



educación
SORIA

FACULTAD DE EDUCACIÓN | Campus Duques de Soria

TRABAJO DE FIN DE GRADO

EFFECTO DE LA FATIGA EN LA BIOMECAÁNICA DEL SALTO EN JUGADORES DE FÚTBOL SALA JUVENIL

Estudiante: Javier Villoslada Muñoz

Tutora del TFG: Marta Domínguez Díez

Resumen

Marco teórico: La fatiga inducida puede afectar la respuesta neuromuscular provocando alteraciones en el patrón de movimiento reflejadas en la biomecánica del gesto.

Objetivos: El principal objetivo fue analizar los cambios biomecánicos que se producen en el aterrizaje de un salto vertical tras la aplicación de un protocolo de fatiga específico en jugadores de fútbol sala juvenil.

Método: Se analizó la biomecánica del aterrizaje aplicando la escala LESS (*Landing Error Scoring System*) a 10 jugadores de un equipo de fútbol sala juvenil, tanto antes como después de aplicar el protocolo de fatiga específico "*futsal intermittent shuttle-run protocol*" (FIRP) y también se analizó la altura del salto como variable de rendimiento.

Resultados: Los resultados muestran que la fatiga inducida no ha sido suficiente para ver cambios a nivel cuantitativo y cualitativo en la mayoría de los jugadores para las variables cinemáticas analizadas, aunque si se observaron peores valores en las variables relacionadas con la rodilla.

Conclusiones: El trabajo concluye reflejando que el protocolo de fatiga no induce la suficiente fatiga, por lo tanto, los resultados obtenidos no evidencian lo que nos muestra la literatura científica.

Palabras clave: fatiga, biomecánica, salto, aterrizaje, lesiones.

Abstract

Theoretical framework: Induced fatigue can affect the neuromuscular response causing alterations in the movement pattern reflected in the biomechanics of the gesture.

Objectives: The main objective was to analyse the biomechanical changes that occur in the landing of a vertical jump after the application of a specific fatigue protocol in youth futsal players.

Methods: The biomechanics of the landing was analysed by applying the LESS (*Landing Error Scoring System*) scale to 10 players of a youth futsal team, both before and after applying the specific fatigue protocol "*futsal intermittent shuttle-*

run protocol" (FIRP) and the height of the jump was also analysed as a performance variable.

Results: The results show that the induced fatigue was not sufficient to see changes at a quantitative and qualitative level in the majority of players for the kinematic variables analysed, although worse values were observed in the knee-related variables.

Conclusions: The work concludes by reflecting that the fatigue protocol does not induce sufficient fatigue, therefore, the results obtained do not evidence what the scientific literature shows us.

Key words: fatigue, biomechanics, jumping, landing, injuries.

ÍNDICE

Introducción.....	5
Marco teórico.....	6
Objetivo.....	10
Metodología.....	10
Resultados.....	15
Discusión.....	23
Conclusión.....	28
Bibliografía.....	28
Anexos.....	34

Introducción

El fútbol sala fue creado por la FIFA (Federación Internacional de Fútbol Asociación), que es un deporte parecido al fútbol, pero que se juega en un campo más pequeño, (Busara et al, 2015) por lo tanto, las demandas físicas, como la intensidad, la capacidad anaeróbica y la fuerza muscular son mayores en el fútbol sala que en el fútbol (Leite et al, 2016), en cuanto a la técnica también hay diferencias, por ejemplo, los jugadores de fútbol sala controlan el balón un 76% de las veces con la planta del pie mientras que en fútbol la mayoría de los controles se realizan con el interior del pie 71% (Althoff et al, 2011).

En España, el fútbol sala no es un deporte predominante como puede ser el fútbol, sin embargo la selección nacional ha conseguido números éxitos internacionales como dos campeonatos de la copa del mundo (2000 y 2004) y 7 campeonatos de Europa (1996, 2001, 2005, 2007, 2010, 2012 y 2016), en la actualidad se encuentra en el segundo puesto del ranking FIFA por detrás de la selección brasileña, en cuanto a la selección femenina es la actual campeona de Europa y ha ganado las últimas tres copas de Europa (2019, 2022, 2023).

Como todo deporte no se exime de las lesiones, y estas tienen una gran importancia ya que puede provocar problemas individuales a largo plazo, como la disminución de la calidad de vida de los jugadores en etapas posteriores de su vida y los costes añadidos que pueden suponer a clubes y federaciones. En los campeonatos del mundo de 2000, 2004 y 2008 se registró una incidencia lesional de 195,6 por horas de juego y de 130,4 por partido jugado en jugadores de fútbol sala, aparte no hubo diferencias en el número de lesiones entre la primera y la segunda parte ni entre los primeros 10 minutos de cada parte, el 64% de las lesiones fueron causadas por un contacto con otro jugador mientras que el 36% fueron sin contacto, es decir hay una gran diferencia en el mecanismo lesional, las partes del cuerpo más afectadas fueron la extremidad inferior un 69,7%, concretamente la rodilla (15,8% del total), seguido del muslo, (13,9% del total) y por último el tobillo y parte inferior de la pierna (12,1% del total), por último los diagnósticos más predominante fueron las contusiones (44,2 %) seguido de esguinces o roturas de ligamentos (19,4%) y distensiones o roturas de fibras musculares 17,6%). En comparación con el fútbol, la incidencia lesional en las copas del mundo fue menor en el fútbol, aunque hay un mayor riesgo de sufrir

una lesión por partidos jugados, en cuanto al mecanismo lesional, las lesiones producidas por contacto con el jugador fueron menores en el fútbol sala, sin embargo, la localización y el tipo de lesión fueron similares, pero hubo un mayor número de conmociones cerebrales en fútbol sala (Junge et al, 2010).

En numerosos deportes se ha analizado la relación de la fatiga con las lesiones, por ejemplo, en fútbol un estudio llevado a cabo por Small et al, 2009 cuyo objetivo era estudiar el riesgo de lesiones en isquiotibiales durante un sprint tras un protocolo de fatiga o en baloncesto donde Lewis et al, (2018) analizó la relación existente entre la carga de partidos, la fatiga y las lesiones en jugadores de la NBA, en balonmano Zebis et al, (2011) estudió si en jugadoras de balonmano la fatiga aguda modifica la actividad neuromuscular de los músculos agonistas del ligamento cruzado anterior, incluso en fútbol sala se ha realizado algún estudio como por ejemplo el que realizó Pupo et al, (2014) cuyo objetivo era analizar el efecto de la fatiga sobre la producción isocinética de torsión de la rodilla.

Por lo tanto, tras observar estos datos y los pocos estudios que hay en la literatura científica en cuanto a este tema me llevó a cuestionarme si la fatiga inducida durante un partido de fútbol sala aumenta los factores de riesgo en jugadores de fútbol sala.

Marco teórico

Las características del fútbol sala implican un constante movimiento durante los partidos, las respuestas fisiológicas vienen determinadas por las diferentes distancias intermitentes recorridas, sus diferentes intensidades y los periodos de esfuerzo y descanso. Al ser un deporte que permite realizar sustituciones ilimitadas, la intensidad durante todo el partido es alta. La distancia recorrida no se considera un factor de rendimiento por la capacidad de realizar sustituciones ilimitadas y se utiliza la distancia recorrida por minuto por cada jugador que se encuentra entre 105m/min – 160 m/min. Las actividades que más se realizan a lo largo de un partido de fútbol sala son: actividades de baja intensidad (estar quieto, caminar, trotar, desplazamiento lateral, desplazamiento hacia atrás), correr a intensidad media, alta y sprint. Los jugadores cambian de una actividad

a otra cada 3,28 segundos lo que supone que realizan 18 actividades por minuto y 470 por partido (Matzenbacher et al, 2014). Algunos estudios indican que los jugadores pueden cambiar de actividad cada 9 segundos, es decir casi 7 actividades por minuto (Dogramaci et al, 2011). De la distancia total recorrida, los jugadores recorren entre el 20% y el 26% a alta intensidad o a sprint, los jugadores realizan sprints repetidos de entre 6 y 16 metros de distancia de duración máxima o casi máxima y que están intercalados por periodos de recuperación incompleta de 40 segundos o menos y cuanto mayor es el nivel de los jugadores, mayor capacidad tienen de recorrer distancias a alta intensidad o sprint (Matzenbacher et al, 2014).

