores estén expuestos constantemente y de manera inevitable a un alto riesgo lesional (Adalid, 2014). De hecho, la aparición de lesiones en el fútbol es un aspecto que preocupa cada vez más tanto a los propios futbolistas como a los clubes deportivos por muy diversos factores; el tiempo de inactividad deportiva (cada jugador pierde un promedio de 35 entrenamientos y de 4 a 8 partidos al año debido a las lesiones), la pérdida de las capacidades físicas debido a la inactividad, las pérdidas económicas (las cifras en el fútbol profesional alcanzan un promedio de 144.000 euros por jugador y 3.587.000 euros por plantilla en una temporada) o los posibles miedos al enfrentarse a situaciones futuras parecidas a las que produjeron la lesión (Ortega, Argemí, Batista, García y Liota, 2006). Por ello, son cada vez más los estudios que se centran en técnicas y procedimientos de prevención y readaptación de lesiones con el fin de minimizar la influencia de todos estos factores que perjudican esta práctica deportiva.

En cualquier caso, de las regiones anatómicas más afectadas por las lesiones, parece que la articulación del tobillo es la que registra una mayor incidencia lesional (20,4% del total de lesiones de la temporada), seguida de la rodilla (17,7%) y del muslo (14,5%). A pesar de ello, algunos autores defienden que la mayor parte de las lesiones en el fútbol se localizan en la articulación de la rodilla (Llana, Pérez y Lledó, 2010) y que éstas son las que revisten mayor gravedad, por lo que el período de inhabilitación puede ser mayor (Peterson, Junge, Chomiak, Graf-Baumann y Dvorak, 2000).

En cuanto a su etiología, las lesiones que afectan a la articulación de la rodilla se vinculan tanto con factores de riesgo intrínsecos (lesiones previas, rehabilitación inadecuada, capacidades condicionales y técnicas, genética,

morfología, nivel deportivo y factores psicológicos) como con factores de riesgo extrínsecos (climatología, superficie de juego, equipamiento deportivo, etc.). Además, las alteraciones o déficits en el sistema sensoriomotor, en el control postural, en la activación muscular, en los mecanismos de anticipación y alteraciones, en general, en la capacidad propioceptiva son otros factores de consideración (Fort y Romero, 2013).

La propiocepción es la parte del sistema somatosensorial encargada de obtener información sensitiva y enviarla al sistema nervioso central (SNC) a fin de controlar el estado de diferentes segmentos corporales en relación a otros (Biedert, 2000). Así, no es de extrañar que el entrenamiento propioceptivo se incluya cada vez más en los trabajos preventivos y de rehabilitación de lesiones en fútbol.

No obstante, uno de los factores que pueden afectar directamente a la capacidad propioceptiva de los futbolistas y, por ende, aumentar el riesgo lesional es la fatiga. De hecho, un buen número de lesiones articulares y musculares ocurren cerca de la finalización del partido o competición, especialmente en los miembros inferiores (Augustsson et al., 2006; Bazneshin, Amiri, Jamshidi y Vasaghi-Gharamaleki, 2015). En sentido, estudios previos han mostrado cierta controversia, pues si bien algunas investigaciones han constatado una alteración de la propiocepción debida a la fatiga (Vuillerme y Boisgontier, 2008; Bayramoglu, Toprak y Sozay, 2007), otras no han hallado dicho efecto (Gurney, Milani y Pedersen, 2000; South y George, 2007; Miura et al., 2004). El estudio de diferentes poblaciones (con diferente nivel de entrenamiento), el análisis de diferentes articulaciones (principalmente rodilla y tobillo), la aplicación de diferentes formas de fatiga y el uso de diferentes pruebas de evaluación de la capacidad propioceptiva podrían justificar la discrepancia entre los resultados hasta ahora obtenidos (Bazneshin et al., 2015). En este caso, la fatiga experimentada por los jugadores de fútbol en su actividad deportiva es tanto general, afectando a diferentes sistemas orgánicos, como local, incidiendo en los músculos de los miembros inferiores, ya que son éstos los más solicitados en dicha práctica. Por otro lado, en la evaluación propioceptiva pueden utilizarse diferentes pruebas, entre las que destacan el umbral de detección de movimiento pasivo, la prueba de sensación de tensión y la reproducción angular activa (Torres, Vasques, Duarte y Cabri, 2010). Estas pruebas evalúan diferentes ámbitos de la propiocepción, pues atienden al posicionamiento articular o a la propia activación muscular, pudiéndose efectuar, además, de forma pasiva o activa.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, parece lógico que los resultados hallados en investigaciones previas resulten ciertamente contradictorios, no permitiendo alcanzar conclusiones válidas. Es el caso del estudio realizado por Bazneshin et al. (2015) quienes analizaron en jóvenes sanos el efecto de la fatiga muscular local (cuádriceps) sobre la propiocepción de la rodilla a través de la prueba de reposicionamiento (ángulo diana: 45°). Tras administrar el protocolo de fatiga, estos autores observaron importantes desviaciones respecto al ángulo diana (aumentos en el error absoluto y constante). En esta misma línea, Torres et al. (2010) observaron cómo la capacidad de reproducir ciertas posiciones angulares en la rodilla (30° y 70°) se vio disminuida durante 48 h después de

