



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Educación Física y Salud

Efectos de un entrenamiento en circuito a alta
intensidad (HRC) vs. entrenamiento tradicional de
fuerza en jugadores de fútbol

Autor:

D. Cristian Marín Pagán

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Educación Física y Salud

Efectos de un entrenamiento en circuito a alta
intensidad (HRC) vs. entrenamiento tradicional de
fuerza en jugadores de fútbol

Autor:

D. Cristian Marín Pagán

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

El Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón, como Director de la Tesis Doctoral titulada *“Efectos de un entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC) vs. entrenamiento tradicional de fuerza en jugadores de fútbol”* realizada por D. Cristian Marín Pagán en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que se firma, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 15 de mayo de 2017.

Fdo.: Dr. D. Pedro E. Alcaraz

La presente Tesis Doctoral, ha sido posible gracias a la financiación de la Fundación Real Madrid, mediante la concesión de un proyecto de apoyo a la investigación en el área de las Ciencias del Deporte. Código P2011-31RM

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por ese apoyo incondicional en todas las etapas de mi formación tanto académica como personal. Por el sacrificio realizado en el día a día para proporcionarme la oportunidad de completar mi formación hasta el nivel deseado. Aunque a veces no lo demuestre, nunca tendré palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí. Una suerte y un orgullo haber nacido en el regazo de esta familia. Sin ellos nada de esto hubiera sido posible

A Vanesa, por soportarme cada día y saber comprenderme tanto en los buenos como en los malos momentos. Un apoyo fundamental en el día a día, ya no solamente en lo académico, también en lo personal y profesional. Hace ya más de una década que caminamos juntos y espero que sean muchas más. Gracias por estar ahí.

A Lupo, mi perro, por ayudarme a evadirme cada día cuando llego a casa. Estos animalitos nunca te esbozarán una mala cara. Sé que algún día leeré esto y él ya no estará, pero los buenos momentos nunca se olvidan. Mi perro fiel.

A mis compañeros, tanto a con los que actualmente comparto fatigas y alegrías del trabajo como a aquellos/as que pasaron y emprendieron nuevos caminos. Siempre es bueno tener presente que de todas las personas se aprende algo cada día. Gracias por saber comprenderme y apoyarme cuando se requiere. Seguiremos caminando juntos.

A la Universidad Católica de Murcia, sin el apoyo institucional y el trabajo diario de todos los que componemos esta gran familia, nada hubiera sido posible. En los tiempos actuales, es difícil toparse con una entidad que invierta en investigación y deporte y que nos conceda la oportunidad de seguir aportando nuestro granito de arena para evolucionar en el mundo de las Ciencias del Deporte. Creo que están en el buen camino.

A la Fundación Real Madrid, por habernos concedido esta ayuda para llevar a cabo el proyecto que culmina con esta Tesis Doctoral. Como siempre, mi Real Madrid, dándome alegrías (no sin sufrimiento) tanto en lo futbolístico como en lo académico. ¡Hala Madrid!

A mi director, Pedro Emilio, por haber confiado en mí desde el primer momento cuando le “tocó” ser mi tutor de prácticum en la Facultad. Desde ahí

empezó a forjarse todo, hemos pasado momentos buenos y menos buenos desde aquel mes de septiembre de 2011 en que comenzamos nuestra andadura en lo que hoy conocemos como Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo de la UCAM. Echando la vista atrás, nos damos cuenta de lo que hemos crecido, tanto en infraestructuras, servicios, recursos humanos... como a nivel personal. Esperamos seguir creciendo en todas esas facetas. Gracias por confiar en mí.

Especial agradecimiento merece el cuerpo técnico y jugadores del C.D. Guadalupe, por acceder a nuestra proposición mostrando un carácter totalmente colaborador desde el inicio del estudio. Sin dicha colaboración, este estudio no hubiera sido posible, más aun teniendo en cuenta las dificultades a la hora de tener acceso a realizar modificaciones en las planificaciones deportivas de los equipos de fútbol. Gracias de corazón.

“Aprender sin pensar es inútil. Pensar sin aprender, peligroso”
Confucio

ÍNDICE

RESUMEN	15
ABSTRACT	17
SIGLAS Y ABREVIATURAS	19
ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS	21
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	23
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	29
2.1. FACTORES DE RENDIMIENTO EN FÚTBOL	31
2.1.1. Rutas metabólicas.....	32
2.1.1.1. Rendimiento aeróbico.....	33
2.1.1.2. Rendimiento anaeróbico	34
2.1.2. Parámetros mecánicos	36
2.1.2.1. Aceleración y velocidad máxima	36
2.1.2.2. Fuerza y potencia	37
2.1.2.3. Agilidad.....	38
2.1.3. Composición corporal	39
2.1.4. Componentes técnico-tácticos	40
2.2. METODOLOGÍA TRADICIONAL DE LA PREPARACIÓN FÍSICA EN FÚTBOL.....	41
2.3. NUEVAS TENDENCIAS DE ENTRENAMIENTO Y ALTERNATIVAS A LA METODOLOGÍA TRADICIONAL.....	43
2.3.1. Entrenamiento concurrente. Definición y bases fisiológicas.....	44
2.3.2. Tipos de entrenamiento concurrente.....	45
2.3.2.1. Entrenamiento concurrente tradicional	45
2.3.2.2. Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).....	46
2.3.2.3. Entrenamiento con resistencias en circuito tradicional (CWT)	47
2.4. EL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIAS EN CIRCUITO A ALTA INTENSIDAD (HRC) COMO ALTERNATIVA A OTROS MÉTODOS TRADICIONALES Y CONCURRENTES	48

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS	51
CAPÍTULO IV: OBJETIVOS	55
CAPÍTULO V: ESTUDIO 1	59
5.1. MATERIAL Y MÉTODO.....	61
5.1.1. Diseño experimental.....	61
5.1.2. Muestra.....	61
5.1.3. Procedimientos	62
5.1.4. Análisis estadístico.....	70
5.2. RESULTADOS.....	71
5.3. DISCUSIÓN	81
CAPÍTULO VI: ESTUDIO 2.....	85
6.1. MATERIAL Y MÉTODO.....	87
6.1.1. Diseño experimental.....	87
6.1.2. Muestra.....	89
6.1.3. Procedimientos	90
6.1.4. Análisis estadístico.....	102
6.2. RESULTADOS.....	103
6.3. DISCUSIÓN	109
CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN	117
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES	123
CAPÍTULO IX: APLICACIONES PRÁCTICAS.....	129
CAPÍTULO X: LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS.....	133
CAPÍTULO XI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
CAPÍTULO XII: ANEXOS	153

RESUMEN

Introducción. El entrenamiento y desarrollo de la fuerza es uno de los objetivos más importantes en las periodizaciones deportivas de los equipos de fútbol. Tradicionalmente, se han usado sesiones de entrenamiento de fuerza y resistencia por separado, aumentando así el tiempo de las sesiones de entrenamiento. Esto genera un problema de recursos humanos y temporales a la hora de poder incluir programas de entrenamiento de fuerza, sobre todo en equipos semiprofesionales y amateur. Los entrenamientos en circuito de alta intensidad (HRC) trabajando con cargas de 6 repeticiones máximas podrían ser una alternativa, para trabajar fuerza y resistencia aeróbica simultáneamente.

Objetivo. El objetivo global de la presente Tesis Doctoral fue comprobar los efectos (agudos y adaptaciones) de un entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC) comparado con entrenamiento tradicional de fuerza (TS) en futbolistas.

Método. Estudio 1 (efectos agudos): 10 futbolistas de división Regional Preferente participaron en el estudio. El objetivo del estudio fue determinar el efecto sobre el sistema cardiorrespiratorio y el coste energético durante y después de un entrenamiento en HRC frente a un entrenamiento tradicional de fuerza. Los sujetos realizaron 1 sesión de familiarización, 1 sesión de test previos y 2 sesiones de entrenamiento con ambos protocolos (contralanceado). Durante el entrenamiento, se registró el consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, ratio de intercambio de gases respiratorios y coste energético utilizando un ergoespirómetro portátil. Durante 20 min tras la sesión de entrenamiento, adicionalmente a las variables analizadas también durante la sesión de entrenamiento, se registró el exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio. La concentración de ácido láctico en sangre también fue medida a los 1,5, 5 y 7 min post-ejercicio.

Estudio 2 (adaptaciones): 18 jugadores de división Regional Preferente participaron en el estudio. La muestra se dividió en dos grupos: el que entrenó en HRC (n = 9) y el grupo que entrenó en TS (n = 9). El entrenamiento tuvo una duración de 8 semanas, con una frecuencia semanal de 2 días de entrenamiento de fuerza (adicionales a su entrenamiento específico de campo). Tanto antes como después del periodo de entrenamiento, el consumo máximo de oxígeno, segundo umbral ventilatorio, composición corporal, capacidad de salto, aceleración y habilidad en sprints repetidos, fuerza isocinética

y fuerza dinámica fueron evaluados. **Resultados.** Estudio 1: el entrenamiento en HRC, produjo mayor activación del sistema cardiorrespiratorio ($p \leq 0,001$) al evaluar el consumo de oxígeno, la frecuencia cardiaca y el ratio de intercambio respiratorio, así como un mayor coste energético tanto durante la sesión de entrenamiento como al finalizar la misma. Del mismo modo, el exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio durante 20 min de registro post-sesión fue significativamente superior ($p \leq 0,001$) en el HRC en comparación con lo logrado por el grupo TS. La concentración de lactato en sangre también denotó diferencias significativas entre ambos entrenamientos, siendo mayor la respuesta metabólica tras el entrenamiento en HRC. Estudio 2: A nivel cardiorrespiratorio, se obtuvo una tendencia a la significación ($p \leq 0,08$) en el consumo máximo de oxígeno y en el tiempo total de prueba, así como mejoras significativas ($p \leq 0,05$) en el consumo de oxígeno en el punto del segundo umbral ventilatorio. Ambos grupos mostraron cambios significativos en la fuerza isocinética (el TS solamente en flexores de rodilla) y fuerza dinámica máxima en todos los ejercicios aplicados, sin embargo no hubo diferencias entre grupos. El grupo que entrenó en HRC, adicionalmente mostró un descenso significativo ($p \leq 0,05$) en la masa grasa y porcentaje graso, así como en el índice de fatiga en sprints repetidos. Para las variables de índice de fatiga en sprints repetidos y porcentaje de grasa corporal, también se encontraron diferencias significativas entre grupos, obteniendo mejores resultados el grupo que entrenó en HRC con respecto al grupo TS. No se encontraron diferencias significativas entre grupos ni en pre y post-test para el resto de las variables analizadas. **Conclusión.** El entrenamiento en HRC podría ser considerado como un buen método de trabajo para conseguir ganancias en fuerza muscular, así como modificaciones adicionales en la composición corporal y posibles mejoras del consumo máximo de oxígeno, con un tiempo reducido de entrenamiento respecto a las sesiones tradicionales de fuerza.

Palabras clave: coste energético, consumo de oxígeno, composición corporal, futbolistas, fuerza máxima.