Durante un partido de fútbol los jugadores pueden llegar a intensidades por encima del 85% de su FCmax (frecuencia cardiaca máxima) la mayoría del tiempo en un partido (Álvarez et al, 2004; Barbero-Alvarez et al, 2008; Matzenbacher et al, 2014). Algunos estudios reflejan intensidades en términos de consumo máximo de oxígeno (VO₂max) de 79,2% de VO₂max, si consideramos valores a partir de la correlación con la FC (Rodrigues et al, 2011), o utilizando un ergoespirómetro valores medios de 76% del VO₂max, observándose que los jugadores pueden estar un 46% del tiempo por encima del 80% del VO₂max (Castagna et al, 2009). En este sentido, todos los datos sugieren que hay una gran demanda del metabolismo anaeróbico y aeróbico. Las acciones decisivas de los partidos como contraataques y recuperaciones de balón requieren del metabolismo anaeróbico (capacidad de aceleración, y de realizar sprints repetidos), mientras que una buena potencia aeróbica permite una recuperación más rápida entre los esfuerzos y mayor capacidad para realizar esfuerzos de alta intensidad durante más tiempo (Matzenbacher et al, 2014).

La biomecánica deportiva permite analizar el gesto deportivo, encontrar posibles fallos al realizarlo y mejorar la eficacia de la técnica a partir de correcciones y adaptaciones (Leite et al, 2012). Además, permite detectar factores de riesgo en las lesiones más comunes del jugador (Calderón López et al, 2023). En este sentido el análisis cinemático a partir de la videografía ha sido comúnmente utilizado para analizar movimientos específicos y determinantes del rendimiento deportivo con el objetivo de detectar posibles déficits en el jugador que estén relacionados con una mayor predisposición de lesión (p.e. saltos, cambios de

dirección sprint) (Carlson et al, 2016; Llana Belloch et al, 2010;). Es importante conocer la biomecánica y los aspectos que influyen en estos movimientos para poner en práctica estrategias de prevención de lesiones y de optimización del rendimiento (Sañudo et al, 2019). En este sentido, algunos autores han asociado un perfil cinemático del sprint a lesiones de isquiotibiales (Small et al, 2010) o han estudiado la cinemática del salto estableciendo que variables cinemáticas como el aumento del ángulo del valgo de rodilla, el ROM de la rodilla y una disminución de los ángulos de flexión de la rodilla están asociados con un mayor riesgo de sufrir lesión de LCA (ligamento cruzado anterior) (Chappell et al, 2005; Yu et al, 2020).

En el alto nivel los jugadores de futbol están sometidos a mucha presión física y psicológica debida a la gran cantidad de partidos y a las altas expectativas de rendimiento (Coutts et al, 2016) que pueden influir en un mayor riesgo de predisposición a la lesión afectando sobre la biomecánica del movimiento. En deportes en los que es imprescindible mantener el máximo nivel de rendimiento durante un periodo de tiempo prolongado, la fatiga está definida por la intensidad del propio deporte y por la incapacitación de mantener el rendimiento requerido, la fatiga está definida como “la disminución de generar la fuerza necesaria” (Reilly et al, 2008). Generalmente la fatiga en futbol se ha analizado desde un punto de vista neuromuscular y metabólico. Dejando al margen el impacto que tiene la fatiga sobre el rendimiento mental (Bangsbo et al, 2007), principalmente se ha estudiado su efecto en el rendimiento físico en competición (distancia recorrida, periodos de alta intensidad) (Carling et al, 2011; Mohr et al, 2003). Algunos autores han demostrado que los jugadores recorren más metros a gran intensidad en la primera parte que en la segunda mientras que en relación con el rendimiento técnico se ha observado que los jugadores mantienen el rendimiento durante el partido (Carling et al, 2011). Por otro lado, se ha relacionado la fatiga con la disminución de la cantidad y calidad de las acciones técnicas observándose que la fatiga inducida por un partido puede producir una disminución en la capacidad de pase corto (Rampinini et al, 2008).

En el futbol sala, la fatiga es un factor a tener en cuenta en el rendimiento de los jugadores en competición. La preparación de los jugadores está enfocada para mantener el rendimiento técnico, táctico y físico al mismo nivel a lo largo de los

dos periodos de tiempo (Matzenbacher et al, 2014). Por lo tanto, es importante conocer como la fatiga influye en los partidos. Algunos estudios que analizan variables físicas reflejan que en la primera parte de juego la intensidad puede llegar a 118m/min, mientras que en la segunda es de 111m/min y también se observan diferencias en porcentaje de carreras de alta intensidad, en la primera parte de 13,9% y en la segunda de 12,9%, con distancias totales recorridas mayores en la segunda parte que en la primera (Barbero-Alvarez et al, 2008). El estudio realizado por Dođramacı et al, (2006) en un equipo australiano mostró que la distancia recorrida en la segunda mitad fue un 10,8% menos. Por otro lado, un estudio que analiza los parámetros fisiológicos muestra que la FC aumentó en el segundo periodo, este aumento se puede deber a la fatiga física y estrés psicológico al que están sometidos ya que la mayoría de los partidos se deciden en la segunda mitad (Matzenbacher et al, 2014). Aunque en otro estudio la FC media fue mayor en la primera parte que en la segunda, en la primera fue un 91,1% de la FC máxima y en la segunda fue un 88,1%, sin embargo, aumentó el tiempo en que los jugadores pasan entre el 65 y 85% de la FC máxima y disminuyó el tiempo por encima del 85% de la FC máxima, esto indica que la fatiga provoca que los atletas tengan una menor capacidad de trabajo durante la segunda parte (Barbero-Alvarez et al, 2008). Estos datos parecen indicar que la intensidad disminuye en la segunda mitad respecto a la primera a pesar de que algunos estudios muestren que la distancia total recorrida sea mayor en la segunda parte y esto se puede deber a la fatiga que experimentan los jugadores (Matzenbacher et al, 2014).

La fatiga puede afectar el movimiento del jugador afectando la cinemática de las extremidades inferiores durante diferentes gestos, tras la aplicación de un protocolo de fatiga (*running-induced fatigue*) a 15 sujetos masculinos y observaron un aumento el ángulo de inversión y de rotación externo del tobillo durante la fase de impulso, posteriormente durante la fase de aterrizaje se muestra un aumento del ángulo de la abducción de la rodilla y de la cadera en saltos con contramovimiento (Yu et al, 2020). Por otra parte 10 jugadores y 10 jugadoras de voleibol de élite realizaron saltos verticales a una caja repetitivos hasta el fallo y les evaluaron antes y después el ángulo de flexión, observaron que los ángulos de rodilla fueron bastante menores tras inducir la fatiga (Prieske

et al, 2017). Por último, 6 mujeres y 6 hombres realizaron saltos continuos (DJ) hasta el fallo (hasta que no pudieran alcanzar el 80% de la altura del primer salto), analizaron variables cinemáticas durante la fase de aterrizaje y mostraron que a medida que aumentaba la fatiga los aterrizajes eran los realizaban con mayor extensión de rodilla, con mayor flexión plantar y ROM de tobillo, como conclusión se vio que a medida que la fatiga se hacía presente, los participantes amortiguaban el salto con los miembros inferiores más extendidos (Weinhandl et al, 2011). Es importante que a través de los tests de saltos se pueden valorar diferentes déficits neuromusculares, utilizándolos como herramientas de evaluación se pueden observar mejoras de rendimiento y neuromusculares tras la aplicación de diferentes entrenamientos pliométricos (Markovic et al, 2020). Por último, la validez de la escala LESS (*Landing Error Scoring System*) es de moderada a excelente y la fiabilidad entre evaluadores expertos y novatos es de excelente, por lo tanto, supone una escala fácilmente utilizada por los entrenadores (Onate et al, 2010) para detectar posibles patrones de movimiento que sean potencialmente lesivos en movimientos de salto y aterrizaje (Padua et al, 2009).

Objetivo

En base a la literatura analizada el objetivo principal de este estudio es analizar y describir los cambios cinemáticos producidos en el aterrizaje de un salto vertical tras la aplicación de un protocolo de fatiga específico en jugadores de fútbol sala a partir de valores cuantitativos y cualitativos.

Metodología

Participantes

10 jugadores masculinos de fútbol sala de categoría juvenil (edad = 17,4 años, masa corporal = 66,9 Kg, altura = 1,756 m) participaron de forma voluntaria en este estudio. Los participantes entrenan 2 días a la semana con una duración del entrenamiento de entre 90 -120 min cada entrenamiento. El equipo compete en el grupo 1 de la categoría juvenil división de honor que es la máxima categoría

nacional del fútbol sala juvenil. Para el estudio se excluyeron a los porteros y a los jugadores que estuvieran lesionado en el momento de la medición o hubieran presentado lesiones el mes previo. Antes de participar en este estudio, se informó a todos los jugadores sobre los objetivos, procedimientos y posibles riesgos asociados con su participación y se registró la firma de cada jugador como prueba de su consentimiento para participar en la investigación, el cual se podrá ver en el Anexo 1.