aplicar un protocolo de fatiga que sometió al cuádriceps con múltiples activaciones excéntricas hasta el agotamiento. En otro estudio de características similares a los anteriores, pero en el que se evaluó a personas mayores, Ribeiro, Mota y Oliveira (2007), observaron una alteración de la propiocepción de la rodilla tras un esfuerzo que indujo fatiga muscular local, lo que se tradujo en un aumento significativo del error angular absoluto en la prueba de reposicionamiento angular. Más recientemente, Allison, Sell, Benjaminse y Lephart (2016), tras la aplicación de un esfuerzo conducente a provocar fatiga muscular local no observaron ninguna alteración significativa en la capacidad propioceptiva de sujetos sanos sobre sus rodillas al evaluar la sensación de tensión de los músculos vinculados a esta articulación. Por su parte, Miura et al. (2004) compararon los efectos de la fatiga muscular local y de la fatiga general sobre la propiocepción de la rodilla en un grupo de sujetos sanos. La inducción de fatiga local, utilizando sucesivas flexo-extensiones de rodilla bajo una activación isocinética máxima, no produjo alteraciones significativas en la capacidad de reposicionamiento articular tras medir el error angular absoluto; no obstante, los sujetos experimentaron un aumento en dicho error tras correr durante 5 minutos en tapiz rodante (fatiga general).

De cualquier forma, las investigaciones efectuadas con población activa o deportista son más reducidas en número. Así, son dos los estudios que han centrado su atención en la práctica del fútbol. Carrasco, Nadal y Rodríguez (2005), evaluaron a un grupo de futbolistas semi-profesionales tras someterlos a un protocolo de fatiga muscular local, no encontrando ningún efecto sobre el reposicionamiento angular de sus rodillas. Por último, Salgado, Ribeiro y Oliveira (2015), estudiaron los efectos de la fatiga muscular general (la provocada por la participación completa en un partido de fútbol) sobre la propiocepción de la rodilla. Tras el esfuerzo, los futbolistas semi-profesionales evaluados mostraron una alteración significativa en su capacidad de reposicionamiento angular en dicha articulación.

Así, y considerando, por una parte, que la rodilla y los músculos que a ella se vinculan son las estructuras más solicitadas en la práctica del fútbol, siendo, a la vez, las que mayor incidencia lesional presentan, y teniendo en cuenta, por otro lado, la controversia existente en los resultados que se han obtenido en los estudios efectuados hasta el momento, el objetivo del presente estudio fue aclarar si la fatiga, bien de carácter general o local, altera la capacidad propioceptiva de la rodilla en futbolistas.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 PARTICIPANTES

Un total de 22 jugadores semi-profesionales de fútbol participaron voluntariamente en el estudio. Las características de estos sujetos se resumen en la Tabla 1. Los sujetos no padecían lesiones en el momento de ser evaluados y no mostraron enfermedades ni antecedentes lesionales o quirúrgicos que pudieran comprometer su participación en el estudio. Se excluyeron los sujetos con antecedentes de lesiones en las extremidades inferiores en los últimos 6 meses y se les informó la necesidad de no realizar ejercicio físico 48 h antes de

su participación en la investigación. En todo caso, los sujetos firmaron el correspondiente consentimiento después de que fueran completamente informados sobre las características y las pretensiones del estudio, cuyo protocolo, ajustado a lo dispuesto en la Declaración de Helsinki de 1964 y posteriores, fue examinado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Sevilla.

Tabla 1. Características generales de los participantes

	Valores media (dt)
Edad (años)	24 (2,7)
Estatura (cm)	179 (5,4)
Masa Corporal (kg)	77,1 (12,7)
Índice de masa corporal (kg/m ²)	23,8 (3,7)
Experiencia (años)	15,8 (2,2)
Volumen de entrenamiento al año (h)	261,9 (74,3)

3.2 PROCEDIMIENTO

En esta investigación se empleó un diseño de estudio cruzado y aleatorizado en el que los sujetos participantes fueron sometidos a dos protocolos diferentes de fatiga (local y general), siendo evaluada su capacidad propioceptiva relacionada con la articulación de la rodilla tanto antes como después de la aplicación de dichos protocolos. Esta evaluación consistió en la prueba de reposicionamiento angular activo en cadena cinética abierta utilizando el dinamómetro isocinético Biodex System 4 Pro (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA), que fue calibrado antes de cada sesión según las indicaciones del fabricante. Teniendo en cuenta la mecánica lesional más frecuente, el movimiento escogido fue el de extensión de la rodilla a lo largo de un rango articular de 90° (inicio con el sujeto en sedestación y con la rodilla flexionada 90° y final con la rodilla completamente extendida -0°-), mientras que el ángulo diana se estableció en 30° de flexión. En aras de ajustar los segmentos de cada sujeto con el rotor y la palanca del dinamómetro, se hizo coincidir en altura el cóndilo femoral lateral de la pierna evaluada con el centro de giro del rotor, colocándose la sujeción de la palanca en su parte inferior 3 cm por encima del maléolo tibial de dicha pierna. Además, se limitó la información visual de los sujetos con una antifaz colocado sobre los ojos y se eliminó la intervención de otros segmentos o grupos musculares utilizando las sujeciones propias del dispositivo y manteniendo los brazos cruzados sobre el pecho (Figura 1).

De forma previa a la aplicación de los protocolos de fatiga, y con el sujeto sentado sobre el dinamómetro, el examinador movió la pierna dominante del sujeto hasta alcanzar el ángulo diana (30° de flexión), momento en el que el dispositivo se bloqueaba para permitir al sujeto mantener la posición durante 5 s. Una vez recuperada la posición inicial, el sujeto extendía nuevamente su rodilla deteniendo el movimiento en la posición o ángulo que, según su estimación, coincidía con la diana. En este instante, el examinador bloqueaba nuevamente el dispositivo para registrar el resultado obtenido en cada intento. Este proceso se repitió tantas veces como fue necesario hasta que el sujeto

acumuló tres repeticiones consecutivas en las que el promedio del error absoluto fue inferior a 1°.