ABSTRACT

Introduction. Strength training is a key factor in training periodization of soccer teams. Traditionally, coaches have used strength and endurance sessions separately. However, this is a problem because the duration of each session is relatively too long to include in amateur and semi-professional teams. High-intensity Circuit Training (HRC), consisting of 6 maximum repetitions with ~35 second of recovery, could be advantageous for improving strength and endurance simultaneously in short period of time. **Objective.** The main objective of this Doctoral Thesis was to compare the acute and chronic effects of HRC with a traditional strength protocol (TS) on the cardiorespiratory performance, body composition, strength and power in soccer players. **Methodology.** Study 1 (acute effects): The main objective was to determine the activation of the cardiorespiratory system and energy cost during and after an acute bout of HRC and TS protocols. Ten soccer players from the *Regional Preferente* category completed a familiarization session, a testing day, as well as 2 training sessions for both protocols (crossover). During the training sessions, oxygen consumption, heart rate, gas exchange ratio, and energy cost were measured with a portable gas analyser. Following each training session, the excess post-exercise oxygen consumption was also measured for 20 minutes. Additionally, blood lactate was measured at 1.5, 5 and 7 minutes post-exercise. Study 2 (chronic effects): 18 soccer players from the *Regional Preferente* category (HRC = 9; TS = 9) strength-trained for 8 weeks (twice a week) under supervision in addition to their specific field training. Pre- and post-testing measurements included maximal oxygen consumption, second ventilatory threshold, body composition, jump, acceleration, fatigue index in repeated sprint ability, isokinetic strength and dynamic strength. **Results.** Study 1: HRC showed greater ($p \leq 0.001$) acute effects on oxygen consumption, heart rate, respiratory exchange ratio and energy cost during training session compared with TS. Excess post-exercise oxygen consumption and energy cost were higher ($p \leq 0.001$) following HRC compared with TS. The blood lactate concentration, was higher ($p \leq 0.001$) after HRC compared with TS. Study 2: After 8 weeks of strength-training, the HRC group showed a trend ($p \leq 0.08$) for higher maximal oxygen consumption and time to exhaustion in the treadmill test and significantly higher ($p \leq 0.05$) in oxygen

consumption at the second ventilatory threshold. Both HRC and TS groups showed improvements in isokinetic strength (only in hamstrings for TS group) and dynamic strength. Significant pre-post and inter-group differences in the fatigue index and the percentage of fat were observed in HRC. No significant differences were shown for the others variables. **Conclusion.** HRC is a better tool for soccer players to achieve simultaneous improvements in cardiorespiratory and muscular performance in a reduced amount of training session time.

Key words: energy cost, oxygen consumption, body composition, soccer players, maximal strength.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

No se han incluido en este apartado las abreviaturas de las unidades métricas del sistema internacional ni las siglas referentes a estadística. Las abreviaturas citadas han sido ordenadas alfabéticamente.

%GC	Porcentaje de grasa corporal
CE	Coste energético
CMJ	Salto con contramovimiento
CO ₂	Dióxido de carbono
CWT	Circuito tradicional de fuerza con cargas
DEXA	Densitometría absorciométrica de energía dual por rayos X
ECG	Electrocardiograma
EPOC	Exceso de consumo de oxígeno tras el ejercicio
FC	Frecuencia cardíaca
FC _{máx}	Frecuencia cardíaca máxima
FDM	Fuerza dinámica máxima
HIIT	Entrenamiento interválico a alta intensidad
HRC	Entrenamiento de fuerza en circuito a alta intensidad
IF	Índice de fatiga
La ⁺	Lactato
MG	Masa grasa
MGti	Masa grasa tren inferior
MLG	Masa libre de grasa
PC	Fosfocreatina
RER	Cociente respiratorio
RM	Repetición máxima
RSA	Habilidad de sprints repetidos
TP	Torque pico
TS	Entrenamiento tradicional de fuerza

20

UN	Nitrógeno urinario
VO ₂	Consumo de oxígeno
VO _{2máx}	Consumo máximo de oxígeno
VO _{2máxR}	Consumo máximo de oxígeno relativo al peso corporal
VO _{2R}	Consumo de oxígeno relativo al peso corporal
VO _{2VT2}	Consumo de oxígeno en segundo umbral ventilatorio
VT2	Segundo umbral ventilatorio

ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ergoespirometría incremental maximal.....	64
Figura 2. Protocolos de entrenamiento	66
Figura 3. Mediciones ergoespirométricas durante el entrenamiento	67
Figura 4. Medición de valores de reposo.....	69
Figura 5. Evolución del promedio de volumen de oxígeno consumido durante cada fase de entrenamiento	72
Figura 6. Valores promedios de frecuencia cardíaca en los bloques 1 y 2 de entrenamiento.....	74
Figura 7. Coste energético durante ambos protocolos de entrenamiento.....	75
Figura 8. Evolución del exceso de consumo de oxígeno post-entreno.....	77
Figura 9. Coste energético durante el periodo de reposo posterior a la sesión de entrenamiento.....	78
Figura 10. Promedio de frecuencia cardíaca post-entreno.....	79
Figura 11. Evolución de la concentración de lactato en sangre tras la sesión de entrenamiento.....	80
Figura 12. Periodización ondulatoria de la carga para ambos protocolos de entrenamiento.....	88
Figura 13. Fase de inicio de la acción concéntrica en CMJ.....	91
Figura 14. Test de dinamometría isocinética.....	93
Figura 15. Densitometría para análisis de composición corporal	94
Figura 16. Reconocimiento médico previo	95
Figura 17. Test de sprints repetidos.....	98
Figura 18. Ejercicios de entrenamiento	101
Figura 19. Porcentajes de modificación de la composición corporal.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los participantes	62
Tabla 2. Ajuste de la carga de entrenamiento.....	65
Tabla 3. Duración de cada registro de entrenamiento por etapas	68
Tabla 4. Valores promedios de las variables analizadas durante las sesiones de entrenamiento.....	71
Tabla 5. Valores promedios de EPOC, FC, RER y CE tras cada sesión de entrenamiento.....	76
Tabla 6. Resultados globales de coste energético.....	81
Tabla 7. Distribución de las pruebas previas y posteriores al periodo de entrenamiento.....	89
Tabla 8. Características generales de los participantes	90
Tabla 9. Análisis de la dieta con recuerdo 24 h	99
Tabla 10. Cuantificación de las cargas de entrenamiento en campo	102
Tabla 11. Variables cardiorrespiratorias.....	104
Tabla 12. Análisis de la composición corporal	105
Tabla 13. Dinamometría isocinética en flexo-extensión de rodilla	107
Tabla 14. Habilidad de sprints repetidos	108
Tabla 15. Análisis de la capacidad de salto.....	108
Tabla 16. Velocidad de disparo	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Consentimiento informado	155
Anexo 2. Historia clínica	158
Anexo 3. Hoja de control de entrenamientos (estudio 1)	160
Anexo 4. Recordatorio de dieta.....	161

I - INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

El fútbol es uno de los deportes más populares del mundo, siendo practicado en la mayoría de países del planeta, practicado por unos 270 millones de personas. En los últimos años, la Liga de Fútbol Profesional española (LFP), ha sido nombrada como la mejor liga del Mundo, según la Federación Internacional de Historia y Estadística en Fútbol (IFFHS). De igual modo, según la IFFHS, el Real Madrid Club de Fútbol, sería el mejor equipo del siglo XX.

En la actualidad, la expansión de las ciencias del deporte aplicadas al fútbol ha ido en aumento (1). Como ocurre con otros deportes, *“el fútbol no es ciencia, pero la ciencia debe contribuir al aumento del rendimiento deportivo”* (2). Cada vez, el ámbito del fútbol profesional y amateur, está más abierto a incluir innovaciones científicas que ayuden a mejorar y controlar el rendimiento deportivo.

Aunque por todos es sabido que el nivel condicional en el fútbol no es tan determinante como en otros deportes (3), sí que es cierto que a veces puede marcar una clara diferencia entre diferentes niveles de rendimiento. Por ello, cada día la preparación física intenta integrarse de forma compleja con tareas que incluyan otros objetivos cognitivos, creando entrenamientos complejos e integrales que reproduzcan lo más cercanamente posible las situaciones reales de competición.

A nivel metabólico, tendríamos manifiesta una clara predominancia bajo vías aeróbicas, reduciéndose la contribución del metabolismo anaeróbico a un porcentaje aproximado al 10% del tiempo total de competición (4). Sí que es cierto que, las acciones determinantes en el juego se dan bajo predominancia anaeróbica (4-6), al tratarse de gestos explosivos como golpes, remates, disputas de balón, etc.

Por otro lado, durante una competición, se dan ciertas acciones que requieren de capacidades de aceleración, velocidad máxima, agilidad, fuerza y potencia. Todo ello se podría englobar como parámetros mecánicos que pueden ser determinantes en un encuentro de fútbol. Estas acciones de alta intensidad, conformarían un porcentaje aproximado del 2% de las acciones que se dan

durante una competición (4), aunque como se ha citado anteriormente, se trata de acciones determinantes para el resultado final (4-6).

La composición corporal, es un aspecto diferenciante entre diferentes niveles de rendimiento, pero se muestra como un factor muy homogéneo en la élite del fútbol (1, 7). Por ello es muy importante cuidar este aspecto desde las etapas tempranas en iniciación deportiva e intentar mantenerlo en niveles adecuados al nivel de competición de los deportistas. En la élite, se controla periódicamente que se tenga una composición corporal óptima, situándose el porcentaje graso de los futbolistas en un valor aproximado del 12% (1, 7).

El componente técnico-táctico del deporte del fútbol es de suma importancia, más aún al tratarse de un deporte en el cual se compite con un objeto móvil como es el balón (técnica) y se generan interacciones en espacio y tiempo entre 22 jugadores simultáneamente (táctica). Estaríamos hablando de cualidades mentales, habilidades adquiridas por un efecto del aprendizaje. Aun tratándose de factores mentales, está demostrado que dichos factores se pueden ver alterados por las cualidades físicas (8, 9) al tratarse de un deporte de interacción simultánea de factores físicos y mentales.

Tradicionalmente, en el fútbol se trabajaba de forma analítica, entrenando por un lado la preparación física y por otro las facetas técnico-tácticas. Hasta la actualidad, se ha ido evolucionando con la aplicación de tareas complejas con objetivos mixtos de rendimiento físico y mental, desarrollando métodos de entrenamiento integrales. No obstante, existen ciertas parcelas de la preparación física que son difíciles de integrar en tareas de juego con balón y que por lo tanto se siguen trabajando de forma aislada. Estos trabajos aislados, deberían quitar el menor tiempo posible al trabajo específico de campo.

Uno de los mayores problemas que se presentan en la actualidad a la hora de aplicar programas de entrenamiento de fuerza en fútbol, es la falta de tiempo para poder encuadrarlos sin quitar tiempo de entrenamiento en campo. Este problema, se ve acentuado cuando se trata de equipos no profesionales, que en la mayoría de los casos no perciben compensación económica o ésta es muy escasa, lo cual dificulta conseguir un mayor grado de compromiso por parte de los deportistas, más aún si lo que se les pide implica un tiempo extra al entrenamiento de campo. Por ello, es de vital importancia que la ciencia aporte

soluciones transferibles al campo del entrenamiento, con intención de solventar las dificultades que se presentan en el entrenamiento deportivo.

Con intención de solucionar estos problemas que presentan los métodos tradicionales de entrenamiento para todo tipo de poblaciones, surgen las metodologías de trabajo concurrentes, mediante las cuales se pretende trabajar fuerza y resistencia en una misma sesión de entrenamiento (10, 11). El principal inconveniente que se da con los métodos de entrenamiento concurrentes es la interferencia que puede generar el trabajo conjunto de diferentes cualidades físicas en una misma sesión (12). Por ello, son numerosos los estudios que se han centrado en conseguir máximo beneficio con mínima interferencia de cara a poder solucionar los problemas de exceso de tiempo que generan las metodologías tradicionales y de interferencia en las metodologías concurrentes.

II – FUNDAMENTACIÓN

TEÓRICA

II – FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El fútbol es un deporte de equipo, complejo y en el cual interaccionan multitud de factores tanto físicos como mentales (13). Al tratarse de un deporte de equipo, también juegan un papel importante las interacciones personales de los propios jugadores para el desarrollo del juego en conjunto.