Diseño experimental

Para llevar a cabo este estudio y comprobar la influencia de la fatiga en las variables cinemáticas del salto y en el rendimiento del salto, se realizó un protocolo validado para valorar la fatiga que simula la carga física específica de un partido de fútbol sala, este protocolo se denomina "*futsal intermittent shuttle-run protocol*" (FIRP) (Dal Pupo et al, 2017). Previo a los días de medición, se realizó una sesión de familiarización donde los jugadores realizaron el protocolo de fatiga y el test de salto. La medición se realizó en dos días a la misma hora, asegurando las mismas condiciones ambientales. El protocolo de medición consistió en la realización de la prueba de salto, concretamente el "Medición del *Jump-Landing Task*" (Padua et al, 2009). Antes de realizar el test de fatiga, los jugadores realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en cinco minutos de carrera a un ritmo moderado y cinco minutos de estiramientos y de movilidad de los músculos de las extremidades inferiores y justo al finalizar el protocolo de fatiga se realizó el test de salto. Por último, se solicitó a los jugadores que no entrenaran las 24h previas, que no tomen bebidas con cafeína y que mantuvieran su dieta habitual.

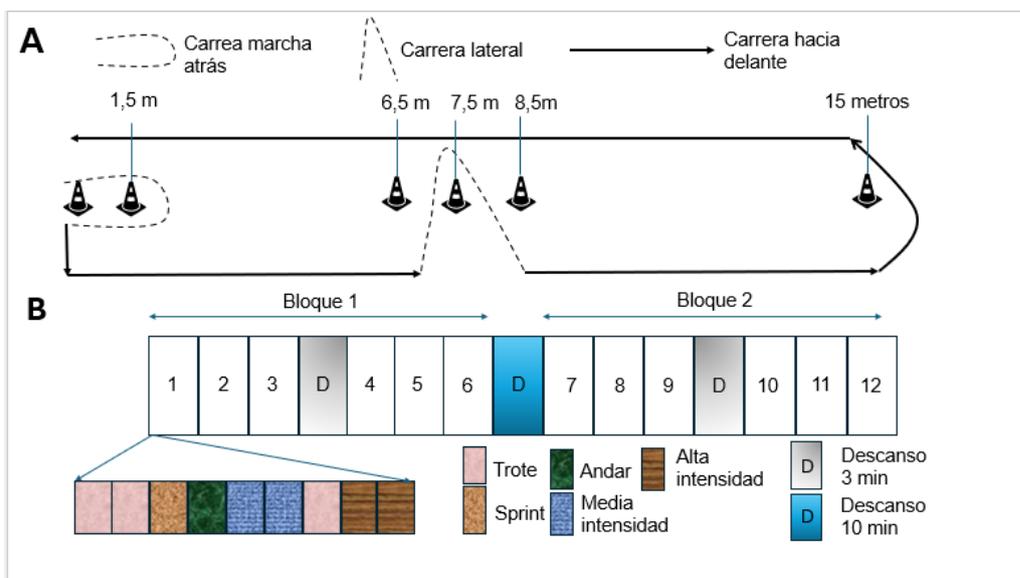
Protocolo de fatiga

El FIRP se diseñó a partir de una propuesta proveniente del fútbol (Small, et al. 2010) que consistía en una carrera de 15 metros con diferentes conos colocados para que los jugadores realizaran movimientos específicos del fútbol y se adaptó al fútbol sala (Dogramaci et al, 2011). La velocidad y la intensidad a la que tenían que recorrer el recorrido se dividió en de pie ($0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), caminar ($6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), trotar ($8.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), intensidad media ($13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), intensidad alta ($17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y sprint ($\geq 18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) basada en la clasificación de Castanga et al, (2009). El protocolo

consiste en dos bloques de 6 repeticiones cada uno con un descanso de 10 minutos entre ellos, entre cada 3 repeticiones hay un descanso pasivo de 3 minutos y entre cada repetición hay un descanso de 30 segundos en posición estática (Figura 1). Cada repetición consta de 9 vueltas al circuito con estas intensidades en cada vuelta: (1) trotar, (2) trotar, (3) sprint, (4) andar, (5) carrera media intensidad, (6) carrera media intensidad, (7) trotar, (8) carrera alta intensidad y (9) carrera alta intensidad, dura 2.3 minutos, por lo que este protocolo dura 40 minutos aproximadamente, para que los jugadores conocieran la intensidad y la velocidad a la que corrían se indicaba a través de un audio con señales verbales.

Figura 1.

Representación del protocolo.



Nota: A: recorrido del FIRP. B: distribución de las repeticiones, intensidades y descansos

Medición del Jump-Landing Task

Para la valoración del salto, los jugadores realizaron el test de salto antes del protocolo e inmediatamente después de finalizar el protocolo para evitar los efectos de la recuperación, los jugadores realizaron el test de salto desde una posición erguida encima de un banco con una altura de 30 cm. El test consistía en dos pasos, el primero era un salto horizontal desde un objeto con una altura de 30 cm hasta aterrizar en el suelo a una distancia que era la mitad de su altura

y el segundo era un salto vertical inmediatamente después de aterrizar en el suelo (Padua et al, 2015).

Para el análisis bidimensional se utilizaron dos móviles sujetos con un trípode, un móvil con una cámara de 60 fps y otro de 120 fps, se realizó una grabación frontal y sagital, el móvil que grabó el plano frontal se colocó a 4,8 metros y el que grabó el plano sagital a 2,7 metros. Se colocaron 3 marcadores reflectantes en la pierna derecha de cada jugador en los siguientes lugares: maléolo externo del tobillo, en el cóndilo externo de la rodilla y en el trocánter. Para la calibración del video se utilizó un objeto de calibración que tenía una altura de 27 cm.

Análisis cinemático

El gesto técnico del salto se estructuró en cuatro fases. La fase inicial de caída se estableció desde que ambos pies abandonan el banco hasta que los dos contactan con el suelo, la segunda fase que es la de amortiguación se estableció desde el final de la anterior hasta la máxima flexión de rodillas, la tercera que es la fase de impulso concéntrico va desde el final de la anterior hasta que ambos pies dejan de estar en contacto con el suelo y la fase final de vuelo se estableció desde el final de la anterior hasta que ambos pies vuelven a contactar con el suelo (Figura 2). En el Anexo 2 se presenta el análisis cinemático realizado con Kinovea.

Figura 2.

Kinograma de la amortiguación de salto tras caída de un cajón





Nota: fase 1: fase inicial de caída, fase 2: fase de amortiguación, fase 3: fase de impulso concéntrico, y fase 4: fase final de vuelo.

En el análisis cinemático se aplicó la escala LESS (*Landing Error Scoring System*), analizándose de forma cualitativa y cuantitativa las variables cinemáticas de flexión de rodilla (FR), flexión de cadera (FC), flexión de tronco (FT), flexión plantar de tobillo (FPT), posición medial de la rodilla (PMR), flexión lateral del tronco (FLT), anchura de la posición de apoyo de los pies [considerando como amplia (APPA) o pequeña (APPP)], la rotación externa del pie (PPRE), la rotación interna (PPRI), contacto con los pies simétricos (CPS), desplazamiento de flexión de la rodilla (DFR), desplazamiento de flexión de la cadera (DFC), desplazamiento de flexión del tronco (DFT), desplazamiento medial de la rodilla (DMR), desplazamiento articular (DA) e impresión general (IG) (Padua et al, 2011). La descripción de las variables se adjunta en el Anexo 2. Además, como variable de rendimiento del salto se analizó y calculó la altura del salto. El análisis cinemático de las variables se realizó a partir del software de acceso libre Kinovea (versión 0.9.5).

Análisis de los resultados

Para realizar el análisis de los resultados, se ha utilizado una base de datos Excel. Se ha realizado un análisis descriptivo a partir del cálculo de la media y la desviación típica de todas las variables cuantitativas. La variable de rendimiento altura de salto se ha calculado a partir del tiempo de vuelo registrado utilizando la siguiente fórmula $h = (g \cdot TV^2) / 8$, donde g es la gravedad, es decir $9,8 \text{ ms}^2$ y TV es el tiempo de vuelo. Además, se ha realizado un análisis cualitativo a partir de los valores obtenidos en la escala LESS que han sido analizados individualmente.