Atendiendo al diseño de investigación propuesto, y con el propósito de evitar cualquier efecto derivado del orden de participación y de aplicación del protocolo de fatiga (local o general), la asignación de cada una de las pruebas a realizar por cada sujeto se estableció de forma aleatoria usando el programa *Randomization* (www.randomization.com). En cualquier caso, e independientemente del protocolo de fatiga asignado a cada sujeto, la primera visita al laboratorio también sirvió para recabar diferentes datos personales y otra información relacionada con su práctica deportiva. Además, los sujetos fueron objeto de un análisis de su composición corporal por medio de impedancia bioeléctrica (TANITA BIOLÓGICA BC-418 MA; *Easy Software* 8.0.0.980).

La evaluación de la capacidad propioceptiva tras la inducción de fatiga se aplicó justo al finalizar ambos protocolos. Con el sujeto sentado sobre el dinamómetro, respetando todas las referencias individuales registradas en situación de pre-fatiga, y según la posición inicial descrita anteriormente (90° de flexión de rodilla), se pidió al sujeto que extendiera su rodilla hasta situarla en el ángulo diana concreto. Una vez el sujeto estimaba que había alcanzado la posición, detenía la acción y se procedía a bloquear el dinamómetro para registrar el ángulo adoptado, volviendo a realizar este proceso dos veces más. La diferencia entre el ángulo diana y el ángulo dispuesto por el sujeto en situación de fatiga sin tener en cuenta el sentido del error, fue considerado como error absoluto, mientras que el error relativo, otra de las variables del estudio, sí tuvo en cuenta el sentido de dicho error (positivo si se excedió el ángulo diana y negativo si no se alcanzó). Asimismo, se evaluó el error variable, definido como la desviación típica de la media de los errores relativos (intrasujeto). Dado que estas variables se registraron por triplicado y de forma consecutiva, se utilizó, en cada caso, el valor promedio.

3.2.1 PROTOCOLO DE INDUCCIÓN DE FATIGA LOCAL

El protocolo de inducción de fatiga local consistió en tres fases. La primera de ellas, de activación, consistió en pedalear durante 5 minutos sobre cicloergómetro (Ergoselect 200) frente a una resistencia de 70 W. A continuación, y con el sujeto colocado sobre el dinamómetro isocinético según se ha indicado con anterioridad, se determinó el torque pico del cuádriceps de la pierna dominante bajo activación concéntrica a una velocidad de 240°/s (movimiento de extensión de rodilla sobre el dinamómetro isocinético). Para ello, los sujetos realizaron cinco repeticiones máximas, siendo el torque pico el máximo valor alcanzado en todas ellas (N/m). Tras 10 minutos de reposo, y una vez constatada la estabilización del reposicionamiento angular de la rodilla, se procedió a inducir fatiga muscular local (tercera fase) en la pierna dominante del sujeto. Para ello, nuevamente en el dinamómetro isocinético, y desde la posición inicial, los sujetos realizaron sucesivos movimientos de extensión y flexión de su pierna dominante (240°/s) hasta que el valor del torque del cuádriceps fuese inferior al 50% respecto al máximo obtenido anteriormente.

3.2.2 PROTOCOLO DE INDUCCIÓN DE FATIGA GENERAL

Este protocolo se llevó a cabo en tapiz rodante H/P COSMOS, 170-190/65/Pulsar. Tras la estabilización del reposicionamiento angular de la rodilla, Los sujetos realizaron una carrera continua de intensidad variable sobre dicho ergómetro (10 minutos a 10 km/h, 5 minutos a 15 km/h, 5 minutos 12 km/h, 5 minutos a 15 km/h, 5 minutos a 12 km/h y así sucesivamente hasta producir la claudicación o abandono por parte del sujeto), monitorizando constantemente su frecuencia cardiaca con un pulsómetro Polar RCX5 y registrando la percepción subjetiva del esfuerzo a través de la escala de Borg (6-20).



Figura 1. Visión frontal de la posición adoptada en el dinamómetro.

El resumen de todo el procedimiento desarrollado en el estudio se recoge en la Figura 2.