Por ello, en este apartado se abordará el fútbol en todas sus vertientes, como deporte complejo que es, ya que todas ellas influirán en mayor o menor grado en el rendimiento deportivo del jugador y, en consecuencia, del equipo.

Por un lado, a nivel estrictamente condicional, se abordarán las implicaciones de los sistemas metabólicos aeróbicos y anaeróbicos, los cuales abarcan, diferenciadamente, determinadas situaciones, gestos deportivos, habilidades, etc. que se dan durante la competición. No menos importantes, serán los factores mentales y habilidades específicas del juego, siendo la técnica un aspecto muy importante en esta disciplina deportiva, más aún cuando se tiene que interaccionar con un móvil (balón).

Por otro lado, otro objetivo de esta fundamentación teórica será el mostrar la metodología de trabajo que se ha seguido en el fútbol, planteando sus ventajas e inconvenientes y las posibles soluciones que el campo de la ciencia puede aportar al entrenamiento del fútbol con la innovación en lo que a metodología de trabajo y protocolos de entrenamiento se refiere.

2.1. FACTORES DE RENDIMIENTO EN FÚTBOL.

El rendimiento en fútbol depende de multitud de factores técnicos, tácticos, físicos, fisiológicos y mentales (13). Por todo ello, el trabajo conjunto de los mismos se hace indispensable.

Desde el punto de vista fisiológico, en el fútbol se dan esfuerzos intermitentes de alta intensidad, incluyendo acciones tales como golpes de balón, remates de cabeza, saltos, aceleraciones, desaceleraciones, etc. (14), siendo precisamente éstas las acciones determinantes en las jugadas previas a gol.

En el fútbol profesional, el componente físico puede influir en muchos factores de gran importancia en los deportes colectivos, ya que está demostrada la conexión entre la parte física y mental en la funcionalidad del organismo a la hora de desarrollar tareas motrices dentro de un contexto deportivo (8, 9).

Centrándonos en la parte física, como se ha dicho anteriormente, se puede afirmar que son multitud las capacidades y factores que contribuyen, en mayor o menor grado, a conseguir un mayor rendimiento en el deporte del fútbol. Realizando un análisis de las demandas fisiológicas durante una competición de fútbol, podemos ver que se trata de un deporte en que se dan esfuerzos intermitentes a alta intensidad (3), en el que la mayor parte del tiempo (~ 90%) se está en zona aeróbica (4, 15) pero que las secuencias determinantes para el resultado final de un partido de fútbol suceden en acciones bajo una predominancia anaeróbica metabólicamente hablando (4-6). Por lo tanto, se podría afirmar que a nivel fisiológico se trata de una compleja interacción de reacciones metabólicas, cardiorrespiratorias y fisiológicas (16), las cuales pueden desencadenar ciertos procesos asociados a la fatiga y disminución del rendimiento físico (17).

Con respecto a la fuerza, tener unos altos niveles en todas sus manifestaciones es lo deseable en fútbol ya que, aparte de implementar el rendimiento deportivo, puede reducir el riesgo de lesión en los jugadores (18, 19), a parte de los beneficios ya nombrados sobre el rendimiento deportivo. No obstante, los mecanismos lesivos se consideran como una red multifactorial y todavía existe mucha controversia en la literatura sobre el grado de influencia que pueda tener cada parámetro sobre dichos mecanismos (20).

2.1.1. Rutas metabólicas.

De forma simplista, podríamos dividir las rutas metabólicas en 2 grupos según la predominancia energética en cada acción o situación de juego. Así, estaríamos hablando de las vías energéticas aeróbicas y de las anaeróbicas. En general, se puede afirmar que la predominancia metabólica aeróbica será en situaciones de intensidad moderada y baja, en las cuales no se requiere de una potencia energética (trabajo / tiempo) muy elevada. En contraposición, la predominancia anaeróbica, se dará en situaciones de juego a alta intensidad, las

cuales requieren grandes dosis de energía en un tiempo relativamente corto.

Por ello, es vital realizar un análisis profundo de las demandas fisiológicas del juego para poder saber lo que se debe entrenar y como entrenarlo y potenciar así el rendimiento físico de los deportistas.

2.1.1.1. Rendimiento aeróbico.

En relación al rendimiento cardiorrespiratorio se han encontrado que los valores de consumo de oxígeno máximos relativos ($VO_{2máxR}$) medios en futbolistas de élite se encuentran alrededor de los $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Davis, Brewer, & Atkin, 1992; Sporis, et al., 2009). Además, los jugadores con un $VO_{2máx}$ más elevado tienen menores valores de concentración de lactato en sangre y una mayor capacidad de "aclarar" dicha sustancia, incrementar las respuestas aeróbicas, recuperarse de esfuerzos intermitentes a alta intensidad y reponer los depósitos de fosfocreatina (PC) disponibles en el organismo (21). Por todo ello, uno de los objetivos de entrenamiento es conseguir incrementos en la potencia aeróbica máxima, ya que con el aumento del $VO_{2máx}$, también se incrementa el número de sprints realizados durante un partido y las intervenciones del jugador con balón (5).

Se ha observado que, en futbolistas de alto nivel, la distancia media recorrida durante un partido de fútbol está entre 10-12 km en jugadores de campo y sobre los 4 km en porteros (13), existiendo una relación directamente proporcional entre el $VO_{2máx}$ y las distancias recorridas (5, 22, 23), así como con el número de sprints realizados (24) durante un partido de fútbol.

De ese modo, conseguir mejorar el $VO_{2máx}$ puede ser un factor determinante para el rendimiento futbolístico puesto que, en términos generales, contribuye a implementar todos los factores de rendimiento a nivel fisiológico, pudiendo también ayudar a que otros parámetros a nivel psicológico, de toma de decisiones, fatiga mental, etc. se puedan ver beneficiados (8, 9).

En el mismo sentido, se han observado correlaciones moderadas entre $VO_{2máx}$ con la velocidad de disparo, sprint y salto (25) y con la capacidad de realización de sprint repetidos (26) siendo positivo conseguir modificaciones en dicho parámetro para contribuir al desarrollo de dichas habilidades específicas.

Otra variable cardiorrespiratoria relacionada con el rendimiento en fútbol

sería el segundo umbral ventilatorio (VT2). Este punto de compensación respiratoria, nos marca un cambio de predominancia a nivel metabólico, por lo tanto se trata de un factor muy importante a la hora de controlar y describir la intensidad relativa de un esfuerzo. Por otro lado, es sabido que la capacidad de activación de vías aeróbicas, es un factor determinante para poder mantener la intensidad de un ejercicio de alta intensidad, así como favorecer las transiciones de intensidades bajas a moderadas (27). Pese a su importancia, la literatura que hay alrededor de este parámetro en fútbol es escasa, ya que tradicionalmente se ha focalizado la atención sobre el $VO_{2máx}$, frecuencia cardiaca (FC) y concentración de lactato en sangre como indicadores de intensidad a nivel cardiorrespiratorio y metabólico.

En el fútbol, durante la competición, se da una intensidad media de esfuerzo aproximadamente del 70% del $VO_{2máx}$ (28), situándose esta intensidad ligeramente por debajo de los valores a los que se da el VT2 (75-80% del $VO_{2máx}$) en jugadores de fútbol (24, 29).

A lo largo de una temporada, se han constatado cambios en el VT2, encontrando modificaciones en FC y velocidad a la que se da el VT2, consiguiendo con ello un mayor rendimiento en dicho punto (30). Con ello, se evidencia que, el VT2, es un parámetro fundamental en el rendimiento físico óptimo del jugador de fútbol.

Por ello, conseguir incrementos en el rendimiento en VT2, sería un indicador de mejora del rendimiento deportivo, llevando consecuentemente un retraso en la fatiga al alejar más el punto de acumulación de metabolitos, acidificación a nivel celular y otros factores desencadenantes de esa fatiga que causa la disminución del rendimiento físico (16, 17).

2.1.1.2. Rendimiento anaeróbico.

Hay que remarcar que el 98% de las acciones que tienen lugar durante un encuentro de fútbol se realizan predominantemente con metabolismo aeróbico, mientras que solamente el 2% de las acciones tendrían un suministro energético con predominancia anaeróbica (4). No obstante, las acciones más determinantes durante un encuentro de fútbol: sprints, saltos, entradas, y acciones de uno contra uno se dan con una predominancia metabólica anaeróbica (31).

A nivel de metabolitos, tras un partido de fútbol, se encuentran valores medios de concentración de lactato en sangre de aproximadamente $5,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (32). Sin embargo, este parámetro no se muestra como un valor sensible para explicar la intensidad y el descenso del rendimiento físico durante un encuentro de fútbol (32), debido a que la concentración de este metabolito va fluctuando en base a la activación de vías energéticas anaeróbicas, siendo por tanto muy influyente la dinámica de cada partido en concreto. Por la naturaleza de dicho parámetro, la forma de medirlo (en sangre), no es totalmente representativa, ya que no permite una evaluación continua e ininterrumpida durante el desarrollo de una competición. Por el contrario, a nivel muscular, sí que se puede observar un descenso acentuado en los depósitos de glucógeno (32) tras una competición de fútbol, lo que podría reflejar esa pérdida del rendimiento físico.

Durante un partido de fútbol, se dan acciones de alta intensidad que van a generar altos niveles de lactato en sangre. Si estas acciones se realizan de forma repetida, van a estar altamente influenciadas por el desarrollo de los mecanismos de taponamiento y aclarado que tengan los jugadores. Teniendo en cuenta dichas concentraciones que se dan de este metabolito en sangre, la intensidad de un partido de fútbol sería comparable a la realización de ejercicios aislados de alta intensidad (17).

Una de las situaciones de competición más importantes que se dan bajo esta predominancia metabólica es la capacidad de realizar sprints repetidos. Dicha capacidad de los jugadores es determinante y muy influyente en el resultado final de un partido (33, 34). Multitud de estudios, evalúan esa habilidad como un factor indicativo de rendimiento específico en fútbol (35-39). El sprint, como situación de alta intensidad, está totalmente influido por la predominancia del metabolismo anaeróbico, siendo muy influyente el entrenamiento de dichas vías energéticas, sobre todo cuando se habla de la repetición de estas situaciones en cortos espacios de tiempo (33, 34).

Por lo tanto, el desarrollo de las acciones que se dan bajo esta ruta metabólica serán de suma importancia para el éxito deportivo y en consecuencia también se trataría de un factor importante a trabajar de cara a implementar el rendimiento en dichas acciones.

2.1.2. Parámetros mecánicos.

A nivel mecánico, en las situaciones de juego se pueden ver acciones de aceleración, desaceleración, velocidad máxima, saltos, disparos de balón, etc. Todas estas acciones, se dan en interacción con el balón y/o con los demás jugadores que están sobre el terreno de juego.

Las acciones nombradas, tal y como se puede ver, suelen ser determinantes para el desarrollo del juego y el resultado de la competición, por lo que es de gran importancia entrenarlas para su mejora e integrarlas en las tareas propuestas por entrenadores y preparadores físicos.

2.1.2.1. Aceleración y velocidad máxima.

Cuando se habla de carreras de alta velocidad, se podrían distinguir 2 fases determinantes: la aceleración y la máxima velocidad de sprint. En fútbol, la capacidad de aceleración es determinante, ya que la mayoría de los sprints realizados durante un partido no superan los 10 m (40), por lo que la velocidad máxima se alcanza en pocas ocasiones, ya que ésta suele darse a partir de los 40 metros (41).