Resultados

En la Tabla 1 podemos observar cómo no se observa un cambio muy grande entre el pre y el post en todas las variables, en algunas como la fase inicial de caída y la fase de vuelo la media es menor en el pre que en el post, en cambio en la fase de amortiguación y en la fase de impulso concéntrico, la media es mayor en el pre que en el post. En cuanto a la variable de rendimiento, los jugadores mostraron una media de 0,36 m de altura en el salto realizado antes del protocolo de fatiga y 0,37 m después del protocolo. Seis de los jugadores aumentaron su altura del salto, cuatro disminuyeron la altura conseguida y uno mantuvo los valores tras la aplicación del protocolo de fatiga.

Tabla 1.

Tiempos de fase pre y post fatiga

	FI (s)		FA (s)		FIC (s)		FV(s)		AS(m)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Jugador 1	0,27	0,23	0,30	0,20	0,30	0,20	0,60	0,60	0,44	0,44
Jugador 2	0,20	0,23	0,30	0,20	0,30	0,20	0,47	0,53	0,27	0,34
Jugador 3	0,17	0,20	0,27	0,23	0,27	0,27	0,60	0,63	0,44	0,49
Jugador 4	0,17	0,23	0,30	0,13	0,27	0,20	0,50	0,47	0,31	0,27
Jugador 5	0,27	0,23	0,23	0,23	0,20	0,27	0,53	0,50	0,34	0,31
Jugador 6	0,23	0,23	0,13	0,17	0,20	0,20	0,57	0,60	0,40	0,44
Jugador 7	0,20	0,43	0,20	0,17	0,17	0,17	0,57	0,60	0,40	0,44
Jugador 8	0,17	0,20	0,20	0,17	0,23	0,17	0,53	0,47	0,34	0,27
Jugador 9	0,27	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20	0,53	0,50	0,34	0,31
Jugador 10	0,17	0,23	0,27	0,27	0,20	0,27	0,53	0,60	0,34	0,44
Media ±	0,21	0,24	0,24 ±	0,2 ±	0,23 ±	0,22 ±	0,54 ±	0,55 ±	0,36 ±	0,37 ±
SD	± 0,04	± 0,07	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08

Nota: FI; fase inicial de caída, FA; fase de amortiguación, FIC; fase de impulso concéntrico, FV; fase de vuelo, AS; altura del salto; Pre: condición previa a la aplicación del protocolo; Post: condición posterior a la aplicación del protocolo; SD: desviación típica.

En la Tabla 2 se presentan los valores correspondientes al plano frontal, nos muestra como la posición medial de la rodilla aumenta tras aplicar el protocolo, 7 de los jugadores aumentan su valor, siendo muy significativo en dos jugadores que aumentan casi 10°, sin embargo hay 3 jugadores que descienden su valor

siendo destacable un jugador que obtiene un valor de casi 5° menor, la variable que más aumenta del es la posición de los pies (rotación externa/interna) siendo de -7,12° antes del protocolo y de -13,33° después del protocolo, donde 8 jugadores aumentan y solo dos muestran valores menores, estos dos valores no son muy significativos porque la diferencia no es muy grande, y la otra variable que aumenta tras aplicar el protocolo de fatiga es el desplazamiento medial de la rodilla cuyos valores son de -3,45° en el pre y de -4,51° en el post, en la que en 6 jugadores el valor es mayor y en cambio en el resto disminuye este valor. En las variables restantes, el valor es menor tras la aplicación del protocolo que son la flexión lateral del tronco y la anchura de la posición de los pies (amplia/pequeña), aunque la diferencia es mínima de 1,84° y 1,73° respectivamente.

En cuanto a las variables cualitativas, el contacto con los pies simétricos solo hay un jugador que cambia el valor pasando de no contactar con los pies simétricos antes del protocolo a si contactar con los pies simétricos tras la aplicación del protocolo, el resto de los jugadores, hay 3 que contactan con los pies simétricos y 6 que no contactan con los pies simétricos en ambos saltos, por otro lado la mayoría de los jugadores antes de realizar el protocolo tenían un desplazamiento articular suave y solo dos tenían un desplazamiento articular promedio, pero ambos tras la aplicación del protocolo pasaron a un desplazamiento articular suave y otro jugador que tenía un desplazamiento suave paso a un desplazamiento promedio tras la aplicación del protocolo y por último en la impresión general hubo 4 jugadores que fue de excelente y el resto tuvo un valor de medio antes del protocolo y tras la aplicación del protocolo dos jugadores obtuvieron un valor diferente, uno pasó de excelente a medio y otro de medio a pobre.

Tabla 2.*Valoración de las variables de escala desde el plano frontal*

	PMR		FLT		APPA		APPP		PPRE		PPRI		CPS		DMR		DA		IG	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Jugador 1	-11,60	-6,50	178,40	178,50	5,00	3,00	5,00	3,00	0,70	-12,10	0,70	-12,10	Si	Si	-2,60	-8,10	S	S	E	E
Jugador 2	-7,30	-7,20	176,50	179,00	5,40	3,40	5,40	3,40	-26,30	-26,60	-26,30	-26,60	Si	Si	-7,20	-2,90	S	S	E	E
Jugador 3	-5,70	-6,50	177,20	179,40	-5,20	0,00	-5,20	0,00	-7,50	-6,70	-7,50	-6,70	No	No	-5,20	-1,40	S	S	M	M
Jugador 4	-10,40	-9,10	171,90	177,70	6,80	3,40	6,80	3,40	-6,00	-18,50	-6,00	-18,50	No	No	-6,90	-4,90	S	S	M	M
Jugador 5	-4,30	-14,20	177,00	178,80	0,00	5,50	0,00	5,50	-8,10	-16,90	-8,10	-16,90	Si	Si	-0,10	-1,20	S	S	E	E
Jugador 6	-1,00	-8,90	178,00	178,90	-0,90	0,00	-0,90	0,00	-4,70	-10,10	-4,70	-10,10	No	No	-4,50	-5,00	Pr	S	M	M
Jugador 7	-5,30	-7,00	179,50	179,40	3,70	-3,10	3,70	-3,10	-2,60	-6,90	-2,60	-6,90	No	Si	-3,10	-10,00	S	Pr	M	Po
Jugador 8	-4,70	-6,80	179,50	177,70	4,10	-1,30	4,10	-1,30	-4,60	-2,80	-4,60	-2,80	No	No	1,80	-0,40	Pr	S	M	M
Jugador 9	-2,60	-8,80	176,10	180,00	7,70	2,70	7,70	2,70	-3,90	-18,90	-3,90	-18,90	No	No	-6,40	-7,70	S	S	E	M
Jugador 10	-2,50	-9,80	176,90	180,00	4,30	0,00	4,30	0,00	-8,20	-13,80	-8,20	-13,80	No	No	-0,30	-3,50	S	S	M	M
Media ± SD	-5,54 ± 3,4	-8,48 ± 2,35	177,1 ± 2,17	178,94 ± 0,81	3,09 ± 3,96	1,36 ± 2,63	3,09 ± 3,96	1,36 ± 2,63	-7,12 ± 7,27	-13,3 ± 7,11	-7,12 ± 7,27	-13,33 ± 7,11	-	-	-3,45 ± 3,13	-4,51 ± 3,24	-	-	-	-

Nota: PMR; posición medial de la rodilla, FLT; flexión lateral del tronco, APPA; anchura de la posición de los pies (amplia), APPP; anchura de la posición de los pies (pequeña), PPRE; posición de los pies rotación externa, PPRI: posición de los pies rotación interna, CPS; contacto con los pies simétricos, DMR; desplazamiento medial de la rodilla, DA; desplazamiento articular, IG; impresión general, SD; desviación típica; Pre: condición previa a la aplicación del protocolo; Post: condición posterior a la aplicación del protocolo, S; suave, Pr; promedio, E; excelente, M; medio, Po; pobre.