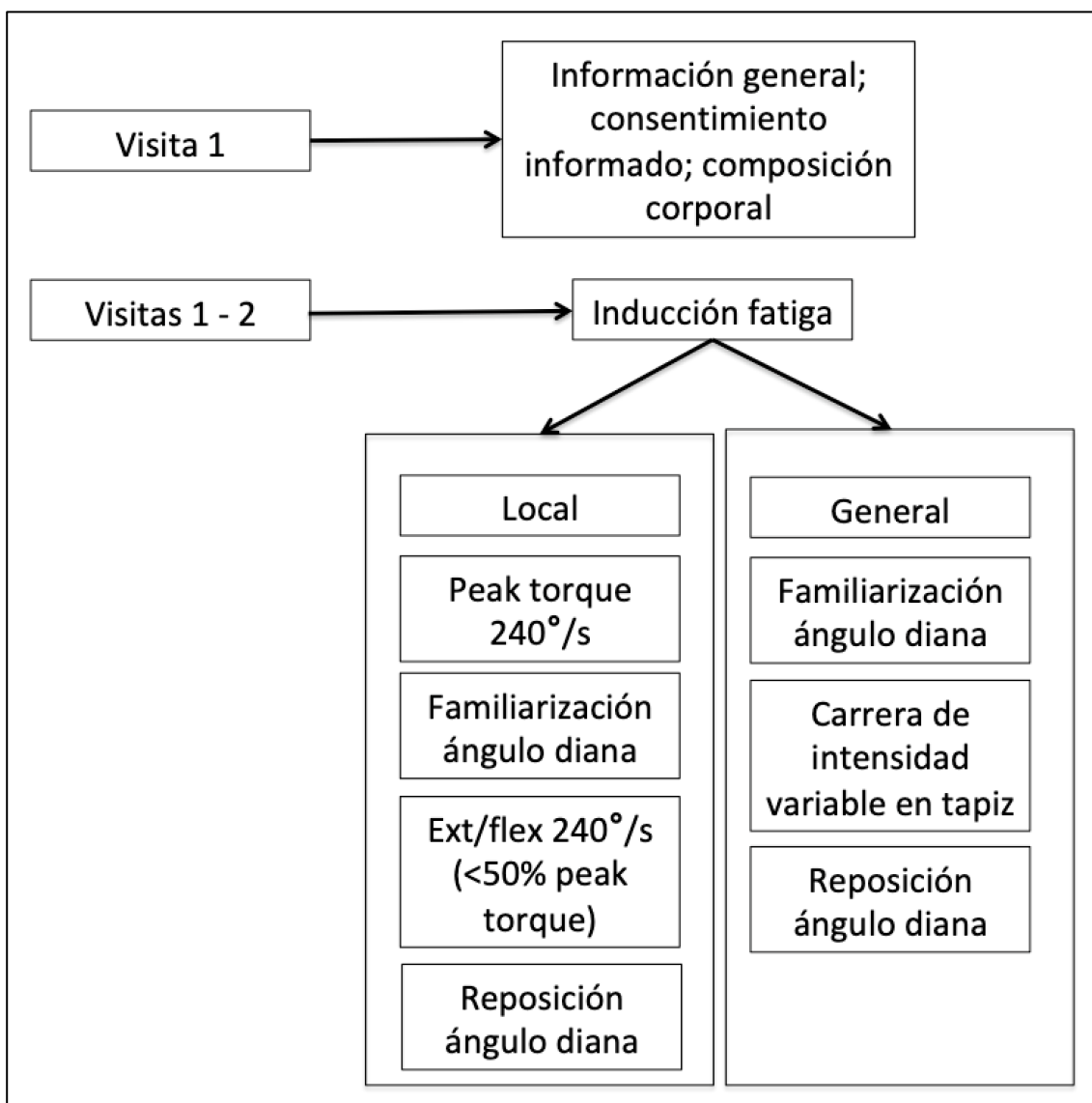


Figura 2. Esquema resumen del diseño y procedimiento de la investigación.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el presente trabajo se utilizó el programa SPSS V.24 (IBM ®) para el análisis estadístico. Todos los datos se expresan como media \pm desviación estándar. Se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov sobre todas las variables, constatando que éstas se ajustaban a una distribución de tipo normal. Bajo esta premisa, se aplicó la prueba T para una muestra a fin de valorar, de forma genérica, el efecto de ambos tipos de fatiga sobre la capacidad de reposicionamiento articular respecto al ángulo diana (error absoluto). Por otro lado, se llevó a cabo la prueba T para dos muestras independientes a fin de contrastar los efectos de los dos tipos de fatiga (errores absoluto, relativo y variable) y otro de medidas repetidas teniendo en cuenta como factor principal los tipos de fatiga, bien local o bien general, utilizando el error relativo obtenido en las tres evaluaciones post-fatiga como principales variables dependientes. En cualquier caso, se estableció un intervalo de confianza del 95% asumiendo diferencias significativas con valores de $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 INDUCCIÓN DE FATIGA LOCAL Y GENERAL

La fatiga local se indujo a partir de repetidas acciones de extensión y flexión de rodilla en el dinamómetro isocinético (240°/s) hasta que el torque desarrollado por los sujetos en la acción de extensión (cuádriceps) cayó por debajo del 50% del valor máximo evaluado con anterioridad (149,8 ± 33,4 N·m). En referencia a la fatiga general, ésta fue inducida a través de un protocolo de ejercicio continuo y variable en tapiz rodante. Los sujetos llevaron a cabo dicha prueba hasta su claudicación, momento en el cual se procedía a la evaluación de la propiocepción. De esta forma, se recogieron los siguientes datos referentes a la prueba de fatiga general (media ± desviación típica: FC máxima alcanzada en la prueba: 183,6 ± 19,1 pulsaciones por minuto; valor porcentual de la FC alcanzada en la prueba con respecto a la FC máxima teórica del sujeto: 95,5 ± 6,9 %; duración de la prueba: 20,1 ± 3,8 minutos; RPE al final de la prueba: 19 ± 2,4 puntos).

4.2 REPOSICIÓN ANGULAR DE LA RODILLA EN SITUACIÓN DE FATIGA

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en relación al error absoluto, error relativo y error variable derivados, a su vez, de la aplicación de la prueba de reposicionamiento angular activo en las dos situaciones de fatiga consideradas.

Tabla 2. Errores absolutos, relativos y variables (promedio) resultantes de la prueba de reposicionamiento angular activa (ángulo diana: 30°) tras la inducción de ambos tipos de fatiga. dt= desviación típica.

	Fatiga local			Fatiga general		
	Error absoluto	Error relativo	Error variable	Error absoluto	Error relativo	Error variable
Media	3,1	1,6	2,7	4,4	1,6	1,9
dt	2,3	3,6	1,1	2,3	4,9	1,2

Teniendo en cuenta el ángulo diana propuesto (30°), e independientemente del tipo de fatiga impuesto, la prueba T para una muestra no mostró diferencias significativas en el error relativo promedio ($t = 1,526$, $p = 0,155$ para la fatiga local; $t = 1,159$, $p = 0,271$ para la fatiga general); por el contrario, en el caso del error absoluto promedio sí se observaron estas diferencias ($t = 4,688$, $p = 0,001$ para la fatiga local; $t = 6,537$, $p \leq 0,001$ para la fatiga general).