Los sprints constituyen entre el 1 y 11% de la distancia total recorrida durante un partido de fútbol (6, 42), lo que corresponde con el 0,5 – 3,0% del tiempo total efectivo de un partido (5, 6). Así mismo, el sprint es considerado en la actualidad como uno de los factores importantes en los procesos de selección de talentos en jóvenes futbolistas (43).

La capacidad de aceleración, está muy influenciada por la producción de fuerza (44, 45), de ahí la gran importancia que cobra el entrenamiento de fuerza en estas modalidades deportivas que tanto dependen de la aceleración, por lo tanto, el entrenamiento de fuerza será un aspecto fundamental en las periodizaciones deportivas para conseguir mejoras en aceleración (46). Faude et al. (47), tras analizar 360 videos de situaciones de gol en la Bundesliga (Alemania), demostraron que la mayoría de las acciones de gol, venían precedidas de una carrera a alta velocidad. Recientemente, se ha publicado un estudio que relaciona directamente las distancias recorridas en sprint por centrocampistas y delanteros con el resultado final (48), lo que viene a remarcar la importancia que tienen las acciones de sprint para el desarrollo de la competición.

2.1.2.2. *Fuerza y potencia.*

En general, el entrenamiento de la fuerza, será un aspecto importante para deportistas, siendo la fuerza y la potencia factores fundamentales para el rendimiento de los futbolistas. La fuerza, como cualidad física básica, debería ser entrenada tanto de forma general, como específica, siendo la potencia mecánica la manifestación de la fuerza más interesante para el rendimiento en la mayoría de disciplinas deportivas, entre ellas el fútbol (49). La potencia está influenciada por multitud de factores y uno de estos factores es la fuerza máxima, cuyos niveles en los deportistas serán un condicionante en el desarrollo de la potencia muscular (49, 50).

En consecuencia, el entrenamiento de la fuerza máxima, como base, es fundamental para conseguir un óptimo desarrollo de los niveles de potencia en los deportistas (3). En acciones típicas de un partido de fútbol como son los golpes de balón, remates de cabeza, saltos, aceleraciones, desaceleraciones, etc. (14), existe una gran necesidad de producción de fuerza en un tiempo muy reducido.

Por otro lado, los niveles de fuerza en los futbolistas también son importantes, tanto para implementar el rendimiento en gestos específicos de este deportes (3, 14, 31, 50, 51) como para contribuir en el trabajo de prevención de lesiones (18, 19, 52, 53). En la actualidad, existe un auge de investigaciones que abordan los posibles beneficios del entrenamiento de fuerza sobre la prevención de lesiones. En ese sentido, recientes estudios (52, 54-56) concluyen que hay determinados parámetros de fuerza muscular que se consideran factores de riesgo de lesión. En esta línea, el entrenamiento de fuerza se muestra efectivo para incidir sobre dichos parámetros, generando adaptaciones que contribuyen a la reducción de ese riesgo de lesión (52, 53, 57).

Al igual que ocurre con otras cualidades físicas, se debe distinguir diferentes momentos de la temporada para el trabajo de ciertas manifestaciones de la fuerza, siendo adaptado siempre este trabajo a las características y necesidades colectivas e individuales del equipo. Habitualmente, en pretemporada se suele recomendar conseguir un aumento de masa muscular en aquellos futbolistas que lo precisen, mientras que en fases avanzadas se buscan adaptaciones a nivel neuromuscular (18).

Por otro lado, un reciente meta-análisis (58) diversos estudios también han mostrado que el entrenamiento de fuerza, puede producir adaptaciones a nivel cardiorrespiratorio, principalmente en parámetros de economía de carrera. Con lo cual, los beneficios del entrenamiento de fuerza van más allá de lo que específicamente se busca con dicho entrenamiento, de ahí la gran importancia que cobra la inclusión de programas de entrenamiento de fuerza en las periodizaciones deportivas de los equipos de fútbol, tanto a nivel profesional como en categorías semi-profesionales.

Centrándonos en la metodología de entrenamiento de la fuerza podemos ver que, en base a la literatura, las recomendaciones generales para futbolistas irían orientadas a cargas altas, entre el 85% y el 95% de la repetición máxima (1RM) con especial focalización en una fase concéntrica realizada a máxima velocidad (3, 51) y una fase excéntrica lenta (59). La mayoría de los estudios, aplican entrenamientos de fuerza durante 6-12 semanas, aunque lo ideal sería aplicarlos durante toda la temporada, diferenciando en distintas fases según los objetivos a trabajar (51).

2.1.2.3. *Agilidad.*

La agilidad se podría definir como la capacidad de realizar movimientos de cuerpo completo a alta velocidad, lo que conlleva un cambio en el posicionamiento del cuerpo y en la dirección de los vectores de movimiento (60) con objetivo de adaptarse a una situación de juego. Por lo tanto, partiendo de la presente definición, la agilidad será una habilidad muy presente en los deportes de equipo en general y particularmente en el fútbol. La principal manifestación de la agilidad durante una competición de fútbol, sería la combinación de sprint con cambios de dirección, a lo que en ocasiones se une el dominio del balón (43).

La metodología clásica de testar la agilidad en fútbol ha sido mediante carreras de velocidad, incluyendo determinados cambios de dirección (43, 61) e incluyendo estímulos concretos de discriminación sensorial (60).

Se recomienda que las habilidades de agilidad sean entrenadas de manera compleja junto con capacidad de salto y velocidad de reacción (60), ya que es como se manifiestan todas las acciones de agilidad que se dan en fútbol. El entrenamiento de estas habilidades en edades tempranas es fundamental, ya que

es cuando el desarrollo de las mismas se encuentra en una fase más sensible (43). En este sentido, las habilidades de agilidad suelen ser primordiales en la detección de jóvenes talentos (43), haciéndose muy recomendable su evaluación y control durante esas etapas (43, 61).

2.1.3. Composición corporal.

El estudio de la composición corporal, con objetivo de discriminar masa grasa, masa muscular, etc., es muy importante en todas las modalidades deportivas. En muchas disciplinas, entre ellas el fútbol, las características de composición corporal pueden condicionar el nivel de rendimiento que se llegue a alcanzar. En este sentido, encontramos que la composición corporal es uno de los factores más influyentes sobre el rendimiento a nivel de potencia anaeróbica y situaciones de sprint (62).

Sutton et al. (7), concluyeron que la composición corporal de los futbolistas profesionales es distinta a los valores de referencia de la población general, mediante la realización de una densitometría (DXA). Tras analizar la composición corporal de 56 (40 caucásicos; 16 no caucásicos) futbolistas profesionales de la English Premier League, obtuvo que los futbolistas presentaban un porcentaje de grasa del $10,6 \pm 2,1\%$, y unos valores de masa muscular del $81,3 \pm 2,0\%$. En este estudio se encontraron diferencias significativas entre razas, pero no entre posiciones que ocupaban en el terreno de juego. Los autores concluyeron que poseer unas características antropométricas determinadas puede ser considerado como un factor determinante para que un jugador pueda competir en la élite del fútbol. También se han constatado diferencias en jugadores jóvenes, al comparar grupos de edad desde los 12 a los 20 años, sobre todo en masa grasa (63). De igual modo, en la élite, se observan diferencias entre futbolistas caucásicos y no caucásicos, presentando estos últimos una menor tendencia a la acumulación de masa grasa (7).

Tras comprobar la homogeneidad existente entre jugadores de alto rendimiento, se puede afirmar que la composición corporal es un factor que les diferencia del resto de población, pero que una vez se alcanza la competición de alto nivel, son otros factores los que determinarán, en mayor medida, el rendimiento deportivo. En la misma línea, Sporis et al. (1), encontraron resultados

similares en cuanto a composición corporal tras analizar una muestra de 270 jugadores de élite de la liga croata. Éstos obtuvieron valores medios de $11,9 \pm 3,1\%$ para porcentaje graso, medido mediante antropometría (7 pliegues cutáneos: tricipital, subescapular, medioaxilar, suprailiaco anterior, pectoral, abdomen y muslo), un peso corporal medio de $78,4 \pm 3,1$ kg y una altura media de $181,4 \pm 2,5$ cm.

Un reciente estudio (64), sugiere que la composición corporal, junto con la capacidad aeróbica, se deberían evaluar también al final del periodo competitivo, con objetivo de tener un mayor rendimiento en la siguiente temporada.

2.1.4. Componentes técnico-tácticos.

Indudablemente, el componente técnico-táctico es un factor determinante en el fútbol, considerándose de gran importancia la capacidad de toma de decisiones (65), sobre todo en situaciones de estrés competitivo.

Actualmente, se ha avanzado mucho en el estudio del comportamiento técnico-táctico así como de las demandas fisiológicas en tareas de entrenamiento con espacios reducidos, lo que incrementa notablemente la intensidad de la tarea a medida que se reduce el espacio y crece la densidad de jugadores en cada zona (66). Con respecto a la influencia de la fatiga física en el desarrollo de las habilidades técnicas expresadas en tareas de entrenamiento de fútbol en espacios reducidos, se ha demostrado que tras la tarea se da una reducción importante en el rendimiento físico, pero que ésta no se manifiesta de manera significativa en las habilidades técnicas desarrolladas durante dicha tarea (67).

El control postural, ha demostrado ser uno de los principales factores influyentes en el desarrollo de las habilidades técnicas específicas del fútbol cuando se está en situación de juego, sobre todo en situaciones que se dan bajo presión del oponente (68). Está demostrada la gran influencia que tiene el desarrollo de la fuerza, en todas sus vertientes, sobre el control postural, por lo que de forma indirecta, la fuerza también estaría influenciando a la manifestación de las habilidades técnicas durante una situación real de juego (69).

Con respecto a la capacidad de toma de decisiones en situaciones reales de juego, es importante remarcar la influencia que la fatiga tiene sobre esta faceta de

la competición, quedando demostrado que existe una relación inversa que provoca una reducción de la capacidad de tomar decisiones a medida que se incrementa la fatiga física (8, 9), sobre todo a nivel anaeróbico. De tal manera, nuevamente encontramos una interacción entre los factores directamente relacionados con la preparación física y la expresión de la técnica y la táctica en una competición de fútbol.

Por lo expresado, aunque a priori se muestre el entrenamiento técnico-táctico como algo que quedaría alejado de la preparación física, está suficientemente demostrada la interacción de ambas parcelas del entrenamiento deportivo (8, 9). Principalmente porque el fútbol se trata de un deporte basado en interacciones complejas de diferentes capacidades físicas y mentales (13). En consecuencia, es primordial integrar el componente técnico-táctico en tareas complejas en las cuales se trabajen simultáneamente cualidades físicas y mentales.

2.2. METODOLOGÍA TRADICIONAL DE LA PREPARACIÓN FÍSICA EN FÚTBOL.

Los programas de entrenamiento diseñados para la mejora del rendimiento deportivo, buscan variaciones en parámetros de condición física, incluyendo fuerza muscular, masa muscular, resistencia cardiovascular y composición corporal (70-73). Estos objetivos se han conseguido con la aplicación de entrenamientos de fuerza y entrenamiento aeróbico.

Tal y como se ha comentado, el desarrollo de la fuerza es primordial en los futbolistas. El entrenamiento de la fuerza máxima se establece como la base del entrenamiento de la resistencia (19) y de la potencia (74). Para ello es necesario el entrenamiento de la fuerza máxima con cargas altas y pocas repeticiones (19). En la misma línea, Schmidtleicher (59) sugiere que el entrenamiento de fuerza en futbolistas ha de ser con movimientos dinámicos y pocas repeticiones (3-7 repeticiones). La carga de entrenamiento ha de ser entre el 85% y el 100% del 1RM con movimientos explosivos (75) y una fase excéntrica lenta (59). Trabajar con cargas del 85% del 1RM, ha demostrado ser más eficaz para los atletas en lo que a ganancias de fuerza máxima se refiere (76). Por lo tanto, se recomienda aplicar métodos de entrenamiento que produzcan adaptaciones neuromusculares con ganancias moderadas de masa muscular (75).