En la Tabla 3 se observan los datos obtenidos del plano sagital, la mayoría de las variables disminuyen tras la aplicación del protocolo, aunque no son diferencias muy importantes, la flexión de rodilla pasa de 34,20° a 33,44° donde 4 jugadores disminuyen y 6 aumentan sus respectivos valores, la flexión de cadera tiene valores de 42,05° antes del protocolo y de 41,65° tras la aplicación del protocolo, 3 jugadores tienen valores menores, 6 tienen valores mayores y 1 jugador obtiene el mismo valor, en cuanto a la flexión del tronco se obtiene un valor de 15,67° antes del protocolo y 13,89° tras la realización del protocolo, solo 3 jugadores aumentan su valor mientras que el resto lo disminuye, respecto al desplazamiento de la flexión de la cadera, que es la variable que más disminuye, va desde 42,62° a 35,35°, donde 6 jugadores disminuyen su valor y el resto lo aumenta, es una variable en la que hay grandes diferencias, algunos jugadores disminuyen más de 40° respecto al pre o incluso algún jugador puede llegar a aumentar más de 20° grados, por último el desplazamiento de flexión del tronco es la última variable que disminuye, cuyos valores son de 14,45° antes del protocolo y de 9,61° después de la aplicación donde la mitad de los jugadores aumentan y la otra mitad disminuyen los valores. Por otro lado, las variables que aumentan son solamente dos y al igual que las anteriores no son grandes diferencias, la flexión plantar del tobillo tiene un valor de -19,69° antes del protocolo y de -21,29° después del protocolo, donde 3 jugadores aumentan su valor y el resto lo disminuye y la última variable que aumenta es el desplazamiento de flexión de rodilla que pasa de 56,94° a 60,94° donde 6 jugadores aumentan su valor mientras que el resto lo disminuye.

Tabla 3.*Valoración de las variables de escala desde el plano sagital*

	FR		FC		FT		FPT		DFR		DFC		DFT	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Jugador 1	21,90	36,10	43,60	44,00	16,20	12,40	-30,10	-15,00	73,40	58,10	86,10	41,30	24,20	13,50
Jugador 2	33,50	42,60	39,30	37,60	13,50	4,40	-39,50	-26,40	71,60	55,90	32,70	30,90	4,70	5,20
Jugador 3	45,70	16,60	63,80	31,90	24,70	15,80	15,10	-22,40	70,80	97,30	47,60	70,40	17,60	22,30
Jugador 4	32,30	26,00	36,60	36,60	14,00	13,30	-40,20	-24,30	61,90	70,50	49,60	35,50	15,60	3,70
Jugador 5	38,30	40,20	47,20	51,30	19,10	16,10	-42,40	-24,40	57,30	58,40	44,40	47,30	14,30	17,00
Jugador 6	58,50	36,60	48,60	41,30	16,20	15,40	-30,20	-20,70	26,50	46,40	9,10	32,00	-1,20	10,10
Jugador 7	21,70	31,00	40,00	40,80	21,20	14,40	-32,70	-30,40	67,60	53,70	49,80	3,50	18,00	-3,50
Jugador 8	21,80	33,20	19,80	35,50	3,50	8,80	27,90	-27,00	40,20	52,40	43,90	29,10	26,60	8,10
Jugador 9	34,50	42,20	38,20	50,90	12,90	20,40	17,20	8,50	46,80	46,30	29,10	23,80	11,10	5,80
Jugador 10	33,80	29,90	43,40	46,60	15,40	17,90	-42,00	-30,80	53,30	70,40	33,90	39,70	12,60	13,90
Media \pm SD	34,2 \pm	33,44 \pm	42,05 \pm	41,65 \pm	15,67 \pm	13,89 \pm	-19,69 \pm	-21,29 \pm	56,94 \pm	60,94 \pm	42,62 \pm	35,35 \pm	14,35 \pm	9,61 \pm
	11,57	8,03	11,05	6,53	5,65	4,57	27,99	11,45	15,42	15,25	19,72	17,14	8,31	7,4

Nota: FR; flexión de rodilla, FC; flexión de cadera, FT; flexión del tronco, FPT; flexión plantar del tobillo, DFR; desplazamiento de flexión de la rodilla, DFC; desplazamiento de flexión de la cadera, DFT; desplazamiento de flexión del tronco, SD; desviación típica; Pre: condición previa a la aplicación del protocolo; Post: condición posterior a la aplicación del protocolo.

En la Tabla 4 vemos la aplicación de la escala LESS en las variables del plano frontal, en la variable de la posición medial de la rodilla, solo tres jugadores cambian tras la aplicación del protocolo, dos de ellos no suman y el otro sí, en la anchura de la posición de los pies (amplia/pequeña) más de la mitad de los jugadores tiene una posición amplia y tras el protocolo la mitad de los jugadores tienen una posición amplia. En cuanto a la posición de los pies rotación externa e interna, ningún jugador rota el pie más de 30°, por último, el desplazamiento medial de la rodilla, 8 jugadores no tienen un gran desplazamiento medial de la rodilla, pero tras la aplicación del protocolo son 7 jugadores los que no tienen un gran desplazamiento medial de la rodilla. Por último, las variables cualitativas fueron analizadas en la Tabla 2, la puntuación de estas variables está descrita en el Anexo 1.

En la Tabla 5 se observa la aplicación de la escala LESS en las variables del plano sagital, en la flexión de rodilla hay 3 jugadores que en el salto previo al protocolo tienen la rodilla flexionada a menos de 30° al igual que pasa después de la aplicación del protocolo, luego en la flexión de cadera todos los jugadores tienen una flexión adecuada, en cuanto a la flexión del tronco 9 jugadores tienen una buena flexión y tras el protocolo vuelve haber 9 jugadores con una buena flexión. Respecto a la flexión plantar del tobillo hay 3 jugadores que contactan con el pie de talón a punta en el salto anterior al protocolo, pero que tras la aplicación solo hay un jugador que contacte de esa manera. En el caso de la variable de desplazamiento de flexión de la rodilla la mayoría de los jugadores tienen un buen desplazamiento, mientras que tras la aplicación del protocolo todos tienen un buen desplazamiento, respecto al desplazamiento de flexión de la cadera todos los jugadores tienen un adecuado desplazamiento en ambos saltos y, por último, el desplazamiento de flexión del tronco hay 9 jugadores que tienen un buen desplazamiento al igual que tras la aplicación del protocolo.

Tabla 4.*Aplicación de la escala LESS en el plano frontal*

	PMR		FLT		APPA		APPP		PPRE		PPRI		CPS		DMR		DA		IG	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Jugador 1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Jugador 2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Jugador 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Jugador 4	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
Jugador 5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
Jugador 7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2
Jugador 8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
Jugador 9	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
Jugador 10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

Nota: PMR; posición medial de la rodilla, FLT; flexión lateral del tronco, APPA; anchura de la posición de los pies (amplia), APPP; anchura de la posición de los pies (pequeña), PPRE; posición de los pies rotación externa, PPRI; posición de los pies rotación interna, CPS; contacto con los pies simétricos, DMR; desplazamiento medial de la rodilla, DA; desplazamiento articular, IG; impresión general; Pre: condición previa a la aplicación del protocolo; Post: condición posterior a la aplicación del protocolo.

Tabla 5.*Aplicación de la escala LESS en el plano sagital.*

	FR		FC		FT		FPT		DFR		DFC		DFT	
	Pre	Post												
Jugador 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jugador 6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Jugador 7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Jugador 8	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Jugador 9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Jugador 10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: FR; flexión de rodilla, FC; flexión de cadera, FT; flexión del tronco, FPT; flexión plantar del tobillo, DFR; desplazamiento de flexión de la rodilla, DFC; desplazamiento de flexión de la cadera, DFT; desplazamiento de flexión del tronco.

En la Tabla 6 se puede visualizar como 5 jugadores que suman más puntos en el salto previo que en el posterior al protocolo, 2 jugadores obtienen la misma puntuación (2 y 3) y hay 3 jugadores que suman más puntos en el salto posterior al protocolo. En el salto previo al protocolo hay 5 puntuaciones excelentes, 3 buenos, 1 moderado y 1 pobre, mientras que en el salto posterior a la aplicación del protocolo hay 7 puntuaciones excelentes, 2 buenos y 1 moderado.

Tabla 6.

Puntuación total de la escala LESS

	Pre	Post
Jugador 1	3	2
Jugador 2	2	2
Jugador 3	4	3
Jugador 4	5	4
Jugador 5	0	2
Jugador 6	6	2
Jugador 7	4	6
Jugador 8	8	3
Jugador 9	3	5
Jugador 10	3	3
Media ± SD	3,8 ± 2,2	3,2 ± 1,4

Nota: SD; desviación típica; Pre: condición previa a la aplicación del protocolo; Post: condición posterior a la aplicación del protocolo.

Discusión

La fatiga producida durante un partido influye en el rendimiento observándose una disminución en la distancia recorrida y la intensidad en la segunda mitad, aparte la fatiga también puede afectar a la biomecánica del aterrizaje. El objetivo de este estudio ha sido valorar el efecto que tiene la fatiga inducida por un partido de fútbol sala sobre las variables cinemáticas en el aterrizaje de un salto vertical. Analizando los resultados se pueden observar cambios tras la aplicación del protocolo de fatiga, se puede observar cómo hay algunas variables que aumentan y otras que disminuyen.