Del contraste entre los dos tipos de fatiga se desprende que ambos provocaron errores muy parecidos en el reposicionamiento angular, pues no se dieron diferencias significativas en el error absoluto ($t = -1,340$, $p = 0,194$), relativo ($t = -0,014$, $p = 0,989$) y variable ($t = 1,778$, $p = 0,90$). Además, la ausencia de diferencias en este último tipo de error apunta a que la variabilidad observada en las respuestas de los sujetos fue independiente de las dos situaciones a las que fueron expuestos (fatiga local y general).

Al hilo de lo anterior, otros resultados de interés indican que ambos tipos de fatiga provocaron ya no solo un error relativo de similar magnitud, sino también de un mismo sentido. Considerando el ángulo diana a fijar en la rodilla (30° de flexión), la posición de partida (90° grados de flexión) y que los sujetos trataron colocar sus rodillas en el ángulo diana a través de un movimiento voluntario de extensión, el valor positivo de los errores relativos promedio apunta a que los sujetos sobrepasaron el ángulo diana acercándose más a la completa extensión de sus rodillas.

Por último, y aunque el tipo de fatiga parece condicionar el efecto del tiempo y/o del número de evaluaciones efectuadas tras el esfuerzo (los errores absoluto y relativo tienden a disminuir tras la inducción la fatiga local mientras que se mantienen o aumentan con la fatiga general), no se obtuvieron diferencias significativas al respecto (Figura 3).

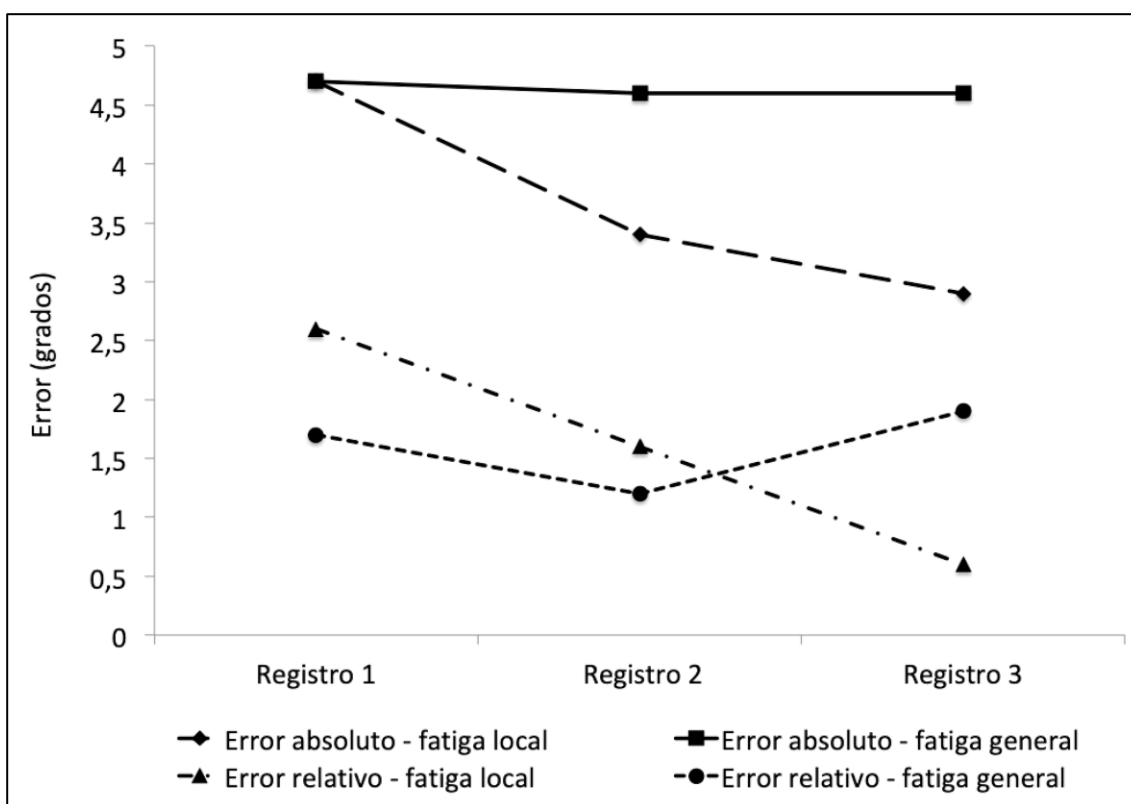


Figura 3. Errores en el reposicionamiento angular de la rodilla

5 DISCUSIÓN

El principal objetivo de este estudio fue comprobar si la fatiga relacionada con el ejercicio puede afectar a la capacidad propioceptiva de la rodilla en jugadores de fútbol, diferenciando, al mismo tiempo, qué tipo de fatiga (local o general) es que podría causar una mayor afectación sobre dicha capacidad.

La evaluación de la capacidad propioceptiva en los jugadores de fútbol participantes en el estudio se aplicó a través de la prueba de reposicionamiento articular activo, en su variante de cadena cinética abierta sobre un ángulo diana (30° de flexión) que fue determinado previamente de forma pasiva (Ribeiro et al.,

2007) en la pierna dominante de estos sujetos. La utilidad de esta prueba se basa en su fiabilidad, que ha sido constatada previamente con las variables utilizadas en el presente estudio (error relativo promedio, error absoluto promedio y error variable; Salgado et al., 2015).