En otro sentido, Cometti (19), propuso un entrenamiento de la fuerza en

campo basado en encadenamientos de ejercicios, que divide como ejercicios: generales (no tienen relación directa con el fútbol), multiformes (no respetan las condiciones del juego de competición) y específicos (ejercicios de competición). Mediante este método de entrenamiento, los encadenamientos, se realiza una secuencia de ejercicios siguiendo el orden general-multiforme-específico. Los ejercicios de musculación con cargas se sitúan en el grupo de ejercicios generales.

El trabajo de musculación con pesos libres y máquinas, es el método habitualmente más usado para conseguir un aumento del volumen muscular, la fuerza, la potencia y la resistencia muscular a nivel local (77, 78). Sin embargo, tradicionalmente, se han usado por separado sesiones de entrenamiento de fuerza y resistencia. Esto ha supuesto un problema para dar facilidades de entrenamiento al deportista y facilitar la supervisión del entrenamiento, así como para los deportistas que tienen limitaciones en el tiempo de entrenamiento (79).

El entrenamiento de fuerza tradicional (TS), en el cual se movilizan cargas pesadas, en torno al 85% del 1RM (~ 6RM), con periodos de recuperación moderados/largos (2-5 min) entre series, usando pesos libres o máquinas de musculación, se realiza con frecuencia para conseguir modificaciones en parámetros de condición física (78). Este tipo de trabajo está asociado a un aumento significativo en la masa muscular y la fuerza (80-83). Estos incrementos en masa y fuerza muscular son importantes para la mejora de diferentes aspectos del rendimiento de deportistas (84-86).

El entrenamiento tradicional de fuerza con cargas de alta intensidad (6RM), produce importantes adaptaciones musculares (79). En lo que a resistencia cardiovascular se refiere, las respuestas cardiorrespiratorias que se dan durante el entrenamiento TS (87) hacen que éste se muestre insuficiente para inducir adaptaciones cardiovasculares significativas en los sujetos (88). Se ha demostrado, que la frecuencia cardíaca durante un entrenamiento con protocolo TS es relativamente baja, dándose valores medios de $113,0 \pm 13,1$ latidos por minuto, lo que equivaldría a ~ 62% de la FC máxima (87). Si a todo esto se suma los tiempos prolongados de entrenamiento que son necesarios con el TS (87), supone un gran problema a la hora de aplicarlo en disciplinas deportivas como el fútbol, ya que el tiempo de entrenamiento en futbolistas semiprofesionales es muy limitado.

Desde el punto de vista del sistema cardiorrespiratorio, el entrenamiento

tradicional de fuerza presenta una intensidad relativamente baja, alrededor del 60% de la frecuencia cardiaca máxima ($FC_{m\acute{a}x}$) (87), la cual es insuficiente para producir adaptaciones cardiorrespiratorias significativas (89). No existen estudios concluyentes que hayan demostrado ganancias significativas a nivel cardiorrespiratorio tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza con metodología tradicional, por lo que para entrenar tanto la fuerza como la resistencia aeróbica, sería preciso introducir sesiones específicas de entrenamiento de la resistencia.

Otra metodología de trabajo de la fuerza muy usada en equipos no profesionales son los circuitos tradicionales con auto-cargas. El principal motivo de la aplicación de dicha metodología de trabajo es la ausencia de medios para llevar a cabo un entrenamiento de fuerza con resistencias. Esta metodología de entrenamiento carece de evidencia científica y casi todo lo escrito al respecto se ha hecho desde una visión empírica basada en la experiencia. El principal inconveniente que presenta, al igual que los entrenamientos con bajas resistencias, es que la intensidad es insuficiente, por lo que el estímulo para generar adaptaciones musculares es mínimo (78, 90). Este es un problema notable para aquellos deportistas cuyos objetivos son aumentar moderadamente la masa muscular y los factores neurales que intervienen en la activación muscular. Según Cometti (19), es preferible no realizar el entrenamiento de fuerza, si éste no se va a aplicar con las condiciones de intensidad y calidad suficientes como para obtener beneficios de dicho trabajo.

Por lo expuesto, los métodos tradicionales de entrenamiento de la fuerza, actualmente no serían considerados como una herramienta óptima para incluir en las planificaciones deportivas de los futbolistas que buscan aumentar su rendimiento físico y deportivo, ya que se muestran como métodos incompletos en relación a las demandas y exigencias existentes en este tipo de deportes.

2.3. NUEVAS TENDENCIAS DE ENTRENAMIENTO Y ALTERNATIVAS A LA METODOLOGÍA TRADICIONAL.

En la actualidad, con el objetivo de solucionar algunos de los problemas que presentan las metodologías tradicionales de entrenamiento, han surgido nuevas corrientes y métodos de trabajo. Estas nuevas corrientes, en general buscan un

trabajo integral y simultáneo de varias cualidades físicas y/o mentales con un tiempo de entrenamiento lo más reducido posible.

2.3.1. Entrenamiento concurrente. Definición y bases fisiológicas.

El entrenamiento concurrente, es aquel que busca la consecución de mejoras conjuntas a nivel cardiorrespiratorio (rendimiento aeróbico) y neuromuscular (rendimiento en fuerza) con un mismo protocolo de entrenamiento (10, 11), siendo la metodología más comúnmente aplicada la de entrenamiento en circuito con resistencias (91).

El principal problema que se plantea a la hora de generar adaptaciones mediante metodologías de trabajo concurrente, es el llamado efecto de interferencia. Se conoce como efecto de interferencia a la limitación en las adaptaciones a nivel cardiorrespiratorio y metabólico que se pueden dar cuando entrenamos conjuntamente ambas cualidades (12), ya que ciertos procesos adaptativos pueden inhibir a otros a la hora de generar mejoras, tanto a nivel de fuerza como de resistencia. El desarrollo de los niveles de potencia, sería la manifestación que más afectada se vería por un entrenamiento concurrente aeróbico y de fuerza (92). Según Docherty et al. (93), se debería entrenar con cargas cercanas al 5RM para el bloque de fuerza y con intensidades por debajo del VT2 para la parte de resistencia para minimizar el efecto de interferencia. El punto de máxima interferencia entre fuerza y resistencia, se encuentra en el trabajo concurrente a intensidades de 10RM o inferiores combinadas con intensidades del 95-100% del $VO_{2máx}$ (93). Por ello, la magnitud de la carga, es un aspecto muy a tener en cuenta a la hora de diseñar un tipo de entrenamiento concurrente, ya que en ciertas modalidades deportivas, como se ha expuesto anteriormente, la potencia es un factor determinante a la hora de rendir en una competición.

Recientemente, una revisión bibliográfica con meta-análisis (94) sobre entrenamiento en circuito, concluye que, el entrenamiento en circuito con resistencias, se muestra como la metodología más efectiva para conseguir para conseguir mejoras a nivel de $VO_{2máx}$. Este entrenamiento debe tener una intensidad superior al 60% del 1RM, con una duración por sesión de 20 a 27 min y una frecuencia semanal de 2 a 3 días, siendo aplicado durante un mínimo de 6 a

11 semanas (14 a 28,5 sesiones totales).

Concretamente en el fútbol, las recomendaciones sobre entrenamiento concurrente van en una línea similar, siendo claramente la alta intensidad lo que predomina tanto en el entrenamiento de fuerza ($\geq 85\%$ de 1RM) como en el de resistencia (90-95% de $FC_{\text{máx}}$) cubriendo así los requerimientos específicos de esta modalidad deportiva (3). Un estudio reciente de revisión sistemática (95), concluye que el entrenamiento concurrente a alta intensidad parece ser el más apropiado para conseguir mejoras importantes en el rendimiento de futbolistas de alto nivel.

2.3.2. Tipos de entrenamiento concurrente.

Los entrenamientos concurrentes están en auge, especialmente por el atractivo que genera poder entrenar simultáneamente diferentes capacidades físicas, obteniendo con ello un beneficio en cuanto a optimización del tiempo de entrenamiento invertido. Más aún, este ahorro de tiempo, genera especial interés en las disciplinas deportivas como el fútbol, que al tratarse de juegos de interacción muy complejos precisan de la máxima eficiencia en lo que a gestión del tiempo de entrenamiento se refiere.

A la hora de seleccionar y aplicar una metodología concurrente, hay que tener en cuenta distintos factores como el orden de aplicación, volumen intensidad, etc. que pueden determinar la eficacia de la interacción de las cualidades a trabajar.

Por ello, es preciso abordar este apartado teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de los diferentes modos de entrenamiento concurrente con que nos encontramos en la actualidad.

2.3.2.1. Entrenamiento concurrente tradicional.

Entendemos como protocolo de entrenamiento concurrente tradicional, a aquel que combina entrenamiento de resistencia y de fuerza en 2 bloques claramente diferenciados dentro de una misma sesión. En este tipo de entrenamiento, cobra especial importancia el efecto de interferencia, al tratarse de una combinación de 2 entrenamientos “puros” de fuerza y resistencia (92).

Diversos estudios (92, 96-99), han investigado sobre la interacción de ambos bloques en cuanto al orden de aplicación de los bloques se refiere. La combinación fuerza seguido de resistencia parece reducir ese efecto de interferencia al compararla con la opción de resistencia seguido de fuerza sobre todo cuando el entrenamiento de fuerza se lleva a cabo con cargas elevadas (98).

Un estudio que se realizó en jugadores de fútbol (99), no encontró diferencias a la hora del orden de aplicación, combinando entrenamiento interválico de alta intensidad con sprint con entrenamiento de fuerza y potencia también a alta intensidad. Estos resultados contrastan con lo obtenido por otros estudios citados anteriormente. No obstante, la literatura específica de entrenamiento concurrente en futbolistas no es muy amplia.

El principal problema de las sesiones de entrenamiento con metodología concurrente tradicional, reside en el tiempo necesario para completar la sesión, el cual es muy prolongado si lo comparamos con dinámicas tradicionales con metodologías de entrenamiento en circuito (87), lo que hace que este tipo de entrenamientos no sea muy viable a la hora de incluirlo en las planificaciones deportivas, sobre todo cuando hablamos de equipos semiprofesionales o amateur.

2.3.2.2. *Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).*

Como se ha expuesto anteriormente, la competición en el fútbol se podría definir fisiológicamente como esfuerzos intermitentes de alta intensidad (14). Por otro lado, también tendríamos la importancia de la capacidad de aceleración, que constituyen entre el 1 y 11% de la distancia total recorrida durante un partido de fútbol (6, 42). Es por eso, que el HIIT puede ser considerado como un método de entrenamiento que reproduciría, aunque en de forma simplificada, las condiciones de competición, ya que se combina esa alta intensidad intermitente con el entrenamiento de aceleración.

Repasando la literatura, se puede observar que tras un periodo de entrenamiento con esta metodología, los futbolistas mejoran tanto la capacidad de sprint (100) como la capacidad aeróbica (101), adicionalmente a las mejoras en fuerza máxima. Por el contrario, este tipo de entrenamiento no tendría efecto sobre la capacidad de salto (100) y el perfil lipídico (101) tras su aplicación continuada.

Uno de los aspectos más importantes del entrenamiento con sprints repetidos en fútbol, es el tiempo de recuperación entre esfuerzos. Un estudio reciente (15), muestra diferencias al comparar un protocolo de entrenamiento de sprints repetidos de 20 m con 15 seg de recuperación con otro protocolo que recuperaba durante 30 seg, concluyendo que la recuperación de 15 seg es más efectiva para producir adaptaciones importantes en cuanto a rendimiento deportivo.