En cuanto a los tiempos de cada fase que no hay grandes cambios en cada una de las fases tras la aplicación del protocolo, el cambio más grande es en la primera fase donde el salto antes del protocolo la media es de 0,21s mientras

que tras la aplicación fue de 0,24s. La otra variable que aumenta es la fase de vuelo de 0,54s a 0,55s, sin embargo, la fase de amortiguación y la de impulso concéntrico disminuyen de 0,24 a 0,2 y de 0,23 a 0,22 respectivamente. Por último, la variable de rendimiento aumenta 0,01m, y hasta 6 jugadores saltan más tras la aplicación del protocolo. Estos resultados son contrarios a los mostrados por estudios previos, en los que se afirma que la fatiga disminuye la altura del salto con contramovimiento, principalmente inmediatamente después de inducir la fatiga (Moreno et al, 2020). Viendo estos resultados podemos suponer que el estímulo de fatiga inducido no ha sido suficiente para disminuir esta variable de rendimiento.

Observando nuestras variables cuantitativas podemos observar como la posición medial de la rodilla aumenta en el post, pero no de manera importante, pero si 7 de los jugadores tienen mayores valores destacando un aumento de hasta 10°. Relacionado con esta variable, el desplazamiento medial de la rodilla también sufre un aumento aunque de menos valor, y también 7 jugadores llegan a aumentar esta variable aunque con menos variación de resultados donde el sujeto que más aumenta lo hace en 6,90°. La flexión de rodilla disminuye tras inducir la fatiga, aunque no es una reducción muy importante, donde la mitad de los jugadores tienen un valor menor de flexión. Por último, con relación al desplazamiento de rodilla, observamos que esta variable aumenta tras el protocolo, donde solo 4 jugadores tienen valores menores en el post destacando algunos que llegan a disminuir más de 15 grados. Estos datos obtenidos concuerdan con los encontrados por Borotikar et al. (2008) en una muestra de 24 mujeres que realizaban diferentes deportes (p.e. baloncesto, fútbol y vólibol) donde la fatiga aumenta la abducción de rodilla, la rotación de la rodilla interna (valgo de rodilla) en aterrizajes con una sola pierna.

Por otro lado, la flexión lateral del tronco aumenta tras el protocolo, pero no son valores muy destacables, todos los jugadores están en una posición en la que la línea del cuerpo no se flexiona excesivamente hacia la derecha e izquierda. En cuanto a la flexión del tronco, la mayor parte de ellos realizan una buena flexión del tronco al igual que pasa con el desplazamiento de este aunque hay que destacar que ambas variables disminuyen tras la aplicación del protocolo, comparando con lo que nos dice la literatura científica, una buena contracción

abdominal durante un aterrizaje en la que los sujetos están fatigados disminuye el riesgo de sufrir lesiones a nivel lumbar y también de LCA por prevenir una inestabilidad de la pelvis, además de producir un aumento en la flexión de la rodilla, en la activación del glúteo y de los isquiotibiales (Haddas et al, 2016).

En cuanto a las variables que analizan el pie y el tobillo, la anchura de la posición de los pies donde es más amplia antes del protocolo que después, aunque no supone un cambio muy importante, donde hay un cambio más grande es en la posición de los pies que antes del protocolo tenían una rotación externa y que tras la aplicación del protocolo esta rotación externa aumenta y todos los jugadores tienen una rotación externa en menor o en mayor medida, destacando una rotación externa de casi 30°, estos datos sí coinciden con lo que nos dice la literatura, porque la fatiga aumenta la supinación del tobillo en el apoyo de los aterrizajes (Borotikar et al, 2008).

La flexión y el desplazamiento de flexión de cadera sufren un descenso pequeño hay algunos datos en los que si hay una reducción más grande como por ejemplo un descenso de más de 40° de desplazamiento de flexión de cadera en uno de los jugadores evaluados, los artículos científicos nos afirman que la fatiga aumenta la flexión y la rotación interna de la cadera (Borotikar et al, 2008), por lo tanto los datos obtenidos en este estudio no concuerdan con la literatura científica, posiblemente debido a la poca intensidad del protocolo.

El desplazamiento articular que es una variable cualitativa observamos que no empeora, ya que todos los jugadores presentan un desplazamiento articular suave, salvo una excepción que tiene un desplazamiento promedio, tras la aplicación del protocolo, y antes de la aplicación había dos sujetos con un desplazamiento articular suave, esto nos vuelve a indicar la poca fatigados que se encontraban los jugadores, la literatura científica nos dice que una rigidez de los miembros inferiores en el salto se puede asociar tanto al rendimiento (p.e. velocidad, altura, economía del salto) como a las lesiones (Butler et al, 2003).

En cuanto a los resultados de la escala LESS, la flexión de rodilla en el contacto inicial que es una variable asociada al riesgo de lesión LCA así como el valgo de rodilla (Padua et al, 2009), hay los mismos jugadores tanto en el pre como en el post que tienen una flexión menor de 30° aunque ninguno repite en ambos saltos,

y en las variables asociadas al valgo de rodilla, hay dos jugadores que tienen presencia en la posición medial de la rodilla antes del protocolo, mientras que tras la aplicación del protocolo solo hay 1 jugador que tenga presencia y que previo al protocolo no tenía, sin embargo en el desplazamiento medial de la rodilla hay más jugadores con presencia (3) tras el protocolo que previo a él (2), todos ellos no repiten en ambos saltos, estos datos comparándolos con la literatura científica, no concuerdan ya que en varios estudios nos confirman que tras la aplicación del protocolo estas variables en la escala LESS aumentan (Bard et al 2016; Van Melick et al 2019), en nuestros datos cuantitativos podemos observar cómo estas variables empeoran, pero no de manera excesiva ya que al aplicar la escala LESS no tiene presencia, lo que nos sugiere que los sujetos no estaban suficientemente fatigados.

Otras variables importantes que hemos visto es la rotación externa que es una de las que más empeora en los datos cuantitativos pero que al aplicar la escala LESS vuelve a no tener relevancia ya que ninguno de los jugadores empeora tras el protocolo, al igual que pasa en las variables asociadas a la cadera, esto se puede deber como he indicado previamente a lo poco fatigante que es el protocolo ya que hay estudios en los que la puntuación total de la escala LESS aumenta (Wesley et al 2007).

Las variables restantes como las asociadas al tronco, anchura de la posición de los pies, flexión plantar del tobillo son variables que no empeoran tras la aplicación del protocolo, incluso algún jugador mejora, salvo casos concretos que si hay sujetos que empeoran, al ser casos excepcionales esto nos reafirma la hipótesis de la poca fatiga que induce el protocolo, ya que en la mayoría de los estudios que aplican la escala LESS esta aumenta en general (Bard et al, 2016)

Por otro lado, la variable que más aumenta es la de impresión general, aunque son solo 2 jugadores los que aumentan su puntuación, esto nos indica lo poco que empeoran las demás variables y la poca fatiga que induce el protocolo ya que la fatiga no es suficiente para observar cambios generales en los aterrizajes. Hay que destacar que hay una variable en la que muchos jugadores suman que es la de contactar con los pies simétrico pero que no hay que tenerla mucho en

cuanta porque antes del protocolo son 7 jugadores los que no contactaban con los pies simétricos y tras el protocolo solo 1 mejora esta variable, es decir hay 6 jugadores que independientemente de la fatiga no contactan con los pies a la vez.

En general, la puntuación total de la escala LESS es menor tras la aplicación del protocolo (Tabla 6), por lo tanto, observando los estudios previamente analizados y algunos más (Liveris et al 2021; Tsarbou et al 2021) podemos comprobar como este trabajo ha obtenido unos resultados diferentes en comparación con lo que se puede encontrar en la literatura científica y que como he sugerido antes se puede deducir que el protocolo de fatiga no es lo suficientemente intenso como para inducir un estado de fatiga importante y reseñable sobre las variables cinemáticas del salto.

En cuanto a las aplicaciones prácticas de este trabajo, proporciona información útil para entrenadores y sobre la importancia de considerar protocolos de fatiga específicos en la evaluación del rendimiento de los jugadores de fútbol sala juvenil. Los resultados obtenidos pueden ser útiles para diseñar tareas o programas de entrenamiento más específicos para cada uno de los jugadores del equipo adaptándose a sus necesidades.