En cualquier caso, los resultados obtenidos en el estudio muestran cómo la fatiga, independientemente de su tipología, afecta a la reposición del ángulo diana en la articulación de la rodilla de los jugadores de fútbol evaluados. No obstante, es importante considerar que dicho efecto ha sido únicamente observado a través del error absoluto promedio, no apreciando tal afectación cuando es considerado el error relativo promedio. Esta circunstancia es de gran trascendencia, pues tomar como principal variable uno u otro tipo de error podría significar obtener resultados diametralmente opuestos. Tal es así que, al igual que en el presente estudio, investigaciones recientes han valorado ambos tipos de error al evaluar los reposicionamientos articulares. Éste es el caso de los estudios desarrollados por Bazneshin et al. (2015) y Salgado et al. (2015). Al igual que ocurriera en estos trabajos previos, el error absoluto promedio registrado en el presente estudio adquirió valores superiores a los alcanzados por el error relativo promedio, si bien este último presentó una mayor dispersión dada la bidireccionalidad que le caracteriza.

Sin olvidar lo anterior, no parece que uno u otro tipo de fatiga (local o general) afecte en mayor medida a la capacidad propioceptiva de estos sujetos ya que, independientemente del tipo de error sometido a contraste, no se observaron diferencias significativas al comparar los efectos de los dos tipos de fatiga inducidos. Así, nuestro estudio coincide, aunque parcialmente, con el estudio desarrollado por Torres et al. (2010), en el que se constató una disminución de la capacidad propioceptiva necesaria para un correcto reposicionamiento de la rodilla tras la inducción de fatiga muscular local (repetidas activaciones excéntricas del cuádriceps hasta el agotamiento). Además, cabe resaltar que dicha capacidad propioceptiva se mantuvo alterada hasta 48 h después de la inducción de fatiga. Esta alteración propioceptiva también fue observada por Ribeiro et al., (2007), quienes observaron una alteración de la propiocepción de la rodilla tras aplicar un esfuerzo inductor de fatiga local y valorar el error angular absoluto.

Sin embargo, nuestros resultados difieren, en cierta medida, con los obtenidos por Miura et al., (2004), quienes no encontraron ningún efecto de la fatiga local (cuádriceps) sobre la propiocepción de la rodilla que sí se vio afectada con la fatiga general (5 minutos de carrera intensa sobre tapiz rodante). La falta de un criterio objetivo para certificar el estado de fatiga, así como la elección de un ángulo aleatorio entre 10 y 80° dificultan la comparativa. En este último caso, el establecimiento de determinados ángulos diana (cerca de los límites de este intervalo) implica que la información propioceptiva generada por los ligamentos jueguen un rol crucial en la acción de reposicionamiento activa, pudiendo compensar, en cierta forma, la fatiga muscular que pudiera afectar directamente a otras zonas del cuádriceps. Al margen de este último estudio, Carrasco et al. (2005) no encontraron diferencias significativas al comparar la desviación provocada por la fatiga local (protocolo de inducción de fatiga similar al aquí aplicado) con la registrada de forma previa en el reposicionamiento angular de

la rodilla. También en esta línea se encuentran los resultados obtenidos por Allison et al. (2016), quienes, en lugar de analizar el efecto de la fatiga muscular local sobre la capacidad propioceptiva de la rodilla con la prueba de reposicionamiento angular, analizaron la sensación de tensión de los músculos vinculados a esta articulación.

Los efectos de la fatiga local parecen tener como objetivo los husos musculares. Según Torres et al. (2010) sus fibras intrafusales generan una señal aferente distorsionada que compromete el reposicionamiento posterior en un determinado ángulo diana. Además, según estos autores, los mecanorreceptores ubicados en el tendón (órgano de Golgi) también podrían modificar del mismo modo su señal aferente, provocando un procesamiento de información propioceptiva errónea. En la misma línea se sitúan Forestier, Teasdale y Nougier (2002), quienes afirman que la fatiga muscular local activa los receptores de dolor a partir del aumento en la concentración de metabolitos producto de un elevado metabolismo muscular. Estos metabolitos afectan también al patrón de descarga de los husos musculares, resultando en un aumento de su umbral excitatorio, lo cual conlleva una reducción de la señal aferente (Sogaard, Gandevia, Todd, Petersen y Taylor, 2006). De hecho, se ha llegado a señalar que la falta de precisión en el reposicionamiento angular en situación de fatiga muscular aguda podría estar originada tanto por la reducción de la sensibilidad como de la señal emitida por fibras aferentes de los grupos III y IV (Yaggie y Armstrong, 2004).

Por otra parte, y en relación con los efectos de la fatiga general, nuestros resultados, expresados a través del error absoluto promedio, coinciden con los que reportan otras investigaciones previas. Entre ellas destaca la desarrollada por Miura et al. (2004) quienes observaron una disminución de la capacidad de reposicionamiento articular tras un esfuerzo intenso de carrera en tapiz rodante. No obstante, uno de los estudios de mayor especificidad fue el realizado por Salgado et al. (2015), quienes evaluaron la capacidad propioceptiva sobre la articulación de la rodilla en futbolistas tras su participación en un partido de fútbol. Expuestos a una fatiga mayormente general, los errores tanto absoluto como relativo aumentaron de forma significativa en la reposición angular de rodilla. Además, en el presente estudio, se registró un efecto del protocolo de inducción de fatiga general sobre el error absoluto que no se observó en el resto de errores y tampoco en el caso de la fatiga local (Figura 3). Dicho efecto implica una mayor distorsión de la capacidad de reposición articular (error absoluto) que se mantuvo, además, a lo largo de las tres evaluaciones practicadas después de inducir la fatiga a los sujetos participantes en el estudio. Bajo esta consideración, podría especularse que la fatiga general podría afectar en mayor medida a la capacidad propioceptiva que la fatiga local. Sin embargo, son varias las limitaciones que podrían comprometer esta afirmación, pues diferencias en el protocolo utilizado para inducir fatiga general (intensidad, duración, tipo de ejercicio...) así como el uso o no de criterios válidos para verificar el estado de fatiga conseguido dificultan la comparativa entre investigaciones y la puesta en común de sus resultados y conclusiones. En este sentido, y a diferencia de los estudios anteriores, en este estudio se aplicó una prueba de carácter continuo (carrera sobre tapiz rodante) de intensidad variable hasta el agotamiento; además, dicho estado de fatiga pudo constatarse a través de la FC alcanzada