No obstante, la literatura sobre la aplicación de programas de entrenamiento con metodología HIIT en futbolistas es muy escasa y precisa de mayor estudio, sobre todo para conocer los efectos que esta metodología puede tener sobre habilidades específicas de este deporte, así como sus posibles beneficios sobre parámetros neuromusculares.

2.3.2.3. *Entrenamiento con resistencias en circuito tradicional (CWT).*

El entrenamiento en circuito, ha sido comúnmente utilizado como una herramienta para trabajar simultáneamente la fuerza y la resistencia muscular junto a la resistencia aeróbica (102). En muchos estudios, se han examinado los beneficios del entrenamiento en circuitos usando cargas ligeras (90, 103-108)

El entrenamiento en CWT, se caracteriza por realizarse un trabajo de fuerza con unos periodos de recuperación muy cortos. En este tipo de entrenamiento las cargas movilizadas son relativamente medias-bajas, entre el 40-60% del 1RM, y la intensidad del entrenamiento oscila entre el 60-85% de la $FC_{máx}$ (109). La intensidad cardiorrespiratoria que se da durante un entrenamiento en circuito con estas características estaría dentro del rango establecido por el American College of Sports Medicine (ACSM), que estipula un rango de FC de entrenamiento entre 60-90% de la $FC_{máx}$ (89). El CWT ha demostrado ser muy eficaz para el incremento del $VO_{2máx}$, la ventilación pulmonar máxima, la capacidad funcional y la fuerza, al tiempo que reduce la masa grasa y mejora la composición corporal (72, 90, 102, 110), así como el volumen sistólico y el gasto cardiaco (111).

La utilización simultánea de energía aeróbica y anaeróbica a través del entrenamiento en circuito produce óptimos resultados relacionados con la reducción de grasa corporal, condición física y mejora de la capacidad funcional (106, 112-114), si además los ejercicios del circuito son realizados en todo su rango

de movimiento parece ser que se mejora la flexibilidad, factor importante para las tareas diarias y que se va deteriorando con la edad (115). El entrenamiento en circuito permite aumentar el área de sección transversal del músculo en las fibras tipo IIa y tiende a mejorar la cantidad de masa muscular en personas sedentarias en tan solo 10 semanas (90).

Para la masa muscular, los circuitos con intensidades bajas (40% del 1RM) fueron suficientes para aumentar la masa muscular tanto en mujeres como en hombres (106) sanos. Además, se han observado ganancias de entre 1,0 y 1,9 kg en la masa muscular total en personas de 35-36 años de edad. Varios estudios han mostrado mejoras significativas en el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) tras la aplicación de un programa de entrenamiento en circuito (106, 116-119). Estas mejoras son relativas, ya que se deben al incremento de masa muscular y no a mejoras en la capacidad de captación de oxígeno.

El entrenamiento en CWT, no es usado comúnmente por los jugadores de fútbol, ya que la carga que se ha estado usando en los circuitos tradicionales no es la idónea para desarrollar los aspectos de la fuerza máxima que interesan en el rendimiento futbolístico (3, 19). La intensidad de trabajo idónea para el entrenamiento de la fuerza en futbolistas se sitúa alrededor del 85% del 1RM (76), para conseguir adaptaciones neurales importantes (75).

Por ello, parece necesario buscar alternativas a estas metodologías de trabajo concurrente que puedan seguir solventando las dificultades que presentan la inclusión de estos programas de entrenamiento de fuerza máxima en las planificaciones deportivas de los equipos de fútbol (120).

2.4. EL ENTRENAMIENTO CON RESISTENCIAS EN CIRCUITO DE ALTA INTENSIDAD (HRC) COMO ALTERNATIVA A OTROS MÉTODOS TRADICIONALES Y CONCURRENTES.

Los métodos tradicionales de entrenamiento de la fuerza presentan bastantes inconvenientes a la hora de aplicarlos en una planificación deportiva para futbolistas, ya que por un lado, el entrenamiento TS tiene una duración prolongada (87) y no se consiguen adaptaciones cardiorrespiratorias significativas (88). Por otro lado, como ya se ha expuesto, los circuitos tradicionales presentan una intensidad insuficiente para el desarrollo de fuerza máxima, pero

principalmente potencia (78, 90), que sería la manifestación de la fuerza más determinante en el fútbol (14, 49).

Los ejercicios de alta intensidad, suelen ser conocidos por tratarse de un potente estímulo para el aumento de la circulación de hormonas anabólicas en hombres jóvenes (121). Se ha sugerido, que la hipertrofia muscular puede ser debida, al menos en parte, al incremento de hormonas anabólicas endógenas inducido por el ejercicio agudo, pudiendo aumentar el tamaño de la masa muscular y su función neuromuscular (121). Los cambios del equilibrio ácido-base y de las concentraciones de lactato en sangre han sido relacionados con la liberación de la hormona del crecimiento (122).

El entrenamiento en circuito es una excelente estrategia para reducir el tiempo de entrenamiento respecto a una metodología de entrenamiento tradicional (87), siendo el entrenamiento en circuito a alta intensidad, una buena metodología de trabajo para conseguir mejoras simultáneas en fuerza máxima y resistencia cardiovascular (79, 87, 109, 123, 124).

Una alternativa puede ser el entrenamiento en circuito de alta intensidad, denominado entrenamiento HRC (High-intensity Resistance Circuit training), en el cual se trabaja con altas cargas y sin descansos pasivos entre series (6RM; 3 min de recuperación activa entre series), permite aplicar la misma carga (6RM; 3 min de recuperación pasiva entre series) que se aplica en un entrenamiento de fuerza tradicional (87). Este método de entrenamiento combinaría los beneficios que se consiguen a nivel de fuerza máxima con el entrenamiento TS, con la mayor activación del sistema cardiorrespiratorio que se da durante los entrenamientos CWT, con una duración reducida (79, 87, 124) de la sesión de entrenamiento (~ 33% del tiempo necesario con TS).

Además, el entrenamiento HRC, ha demostrado producir los mismos, o mayores beneficios, a nivel de fuerza que con el entrenamiento de fuerza tradicional (79, 87), por lo que puede ser de gran utilidad para deportistas que disponen de poco tiempo para realizar un entrenamiento de fuerza, ya que deben dedicar la mayor parte de su entrenamiento a ejercicios específicos para su deporte. Con el HRC las sesiones se reducen un 66% respecto al entrenamiento tradicional de fuerza (87).

El HRC puede ofrecerles a los deportistas un entrenamiento integral, con

beneficios equiparables al entrenamiento tradicional de fuerza (79) pero con un tiempo de trabajo reducido (87). Además, la estimulación cardiovascular es mayor con la metodología de circuito (~ 71% de $FC_{m\acute{a}x}$) que con la tradicional (~ 62% de $FC_{m\acute{a}x}$) (87). Paoli et al (125) observaron mejoras superiores en el 6RM en el press de banca y press de pierna con el entrenamiento en circuito de alta intensidad (10 kg y 18 kg respectivamente) que con el entrenamiento en circuito de baja intensidad (7 kg y 8 kg respectivamente).

Existe un estudio, que se centró en los efectos agudos del entrenamiento en circuitos de alta intensidad respecto al rendimiento y la potencia mecánica en sujetos entrenados en musculación (87). En dicho estudio, se observó que durante un HRC, la activación cardiaca era significativamente mayor (~ 71% de $FC_{m\acute{a}x}$) a la generada por un entrenamiento TS (~ 62% de $FC_{m\acute{a}x}$), sin que esto comprometiera el rendimiento a nivel de fuerza y potencia. En la misma línea, Alcaraz et al. (79) demostraron que con el HRC se producían diferencias significativas en la reducción de masa grasa tras aplicar un entrenamiento de 8 semanas en sujetos sanos entrenados en musculación con respecto al grupo que entrenó en TS y al grupo de control que no realizó entrenamiento alguno. Sin embargo, ningún estudio ha tenido como objetivo estudiar los efectos agudos y las adaptaciones crónicas del HRC sobre el metabolismo aeróbico-anaeróbico y las respuestas cardiorrespiratorias y de coste energético durante y post-entreno en deportes de equipo.

Por ello, la presente Tesis Doctoral, pretende determinar si el HRC puede ser un buen método de entrenamiento para aplicar en jugadores de fútbol, pudiendo con esto contribuir a solventar los problemas de aplicación que presentan los métodos tradicionales de entrenamiento de la fuerza para conseguir con ello un método integral de entrenamiento de fuerza y resistencia en una sola sesión y con un tiempo de entreno reducido, posibilitando de esta manera su aplicación en el ámbito futbolístico.

III - HIPÓTESIS

III – HIPÓTESIS

GENERALES

- El método de entrenamiento en circuito a alta intensidad (HRC), provocará mayores respuestas agudas a nivel cardiorrespiratorio y metabólico en comparación con un entrenamiento tradicional de fuerza (TS).
- El entrenamiento en HRC, tras aplicarse durante 8 semanas, producirá mayores adaptaciones a nivel cardiorrespiratorio y en composición corporal frente al entrenamiento tradicional, mientras que las mejoras a nivel de fuerza máxima y potencia no diferirán entre ambos protocolos.

ESPECÍFICAS ESTUDIO 1

- El consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca durante y post-sesión de entrenamiento en HRC será mayor que el que se observe durante una sesión de entrenamiento de fuerza tradicional.
- Tras la sesión de entrenamiento en circuito, la concentración de lactato sanguíneo será superior a la registrada tras la sesión de entrenamiento con protocolo TS.
- El entrenamiento en HRC tendrá un coste energético superior durante y después de la sesión de entrenamiento en comparación con el protocolo de entrenamiento tradicional de fuerza aplicado.
- El exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio será superior tras la sesión de HRC respecto al entrenamiento con protocolo TS.

ESPECÍFICAS ESTUDIO 2

- El entrenamiento en HRC provocará mayores adaptaciones cardiorrespiratorias que el TS tras la aplicación de un programa de 8 semanas.
- Las mejoras en composición corporal conseguidas tras un programa de entrenamiento en HRC serán mayores que las que genere el entrenamiento en TS.
- Las modificaciones en las variables estudiadas de fuerza máxima y potencia serán similares para ambos protocolos tras 8 semanas de entrenamiento.
- Las adaptaciones generadas por el entrenamiento en HRC, en mayor medida que el entrenamiento en TS, contribuirán a la mejora general de las habilidades específicas en fútbol evaluadas (capacidad de salto, sprints repetidos, aceleración y velocidad de disparo).

IV - OBJETIVOS

IV - OBJETIVOS

GENERALES

- Evaluar y comparar las respuestas cardiorrespiratorias y metabólicas inducidas por un protocolo de entrenamiento en HRC en comparación con un entrenamiento tradicional de fuerza.
- Evaluar y comparar los cambios producidos a nivel cardiorrespiratorio, en composición corporal y en test de rendimiento específicos de fútbol tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza de 8 semanas aplicando el protocolo de entrenamiento en HRC frente a un entrenamiento tradicional de fuerza.

ESPECÍFICOS ESTUDIO 1

- Determinar la implicación del sistema cardiorrespiratorio, medido como consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca durante una sesión de entrenamiento en HRC vs TS.
- Evaluar la implicación del sistema anaeróbico, mediante la concentración de lactato sanguíneo tras una sesión de entrenamiento con protocolo HRC vs TS.
- Determinar el coste energético durante y post entrenamiento de fuerza aplicando los protocolos HRC y TS.
- Analizar y comparar el exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (EPOC), durante 20 min post-entreno con protocolos HRC y TS.