El estudio no está exento de limitaciones, el tamaño reducido de la muestra, la exclusión de los porteros, la falta de jugadores de diferente edad, categoría o nivel son limitaciones respecto a los sujetos evaluados. Aparte, la fatiga a la que induce el protocolo realizado puede ser que no sea suficiente para que los jugadores experimenten grandes cambios biomecánicos en el aterrizaje y puede que no simule correctamente las condiciones reales de un partido completo de fútbol sala (físicas y psicológicas). Por otro lado, no se ha realizado un análisis estadístico que corrobore que las diferencias entre el pre y el post son significativas. En futuras investigaciones sería interesante ampliar la muestra de participantes y así comprobar la utilidad del protocolo de fatiga o en vez de realizar protocolos de fatiga específicos, probar protocolos más generales o partidos competitivos como hemos visto con anterioridad y añadir a estos estudios variables cinéticas mediante la utilización de plataformas de fuerza. Por

otro lado, sería interesante comprobar las diferencias estadísticamente entre la situación previa y posterior a la aplicación del protocolo.

Conclusión

Este estudio ha analizado sobre cómo la fatiga afecta a la biomecánica del salto en jugadores de fútbol sala juvenil, para ello se ha realizado un protocolo de fatiga específico y se ha aplicado la escala LESS. Los resultados obtenidos tanto en las variables cuantitativas y en las puntuaciones de la escala LESS han sido diferentes a los resultados que nos ofrece la literatura científica, algunas variables han empeorado, pero no de manera importante, otras no han sufrido cambios y otras han llegado a mejorar tras la aplicación del protocolo, lo que nos puede sugerir que el protocolo utilizado no sea suficiente para fatigar a los jugadores. Por lo tanto, podemos concluir que el protocolo de fatiga no ha demostrado cambios en las variables cinemáticas analizadas y sería interesante realizar futuros estudios relacionados con este tema.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Marta Domínguez, tutora de este trabajo por su dedicación, consejos, su profesionalidad. Quiero también agradecer al club Valladolid Tierno Galván por permitirme la oportunidad de trabajar con sus jugadores, agradecer al entrenador Miguel Martín, como al resto del cuerpo técnico y a los jugadores del equipo. Por último, agradecer a mi padre y a mi madre por la ayuda y su apoyo constante, quienes han sido una parte fundamental durante estos años de carrera.

Bibliografía

- Althoff, K., & Hennig, E. (2011). A comparison of futsal and outdoor soccer—consequences for footwear design. *Footwear Science*, 3(sup1), S1-S2.
- Álvarez, J. C. B., Vera, J. G., & Hermoso, V. M. S. (2004). Análisis de la frecuencia cardíaca durante la competición en jugadores profesionales de fútbol sala. *Apunts. Educación física y deportes*, 3(77), 71-78.
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International journal of sports physiology and performance*, 2(2), 111-127.
- Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of sports sciences*, 26(1), 63-73.
- Bard, S., Cooper, B. A., Kosel, K., Runion, O., & Thorwick, K. (2016). Influence of Fatigue on Jump and Land Movement Patterns.
- Borotikar, B. S., Newcomer, R., Koppes, R., & McLean, S. G. (2008). Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb landing postures: central and peripheral contributions to ACL injury risk. *Clinical biomechanics*, 23(1), 81-92.
- Busara, j., chentanez, t., pintong, m., & widjaja, w. (2015). the effects of the 11+ training programme on core stability performance in adolescent in adolescent futsal players. *journal of sports science and technology* volume, 15(1).
- Butler, R. J., Crowell III, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical biomechanics*, 18(6), 511-517.
- Calderón López, D. A. (2023). Indicador biomecánico de limitación articular enfocado a la prevención de lesiones en futbolistas.
- Carling, C., & Dupont, G. (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play?. *Journal of sports sciences*, 29(1), 63-71.
- Carlson, V. R., Sheehan, F. T., & Boden, B. P. (2016). Video analysis of anterior cruciate ligament (ACL) injuries: a systematic review. *JBJS reviews*, 4(11), e5.

- Castagna, C., D'Ottavio, S., Vera, J. G., & Álvarez, J. C. B. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *Journal of Science and medicine in Sport*, 12(4), 490-494.
- Chappell, J. D. (2005). Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics...
- Coutts, A. J. (2016). Fatigue in football: it's not a brainless task!. *Journal of sports sciences*, 34(14), 1296-1296.
- Dal Pupo, J., Detanico, D., Ache-Dias, J., & Santos, S. G. D. (2017). The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on sprint performance and kinematics of the lower limbs. *Journal of sports sciences*, 35(1), 81-88.
- Doğramacı, N. S., & Watsford, L. M. (2006). A comparison of two different methods for time-motion analysis in team sports. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 73-83.
- Dogramaci, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). Time-motion analysis of international and national level futsal. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 646-651.
- Fong, C. M., Blackburn, J. T., Norcross, M. F., McGrath, M., & Padua, D. A. (2011). Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *Journal of athletic training*, 46(1), 5-10.
- Haddas, R., Sawyer, S. F., Sizer Jr, P. S., Brooks, T., Chyu, M. C., & James, C. R. (2016). Effects of volitional spine stabilization and lower extremity fatigue on trunk control during landing in individuals with recurrent low back pain. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(2), 71-78.
- Junge, A., & Dvorak, J. (2010). Injury risk of playing football in Futsal World Cups. *British journal of sports medicine*, 44(15), 1089-1092.
- Leite, W. S. (2016). Physiological demands in football, futsal and beach soccer: a brief review. *European Journal of Physical Education and Sport Science*.
- Leite, W. S. S. (2012). Biomecánica aplicada al deporte: contribuciones, perspectivas y desafíos. *Lecturas: educación física y deportes*, (170), 1-9.
- Lewis, M. (2018). It's a hard-knock life: game load, fatigue, and injury risk in the national basketball association. *Journal of Athletic Training*, 53(5), 503-509.
- Liveris, N. I., Tsbou, C., Tsimeas, P. D., Papageorgiou, G., Xergia, S. A., & Tsiokanos, A. (2021). Evaluating the effects of match-induced fatigue on

- landing ability; the case of the basketball game. *International Journal of Exercise Science*, 14(6), 768.
- Llana Belloch, S., Pérez Soriano, P., & Lledó Figueres, E. (2010). La epidemiología del fútbol: una revisión sistemática. *Revista internacional de medicina y ciencias de la actividad física y el deporte*, 10(37), 22-40.
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports medicine*, 40, 859-895.
- Matzenbacher, F., Pasquarelli, B. N., Rabelo, F. N., & Stanganelli, L. C. R. (2014). Demanda fisiológica no futsal competitivo. Características físicas e fisiológicas de atletas profissionais. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 7(3), 122-131.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519-528.
- Moreno, S. M. (2020). La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular: revisión sistemática. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (37), 820-826.
- Onate, J., Cortes, N., Welch, C., & Van Lunen, B. (2010). Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *Journal of sport rehabilitation*, 19(1), 41-56.
- Padua, D. A., Boling, M. C., DiStefano, L. J., Onate, J. A., Beutler, A. I., & Marshall, S. W. (2011). Reliability of the landing error scoring system-real time, a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *Journal of sport rehabilitation*, 20(2), 145-156.
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., De La Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of athletic training*, 50(6), 589-595.
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett Jr, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. *The American journal of sports medicine*, 37(10), 1996-2002.

- Prieske, O., Demps, M., Lesinski, M., & Granacher, U. (2017). Combined effects of fatigue and surface instability on jump biomechanics in elite athletes. *International journal of sports medicine*, 38(10), 781-790.
- Pupo, J. D., Detanico, D., & Santos, S. G. D. (2014). The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on isokinetic knee torque production. *Sports Biomechanics*, 13(4), 332-340.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Bravo, D. F., & Wisløff, U. L. R. I. K. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5), 934-942.
- Reilly, T., Drust, B., & Clarke, N. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*, 38, 357-367.
- Rodrigues, V. M., Ramos, G. P., Mendes, T. T., Cabido, C. E., Melo, E. S., Condessa, L. A., ... & Garcia, E. S. (2011). Intensity of official futsal matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2482-2487.
- Sañudo Corrales, F. D. B., Sánchez Hernández, J., Bernardo Filho, M., Abdi, E., Taiar, R., & Núñez, J. (2019). Integrative Neuromuscular Training in Young Athletes, Injury Prevention, and Performance Optimization: A Systematic Review. *Applied sciences*, 9 (18), 3839-3857.
- Small, K., McNaughton, L. R., Greig, M., Lohkamp, M., & Lovell, R. (2009). Soccer fatigue, sprinting and hamstring injury risk. *International journal of sports medicine*, 573-578.
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of science and medicine in sport*, 13(1), 120-125.
- Tsarbou, C., Liveris, N. I., Tsimeas, P. D., Papageorgiou, G., Xergia, S. A., & Tsiokanos, A. (2021). The effect of fatigue on jump height and the risk of knee injury after a volleyball training game: A pilot study. *Biomedical Human Kinetics*, 13(1), 197-204.
- Van Melick, N., Van Rijn, L., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., Hoogeboom, T. J., & Van Cingel, R. E. H. (2019). Fatigue affects quality of movement more in ACL-reconstructed soccer players than in healthy soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27, 549-555.