en la prueba (95% sobre la FC máxima teórica) y una puntuación promedio de 19 puntos en la escala clásica de Borg (puntuación máxima: 20 puntos). Aunque este protocolo, con un promedio de 20 minutos de duración, no resulte tan específico como el planteado por Salgado et al. (2015), permite valorar a todos los sujetos de forma homogénea, pues el esfuerzo desarrollado así como el nivel de fatiga alcanzado de forma individual fue similar, lo cual es difícil de conseguir con un partido de fútbol, donde no todos los jugadores tienen la misma implicación y/o se ejercitan y fatigan de igual forma. En cualquier caso, y de forma complementaria al efecto de la fatiga local, la fatiga general puede alterar otros mecanismos en el procesamiento de la información propioceptiva a nivel del sistema nervioso central más que interferir en la señal aferente de origen muscular. En este sentido, esfuerzos de carácter máximo, como el aplicado en este estudio, son proclives a la inducción de fatiga central, que, a su vez, reduce la precisión en el control motor y la eficiencia del movimiento, lo cual puede comprometer la estabilidad de articulaciones como la rodilla (Miura et al., 2004; Salgado et al., 2015). Así, Hiemstra, Lo y Fowler (2001) afirman que la disminución experimentada en la capacidad propioceptiva tras la inducción de fatiga general (sin que exista una afectación muscular concreta) puede ser debida a una deficiencia en el procesamiento de la información propioceptiva, es decir, a causa de la denominada fatiga central. Sin embargo, en opinión de Allen, Leung y Proske (2010), los efectos vinculados a la fatiga muscular local (periféricos) también pueden ejercer su influencia sobre la propiocepción a nivel central; no obstante, resulta difícil concretar, en este caso, qué factores pueden tener un mayor peso específico en la alteración de la capacidad de reposicionamiento articular (Abd-Elfattah, Abdelazeimb y Elshennawy, 2015; Salgado et al. 2015).

En relación con la dirección o sentido del reposicionamiento articular (valor adquirido por el error relativo promedio), e independientemente del tipo de fatiga aplicada, los resultados del presente estudio difieren con gran parte de las investigaciones realizadas con anterioridad. En dichos trabajos se registraron valores negativos en dicho error, lo que se traduce en posiciones más cercanas a la flexión completa de la rodilla (tras la inducción de fatiga los sujetos no alcanzaron el ángulo diana propuesto; Allen et al., 2010; Givoni, Pham, Allen, Proske, Salgado et al., 2015). Algunos de estos autores responsabilizan a la fatiga muscular local, más en concreto, a la experimentada por los músculos flexores de la rodilla, como factor decisivo en el sentido del error relativo promedio; sin embargo, Givoni et al. (2015), quienes fatigaron de forma exclusiva la musculatura extensora de la rodilla, también hallaron errores relativos promedio de signo negativo, lo cual hace pensar que la dirección de dicho error podría ser independiente ya no sólo del tipo de fatiga inducida, sino también del grupo muscular que se quiere fatigar (fatiga local).

De cualquier forma, es necesario reconocer varias limitaciones en el presente estudio. En primer lugar, únicamente se registró el torque máximo del cuádriceps en el protocolo aplicado para la inducción de fatiga local (y en especial, el descenso de su valor por debajo del 50%) no siendo medida su máxima capacidad para generar tensión en el protocolo utilizado en para inducir fatiga general. Aunque se obtuvieron distintos parámetros para certificar el correspondiente estado de fatiga, el registro de la capacidad funcional del

cuádriceps hubiera permitido un contraste alternativo entre los dos tipos de fatiga aplicados. Por otro lado, y al igual que se ha planteado en estudios previos, la reposición angular fue evaluada a través de un movimiento de extensión de la rodilla, con la principal activación del cuádriceps, lo cual focaliza la atención en los efectos de la fatiga sobre este grupo muscular y los mecanorreceptores distribuidos entre sus fibras, si bien es posible que exista interferencia sobre dichos receptores en los músculos flexores de la rodilla, máxime cuando éstos se elongan en el movimiento de extensión que sirvió para alcanzar el ángulo diana. Además, los músculos isquiotibiales también fueron sometidos a fatiga local y general pudiendo ser esta afectación sumativa a la experimentada por el cuádriceps. Por último, se podría cuestionar la aparición de un error progresivo (aprendizaje) al someter a los mismos sujetos a un mismo ángulo diana en dos evaluaciones consecutivas y siendo practicados en ellas varios registros relativos al reposicionamiento angular. Sin embargo, la aplicación de un orden aleatorio en la aplicación de uno u otro tipo de protocolo de fatiga, la ignorancia, por parte de cada sujeto analizado, de los resultados conseguidos en cada registro (no se dio a conocer en ningún caso el valor del error en el reposicionamiento angular) así como la estabilidad del error absoluto a consecuencia de la fatiga general, no refrendan esta posibilidad.