ESPECÍFICOS ESTUDIO 2

- Comparar las posibles adaptaciones cardiorrespiratorias generadas por ambos protocolos de entrenamiento tras la aplicación de un programa de entrenamiento de 8 semanas.
- Evaluar y comparar los cambios en composición corporal producidos tras un programa de entrenamiento de 8 semanas en HRC y TS.
- Determinar las modificaciones en fuerza máxima y potencia generadas por ambos protocolos de entrenamiento tras 8 semanas.
- Evaluar y comparar la contribución de ambos protocolos de entrenamiento en test específicos de fútbol (capacidad de salto, sprints repetidos, aceleración y velocidad de disparo).

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, se diseñaron 2 estudios diferentes: el primer estudio, se diseñó para analizar los efectos agudos de este tipo de protocolos de entrenamiento, con la intención de determinar los efectos agudos que se producen durante una sesión de entrenamiento de fuerza complementaria al entrenamiento específico de fútbol, mientras que el segundo estudio tenía como objetivo establecer las adaptaciones producidas por este tipo de entrenamientos sobre el sistema cardiorrespiratorio, fuerza máxima, potencia, composición corporal y habilidades específicas en el fútbol, así como determinar si es adecuado incluirlo en las planificaciones deportivas de los equipos de fútbol.

V - ESTUDIO 1

V - ESTUDIO 1

Respuestas cardiorrespiratorias y metabólicas en una sesión de entrenamiento en circuito a alta intensidad (HRC) vs. entrenamiento tradicional de fuerza en jugadores de fútbol.

5.1. MATERIAL Y MÉTODO

5.1.1. Diseño experimental

Se realizó un estudio cuasi-experimental, transversal con una distribución aleatoria, contrabalanceada y cruzada de la muestra. Se incluyó una sesión de familiarización previa con el objetivo de instruirles en la ejecución técnica y dinámica de los protocolos de entrenamiento, así como para que se acostumbraran al entrenamiento con la mascarilla de análisis de gases. Se estableció como variable independiente el protocolo de entrenamiento aplicado (HRC vs TS). Las variables dependientes fueron: consumo de oxígeno (VO_2), frecuencia cardiaca (FC), concentración de lactato en sangre ($[\text{La}^+]$), cociente de intercambio de gases respiratorios (RER), coste energético (CE) y exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (EPOC). Para minimizar la posible influencia de otras variables sobre el entrenamiento, se controló que todos los entrenamientos del mismo sujeto se realizaran a la misma hora del día y en el mismo día de la semana, así como que la ingesta previa de alimentos y su temporización fuese la misma.

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia y respetó la 64ª Declaración de la Asociación Médica Mundial sobre Principios Éticos para las investigaciones médicas con seres humanos.

5.1.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 10 futbolistas de campo de categoría Territorial Preferente. Las características generales de los participantes se pueden ver en la Tabla 1. Los jugadores entrenaban trabajo específico en campo 3 días por

semana más 1 día de competición en fin de semana. Los entrenamientos tenían una duración de 90 a 120 min por sesión.

Todos los participantes, previamente al inicio del estudio, fueron informados de los posibles efectos adversos del mismo y firmaron un consentimiento informado por el cual aceptaban formar parte del estudio (Anexo 1).

Tabla 1. Características generales de los participantes (media \pm desviación estándar).

Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	VO _{2máx} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	FC _{máx} (lat·min ⁻¹)
23,1 \pm 3,8	176,3 \pm 6,3	70,0 \pm 6,2	58,2 \pm 1,9	196,5 \pm 8,4

VO_{2máx} = consumo máximo de oxígeno; FC_{máx} = frecuencia cardiaca máxima.

Como criterios de inclusión, se tuvo en cuenta:

- Estar como jugador en activo durante la temporada en la que se realizó el estudio en un equipo de categoría Territorial Preferente.
- Haber completado con continuidad las 2 temporadas anteriores al estudio (no haber tenido periodos de inactividad impropios de la competición).
- Ausencia de lesión y/o enfermedad en los 6 meses anteriores al inicio del estudio.
- Tener experiencia previa en entrenamiento de fuerza con sobrecargas.
- No tomar ningún tipo de ayuda ergogénica y/o medicamento que pueda alterar el rendimiento.

5.1.3. Procedimientos

Los participantes visitaron el laboratorio en 4 ocasiones durante 2 semanas (2 por semana), con 72 horas de separación entre cada visita. Todas las visitas se realizaban en la misma franja horaria para un mismo participante. En las horas

previas a la visita, los participantes no podían tomar ninguna sustancia estimulante o relajante (cafeína, taurina, teína, teofilina, etc.) que pudiera influir en el rendimiento durante la sesión de entrenamiento. No podían realizar entrenamiento de alta intensidad o competición durante las 72 horas previas a la sesión de entrenamiento o test.

En la primera visita, el participante realizaba la sesión de familiarización con el calentamiento, los ejercicios y los protocolos de entrenamiento, obteniendo sus cargas de entrenamiento (6RM) acorde con los protocolos fijados por el American College of Sport Medicine (89).

El segundo día, tras la realización de un reconocimiento médico e historial clínico (Anexo 2), se realizó una ergoespirometría incremental maximal en tapiz rodante (Figura 1). Tras 2 min de calentamiento a $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, el test comenzaba a $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con una pendiente fija del 1% y los incrementos eran escalonados de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta la extenuación. Para calificar la prueba como máxima, se debían cumplir los siguientes criterios (126, 127):

- Lograr un altiplano en la curva de VO_2 (menos de $2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de diferencia entre las 2 últimas etapas del test).
- Conseguir un valor $\geq 1,15$ para el RER
- Alcanzar la FC máxima teórica ($220 - \text{edad}$).
- Superar un valor de concentración de lactato de $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en sangre al 1 min 40 seg del fin de prueba.

Durante la prueba, el intercambio de gases y la FC se evaluaron utilizando un ergoespirómetro portable (Oxycon Mobile de Jaeger-Viasys™, Hoechberg, Alemania), el cual era calibrado antes de cada sesión de medición siguiendo las instrucciones del fabricante: calibración de flujo-volumen, calibración de gases (Dióxido de Carbono (CO_2) al 16%; Oxígeno (O_2) al 4,5%; Nitrógeno (N) a balance) y medición de condiciones ambientales. Las pruebas se realizaban a una temperatura ambiente de 21-23 °C. En la ergoespirometría, se hallaban las variables de $\text{VO}_{2\text{máx}}$, $\text{FC}_{\text{máx}}$ y VT_2 . Se utilizó el método de equivalentes ventilatorios (128) para obtener el punto umbral de transición aeróbica-anaeróbica.



Figura 1. Ergoespirometría incremental maximal.

En la tercera y cuarta visita, los sujetos realizaban una sesión de entrenamiento (HRC o TS) siguiendo un orden aleatorio de las mismas. Al principio de la sesión, el analizador de gases portable era calibrado siguiendo las instrucciones del fabricante. A continuación, se les colocaba el analizador de gases para realizar la medición de reposo.

El protocolo de calentamiento fue el mismo tanto en la sesión de familiarización como en las sesiones de entrenamiento, independientemente del protocolo de entreno que se aplicara posteriormente. Como calentamiento general, se comenzaba realizando una carrera continua en tapiz rodante durante 8 min a $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y con el 1% de pendiente fija. Tras la carrera, los sujetos realizaban ejercicios de movilidad articular siempre en el mismo orden (tobillos, rodillas, caderas, cintura, hombros, codos, muñecas, dedos y cuello) a lo que le seguían estiramientos activos (sóleo, gemelos, isquiosurales, cuádriceps, pectorales, bíceps y tríceps) soportados durante 20 seg en cada ejercicio. El calentamiento específico consistía en la realización de 3 series de los ejercicios del bloque 1 (Figura 2). El calentamiento específico estaba compuesto por 3 series en

circuito de los ejercicios del bloque 1, siendo:

Serie 1: 12 repeticiones con el 50% del 6RM / 1 min de recuperación.

Serie 2: 10 repeticiones con el 75% del 6RM / 2 min de recuperación.

Serie 3: repeticiones máximas con el 6RM / 3 min de recuperación antes de comenzar el entreno.

Tras esta última serie, se realizaba el ajuste de la carga de entrenamiento, basado en el protocolo de ACSM (89) como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Ajuste de la carga de entrenamiento.

Repeticiones	4	5	6	7	8
Ajuste	-5%	-2%	-	+2%	+5%

Protocolos de entrenamiento

Se llevó a cabo un entrenamiento de fuerza con 2 estructuras diferentes (TS y HRC), ambos a alta intensidad, configurada entre el 85-90% del 1RM. La carga ajustada para cada ejercicio, fue aquella que pudieran vencer en 6 repeticiones completas y que no les permitiera completar ninguna repetición más en una misma serie (6RM). Para ambos protocolos, la recuperación local fue de 3 min. Los ejercicios seleccionados fueron guiados por máquinas y se dividieron en 2 bloques de 3 ejercicios (Bloque 1: Contractora de pectoral, extensión de rodillas, curl de bíceps; Bloque 2: Curl femoral, jalón al pecho, flexiones plantares sentado) separados por 5 min de recuperación entre bloques. Se realizaron 3 series de cada ejercicio. El ritmo de ejecución fue máxima velocidad en fase concéntrica y 3 seg fase excéntrica (máx : 3). Los entrenamientos fueron supervisados y registrados (Anexo 3) en todo momento por personal cualificado

Traditional Strength Training (TS). Los participantes entrenaron a una intensidad de 6RM, aplicando recuperaciones pasivas. Se trabajaba en un mismo ejercicio hasta completar las 3 series, antes de pasar al siguiente ejercicio. El participante realizaba un ejercicio cada 3 min (Figura 2).

High Resistance Circuit training (HRC). En el entrenamiento en circuito, los

participantes realizaban 2 circuitos de 3 ejercicios (Figura 2) aplicando una recuperación local activa. La recuperación local de 3 min, al igual que en el entrenamiento TS, mientras que la recuperación entre ejercicios fue de ~ 35 seg. El participante realizaba un ejercicio cada 35 seg aproximadamente, con el fin de que tuvieran tiempo suficiente para preparar la carga y que la distribución del tiempo fuera homogénea. Cada serie tenía una duración total de 3 min.

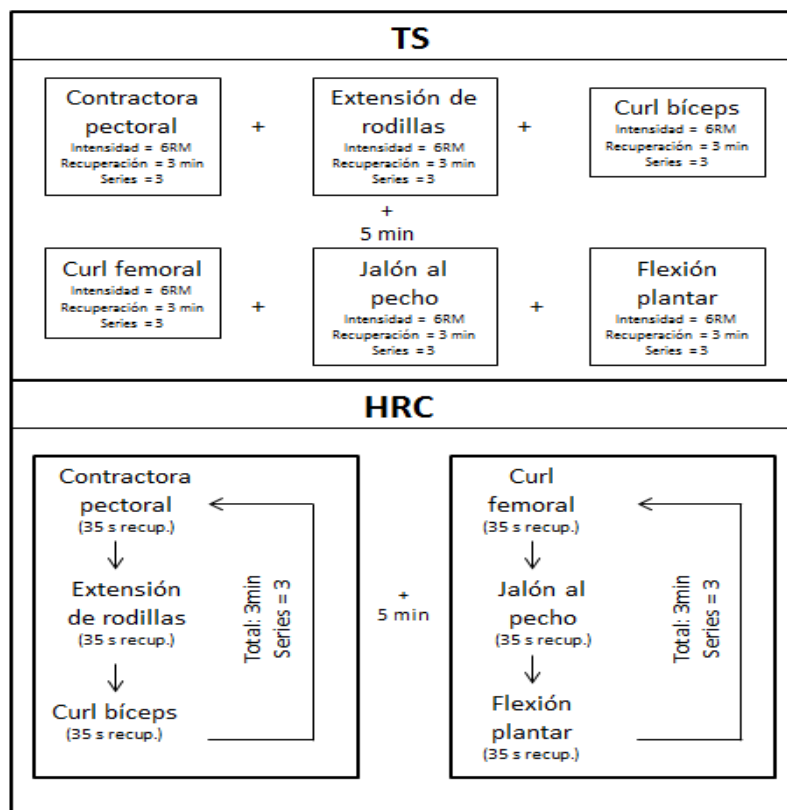


Figura 2. Protocolos de entrenamiento.