- Weinhandl, J. T., Smith, J. D., & Dugan, E. L. (2011). The effects of repetitive drop jumps on impact phase joint kinematics and kinetics. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 108-115.
- Wesley, C. (2007). A Two-Hour Basketball Practice Increases Landing Error Scoring System Scores in Female Collegiate Basketball Players.
- Yu, P., Gong, Z., Meng, Y., Baker, J. S., István, B., & Gu, Y. (2020). The acute influence of running-induced fatigue on the performance and biomechanics of a countermovement jump. *Applied Sciences*, 10(12), 4319.
- Zebis, M. K., Bencke, J., Andersen, L. L., Alkjaer, T., Suetta, C., Mortensen, P., ... & Aagaard, P. (2011). Acute fatigue impairs neuromuscular activity of anterior cruciate ligament-agonist muscles in female team handball players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), 833-840.

Anexos

Anexo 1

Consentimiento informado



Universidad de Valladolid

DOCUMENTO INFORMATIVO Y ACUERDO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO EVALUACIÓN DE LA FATIGA EN JUGADORES DE FÚTBOL SALA

Explicación de la prueba

La prueba de evaluación se realizará utilizando un protocolo de fatiga, el FIRP, se trata de una prueba de 40 minutos de duración que simula la naturaleza de los movimientos de un partido de fútbol sala, previo a este protocolo se llevará a cabo un test de salto (Medición del Jump-Landing Task), saltando desde una caja o un banco y después de realizar el protocolo se volverá a realizar de nuevo este test. Para la elaboración del estudio será necesaria la grabación del salto para poder analizar las variables cinemáticas (altura del salto, ángulo del tobillo, la rodilla y la cadera...) y se les colocará unos marcadores reflectantes en el tobillo, la rodilla y el trocánter (cadera), es recomendable que los jugadores lleven ropa deportiva bien ajustada como pueden ser unas mallas negras.

Riesgos y molestias que implica la prueba

Se trata de una prueba alta intensidad, por lo tanto, en caso de lesión previa se deberá avisar antes de comenzar la prueba. No obstante, si se detecta alguna molestia se deberá avisar inmediatamente para detener la prueba.

Responsabilidad del participante

El participante tiene la responsabilidad de informar de su estado de salud o lesiones previas cuando se le pregunte.

Beneficios esperados

Los resultados de la prueba podrán ser utilizados para valorar la fatiga del participante y disminuir el riesgo de lesiones asociadas a la fatiga.

Campus Duques de Soria
Calle Universidad, 42004 Soria



Preguntas

Le animamos a que haga cualquier pregunta sobre los procedimientos seguidos en la prueba de esfuerzo o sus resultados en la prueba. Si tiene alguna preocupación o pregunta, por favor, pídanos más información.

Libertad para dar el consentimiento

He leído este formulario y entiendo sobre los procedimientos de la prueba que voy a realizar y sobre sus posibles riesgos y molestias. Sabidos dichos riesgos y molestias, y habiendo tenido la oportunidad de plantear preguntas que han sido contestadas satisfactoriamente, doy mi consentimiento para participar en esta prueba.

Fecha: _____

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Anexo 2

Representación gráfica del análisis cinemático



Nota: FR; flexión de rodilla, FC; flexión de cadera, FT; flexión del tronco, FPT; flexión plantar del tobillo, PMR; posición medial de rodilla, FLT; flexión lateral del tronco APPA/P; anchura de la posición de los pies amplia/pequeña, PPRE/I; posición de los pies rotación interna/externa, CPS; contacto con los pies simétricos, DFR; desplazamiento de flexión de la rodilla, DFC; desplazamiento de flexión de la cadera, DFT; desplazamiento de flexión del tronco, DMR; desplazamiento medial de la rodilla, : FI; fase inicial de caída, FA; fase de amortiguación, FIC; fase de impulso concéntrico, FV; fase de vuelo.

Anexo 3

Definición de las variables de la escala

Item LESS	Definición de error	Escala
Flexión de rodilla. Contacto inicial.	Rodilla flexionada menos de 30°	0: Ausencia 1: Presencia
Flexión de cadera. Contacto inicial.	Muslo alineado con el tronco.	0: Ausencia 1: Presencia.
Flexión de tronco. Contacto inicial.	Tronco vertical o en extensión.	0: Ausencia 1: Presencia
Flexión plantar de tobillo. Contacto inicial.	El pie contacta de talón a punta del pie o con pie plano.	0: Ausencia 1: Presencia
Posición medial de rodilla. Contacto inicial.	El centro de la rótula es medial respecto al mediopié.	0: Ausencia 1: Presencia
Flexión lateral de tronco. Contacto inicial.	La línea media del cuerpo se flexiona a derecha o izquierda del cuerpo.	0: Ausencia 1: Presencia
Anchura de la posición de apoyo de los pies: amplia. Pies completo contacto con el suelo.	Los pies se colocan a más anchura que los hombros (considerando el acromion).	0: Ausencia 1: presencia
Anchura de la posición de apoyo de los pies: pequeña. Pies completo contacto con el suelo.	Los pies se colocan a menos anchura que los hombros (considerando el acromion).	0: Ausencia 1: Presencia
Posición de los pies: rotación externa. Entre el contacto inicial y la máxima flexión de rodillas.	El pie rota más de 30° en rotación externa desde el contacto inicial hasta la máxima flexión de rodillas.	0:Ausencia 1: Presencia
Posición de los pies: rotación interna. Entre el contacto inicial y la máxima flexión de rodillas.	El pie rota más de 30° en rotación interna desde el contacto inicial hasta la máxima flexión de rodillas.	0: Ausencia 1: Presencia
Contacto con los pies simétrico. Contacto inicial.	Un pie aterriza antes que el otro pie o 1 pie aterriza de talón a punta y el otro pie aterriza punta a talón.	0: Ausencia 1: Presencia
Desplazamiento de flexión de la rodilla. Entre contacto inicial y máxima flexión de rodilla.	La rodilla tiene un desplazamiento angular menor de 45° entre el contacto inicial y la máxima flexión de rodillas.	0: Ausencia 1: Presencia
Desplazamiento de flexión de la cadera. Entre contacto inicial y máxima flexión de rodilla.	El muslo no se flexiona más sobre el tronco desde el contacto inicial a la máxima flexión de rodillas.	0: Ausencia 1: Presencia

Desplazamiento de flexión del tronco. Entre contacto inicial y máxima flexión de rodilla.	El tronco no se flexiona más desde el contacto inicial hasta la máxima flexión de rodillas.	0: Ausencia 1: Presencia
Desplazamiento medial de la rodilla. En el instante de máximo ángulo de valgo de rodilla.	En el punto más medial de la rótula el centro de la rótula es medial para el mediopié.	0: Ausencia 1: Presencia
Desplazamiento articular. Calidad de movimiento general.	Suave: el participante muestra gran desplazamiento del tronco, cadera y rodilla. Promedio: el participante muestra algo, pero no gran cantidad de desplazamiento de tronco, cadera y rodilla. Rígido: Poco o nulo desplazamiento de tronco, cadera y rodilla. Excelente: aterrizaje suave sin movimientos en el plano frontal o el transversal. Promedio: todos los demás aterrizajes. Pobre: el participante muestra un gran desplazamiento en el plano frontal o transversal, o el participante muestra un aterrizaje rígido con algún movimiento de plano frontal o plano transversal. Excelente: 0, Medio: 1 y Pobre: 2.	Suave: 0 Promedio: 1 Rígido: 2
Impresión general. Calidad de movimiento general.	Excelente: 0, Medio: 1 y Pobre: 2.	Excelente: 0 Medio: 1 Pobre: 2

Nota: Puntuación de la escala: excelente (<4), bueno (>4 y ≤5), moderado (>5 to ≤6), pobre (>6).