6 CONCLUSIONES

Finalmente, son varias las conclusiones alcanzadas con este estudio. En primer lugar, los efectos provocados por la fatiga en la capacidad propioceptiva de estos futbolistas sólo puede ser expresada a través del error absoluto promedio, condicionando así no sólo el resto de conclusiones de este estudio sino también la de otros en los que únicamente se contemple el error relativo como principal variable. Bajo esta perspectiva, ambos tipos de fatiga alteraron la capacidad propioceptiva de estos deportistas sobre sus rodillas, si bien la alteración causada por la fatiga general parece ser más estable. Teniendo en cuenta todas estas circunstancias, la evaluación así como el entrenamiento propioceptivo específico adquiere una especial relevancia desde un punto de vista preventivo al permitir una mayor estabilidad en articulaciones claves para este tipo de población.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-Elfattah, H. M., Abdelazeimb, F. H. y Elshennawy, S. (2015). Physical and cognitive consequences of fatigue: a review. *Journal of Advanced Research*, 6, 351-358. doi: 10.1016/j.jare.2015.01.011
- Adalid J. (2014). Propuesta de incorporación de tareas preventivas basadas en métodos propioceptivos en fútbol. *Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 26, 163-167.
- Allen, T. J., Leung, M., Proske, U. (2010). The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. *Journal of Physiology*, 588, 1369-1377. doi: 10.1113/jphysiol.2010.187732
- Allison, K. F., Sell, T. C., Benjaminse, A., Lephart, S. M. (2016). Force sense of the knee not affected by fatiguing the knee extensors and flexors. *Journal of Sport Rehabilitation*, 25, 155-163. doi: 10-1123/jsr.2014-0298

- Augustsson, J., Thomeé, R., Linden, C., Folkesson, M., Tranberg, R., Karlsson, J. (2006). Single-leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 111-20. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00446.x
- Bayramoglu, M., Toprak, R., Sozay, S. (2007). Effects of osteoarthritis and fatigue on proprioception of the knee joint. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88, 346-50. doi: 10.1016/j.apmr.2006.12.024
- Bazneshin, M. M., Amiri, A., Jamshidi, A. A., Vasaghi-Gharamaleki, B. (2015). Quadriceps muscle fatigue and knee joint position sense in healthy men. *Physical Treatments*, 5, 109-114.
- Biedert, R. (2000). Contribution of the three levels of nervous system motor control: spinal cord, lower brain, cerebral cortex. In: S. M. Le, F. H. Fu (Eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 23-31). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Carrasco, L., Nadal, C., Rodríguez, N. (2005). Efectos de la fatiga muscular local sobre la propiocepción en la articulación de la rodilla. *Selección. Revista Española e Iberoamericana de Medicina de la Educación Física y del Deporte*, 14, 144-149.
- Forestier, N., Teasdale, N., Nougier, V. (2002). Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 117-22.
- Fort, A., Romero, D. (2013). Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts Medicina de l'Esport*. 48, 109-120. doi: 10.1016/j.apunts.2013.05.003
- Givoni, N. J., Pham, T., Allen, T. J., Proske, U. (2007). The effect of quadriceps muscle fatigue on position matching at the knee. *Journal of Physiology*, 584, 111-9. doi: 10.1113/jphysiol.2007.134411
- Gurney, B., Milani, J., Pedersen, M. E. (2000). Role of fatigue on proprioception of the ankle. *Journal of Exercise Physiology*, 3, 8-13.
- Hiemstra, L. A., Lo, I. K., Fowler, P. J. (2001). Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 31, 598-605. doi: 10.2519/jospt.2001.31.10.598
- Llana, S., Pérez, P., Lledó, E. (2010). La epidemiología en el fútbol: una revisión sistemática. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 10, 22-40.
- Miura, K., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Okamura, Y., Otsuka, H., Toh, S. (2004). The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 20, 414-418. doi: 10.1016/j.arthro.2004.01.007.
- Ortega, P., Argemi, D., Batista, J., García, L., Liotta, G. (2006). The epidemiology of injuries in a professional soccer team in Argentina. *International Sports Medical Journal*, 7, 255-265.
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Dvorak, J. (2000). Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *American Journal of Sports Medicine*, 28, 51-57.
- Ribeiro, F., Mota, J., Oliveira, J. (2007). Effects of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 99, 379-385. doi: 10.1007/s00421-006-0357-8

- Salgado, E., Ribeiro, F., Oliveira, J. (2015). Joint-position sense is altered by football pre-participation warm-up exercise and match induced fatigue. *Knee*, 22, 243-248. doi: 10.1016/j.knee.2014.10.002
- Sogaard, K., Gandevia, S.C., Todd, G., Petersen, N. T., Taylor, J. L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*, 573, 511-23. doi: 10.1113/jphysiol.2005.103598
- South, M., George, K. P. (2007). The effect of peroneal muscle fatigue on ankle joint position sense. *Physical Therapy in Sport*, 8, 82-87.
- Torres, R., Vasques, J., Duarte, J., Cabri, J. (2010). Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 410-415. doi: 10.1055/s-0030-1248285
- Vuillerme, N., Boisgontier, M. (2008). Muscle fatigue degrades force sense at the ankle joint. *Gait & Posture*, 28, 521-524. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.03.005
- Yaggie, J., Armstrong, W. (2004). Effects of fatigue on indices of balance. *Journal of Sport Rehabilitation*, 13, 312–22.

Número de citas totales / Total references: 25 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 1 (4%)