TS = Traditional Strength Training; HRC = High Resistance Circuit training.

Durante los entrenamientos, el participante estaba monitorizado en todo momento con un analizador de gases portable, realizándose registros de VO_2 , VCO_2 , RER, CE y FC (Figura 3).



Figura 3. Mediciones espirométricas durante el entrenamiento.

El coste energético, fue calculado mediante calorimetría indirecta a partir de la ecuación descrita por Weir (129), en la que el nitrógeno urinario (UN) fue tomado como valor contante en $15 \text{ gr}\cdot\text{día}^{-1}$ ($EE = 1,59 \cdot VCO_2 + 5,68 \cdot VO_2 - 2,17 \cdot UN$).

La duración total de los registros de los entrenamientos fue de ~ 43 min para el HRC y ~ 79 min para el entrenamiento tradicional (Tabla 3). El tiempo total de entrenamiento, será de utilidad para establecer el balance total del coste energético de cada registro de entrenamiento, obtenido mediante la ecuación: $CE - (CE \text{ en reposo} \cdot \text{min de registro})$. Para aislar el efecto del entrenamiento sobre el CE, se restó el CE obtenido durante la medición de reposo realizada antes de cada sesión de entrenamiento. Con el objetivo de determinar el balance total del CE, se

calculó el gasto total de la sesión de medición (entreno + 20 min post), a lo que se restó el CE de reposo.

Tabla 3. Duración de cada registro entrenamiento por etapas.

Etapa	HRC (min)	TS (min)
Bloque 1	9	27
Recuperación	5	5
Bloque 2	9	27
Post-entreno	20	20
Total	43	79

HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento de fuerza tradicional.

Mediciones espirométricas pre y post entrenamiento.

En primer lugar, antes de que el participante comenzara el entrenamiento, se tomaba el VO_2 de reposo, sentado en una silla durante 10 min, en cada una de las sesiones de entrenamiento (Figura 4). Se realizaba un registro de los últimos 5 min con el analizador de gases colocado en el sujeto, de los cuales, para tomar el valor definitivo de VO_2 de reposo para ese participante y sesión, se promediaban los valores obtenidos en los últimos 3 min de registro. Esta medición en reposo se repetía antes de cada sesión de entrenamiento, siendo utilizado ese valor para calcular el EPOC de esa sesión de entrenamiento en concreto.



Figura 4. Medición de valores de reposo.

Tras finalizar la sesión de entrenamiento, el participante se sentaba de nuevo para volver a una situación de reposo, realizando un registro de 20 min en las mismas condiciones que se realizaba en la evaluación pre-sesión. Con esta medición se obtendría el EPOC ($VO_2 - VO_2$ reposo) de la sesión de entrenamiento, realizando un registro continuo de los parámetros de VO_2 , VCO_2 , RER, CE y FC. El exceso total de VO_2 consumido durante el registro de 20 min de EPOC, fue calculado como el promedio de $l \cdot \text{min}^{-1}$ de los 20 min y multiplicado por 20 min para obtener los litros totales consumidos en exceso.

Medición de metabolitos pre y post entrenamiento.

De forma simultánea y durante el entrenamiento, se tomaban muestras de sangre capilar. Las muestras de sangre fueron tomadas siempre en el lóbulo de la oreja izquierda. Tras limpiar y desinfectar la zona con alcohol, se secaba el lóbulo

con algodón y gasa estéril para que no quedaran restos de ninguna sustancia que pudiera interferir en el análisis. La punción se realizaba con una lanceta estéril y de un solo uso. La primera gota de sangre era desechada, tomándose siempre la segunda gota como muestra para cada medición. La sangre era introducida en una tira reactiva, la cual era analizada por un analizador portable de lactato, modelo Lactate Pro (Arkray, Kyoto, Japón), que previamente había sido calibrado mediante tira de calibración, siguiendo las instrucciones del fabricante.

Se analizaron un total de 4 muestras en cada sesión de entrenamiento. La primera muestra se tomó tras el calentamiento, justo antes de que el participante comenzase el entrenamiento para obtener así un valor de referencia y aislar el efecto que el entrenamiento en HRC o TS tenía sobre esta variable, tomando como punto de partida este valor, ya que el calentamiento fue el mismo en ambas sesiones. Las otras 3 muestras se obtuvieron tras finalizar el entrenamiento, cuando el participante estaba en la situación de reposo (sentado en una silla), las muestras se extrajeron en los min 1,5, 5 y 7 post entrenamiento siguiendo el protocolo descrito anteriormente. Tras el análisis y registro de las concentraciones de lactato en sangre ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), todas las muestras biológicas y elementos punzantes eran eliminados en un contenedor especial para dichos residuos.

Es preciso concretar, que durante los entrenamientos los participantes no se hidrataban, ya que el registro continuo de intercambio de gases respiratorios impide la hidratación por vía oral.

5.1.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) de IBM Company, (Nueva York, Estados Unidos) en su versión 19.0 para Mac. Las características generales de los participantes son mostradas como valores promedios y desviación estándar (prom. \pm DE). Para determinar diferencias entre ambos protocolos, se realizó un T-test por pares para todas las variables excepto para EPOC, que se aplicó una ANOVA de medidas repetidas tras aplicar la corrección de post-hoc de Bonferroni. El valor de significación fue asumido como $p \leq 0,001$ para todos los análisis.

5.2. RESULTADOS

Tras el análisis de los valores obtenidos para cada protocolo de entrenamiento, se realizó la comparación de los parámetros entre HRC y TS. Para la explicación de resultados, podremos diferenciar los que se dan durante el propio entrenamiento y los que se medían como efecto post-entreno.

Durante la sesión de entrenamiento

Durante el entrenamiento, fueron encontradas diferencias significativas para todas las variables estudiadas, obteniendo valores mayores en HRC (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedios de las variables analizadas durante las sesiones de entrenamiento (promedios \pm DE).

Variable	HRC	TS
VO ₂ R (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	18,0 \pm 1,9 *	10,3 \pm 1,5
VO ₂ relativo a VO ₂ máx (%)	30,9 \pm 3,0 *	17,7 \pm 2,5
VO ₂ relativo a VO ₂ VT ₂ (%)	37,8 \pm 3,5 *	21,6 \pm 2,8
FC (lat·min ⁻¹)	139,0 \pm 13,2 *	100,8 \pm 13,8
FC relativa a FC _{máx} (%)	70,6 \pm 7,3 *	51,4 \pm 6,7
FC relativa a FC _{VT₂} (%)	76,9 \pm 7,6 *	55,7 \pm 6,1
RER	1,12 \pm 0,03 *	1,05 \pm 0,02
CE (Kcal·min ⁻¹)	5,8 \pm 1,0 *	3,5 \pm 0,6

HRC = Circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional; VO₂R = consumo de oxígeno relativo al peso corporal; VO₂ = volumen de oxígeno consumido; VO₂máxR = consumo máximo de oxígeno relativo al peso corporal; VO₂VT₂ = consumo de oxígeno relativo al peso corporal en umbral ventilatorio 2; FC = Frecuencia cardíaca; FC_{máx} = Frecuencia cardíaca máxima; FC_{VT₂} = Frecuencia cardíaca máxima en umbral ventilatorio 2; RER = cociente de intercambio respiratorio; CE = coste energético; EPOC = exceso de oxígeno consumido post-ejercicio; DE = Desviación estándar; * = diferencias significativas de HRC ($p \leq 0,001$) con respecto a TS.

El consumo de oxígeno relativo al peso corporal (VO_2R) medido durante el HRC ($18,0 \pm 1,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fue significativamente superior que durante el entrenamiento con protocolo TS ($10,3 \pm 1,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Estos valores representan una mayor implicación del sistema aeróbico durante el protocolo en circuito. Del mismo modo, las intensidades relativas (%) con respecto a $VO_{2\text{máx}R}$ y VO_2R en VT2, fueron significativamente superiores durante el protocolo de entrenamiento en circuito de alta intensidad. En la Figura 5 se puede observar la evolución de los valores promediados de VO_2R durante las fases de la sesión de entrenamiento.

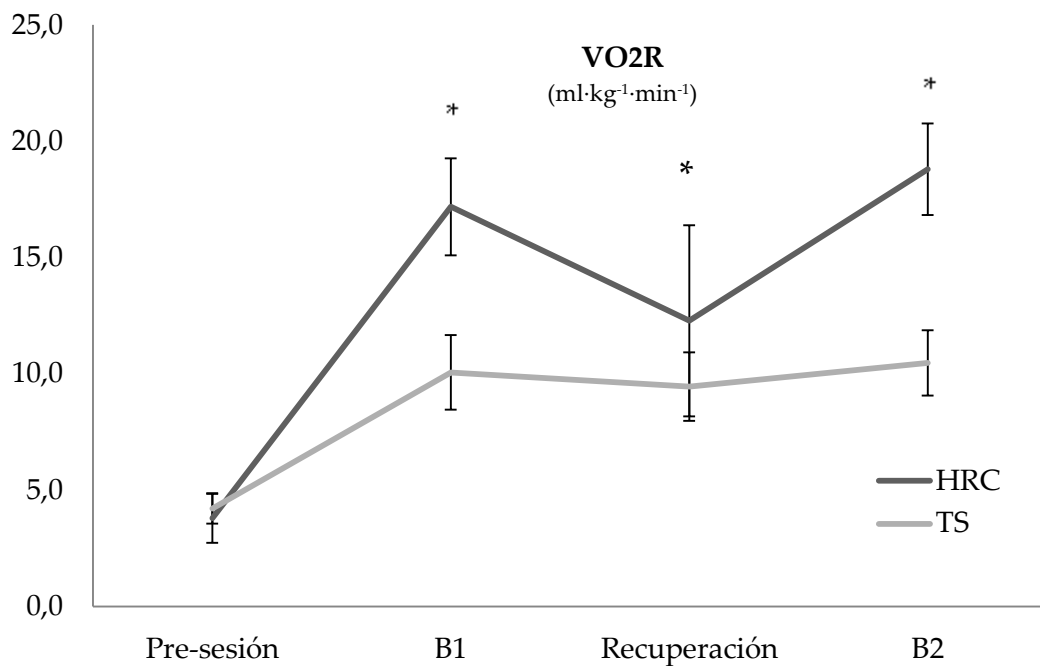


Figura 5. Evolución del promedio de volumen de oxígeno consumido durante cada fase del entrenamiento.

HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; VO_2R = Volumen de oxígeno consumido relativo al peso corporal; B1 = Bloque 1; B2 = Bloque 2; * = diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de HRC con respecto a TS.

Los participantes entrenaron con un promedio del $30,9 \pm 3,0\%$ del $VO_{2\text{máx}}$ durante el entrenamiento en HRC mientras que en el protocolo de entrenamiento tradicional, la intensidad media fue del $17,7 \pm 2,5\%$ del VO_{2R} . Estas diferencias en el VO_{2R} reflejan que durante el HRC, la intensidad medida mediante el consumo de oxígeno, sería un 74% superior respecto al TS.

Teniendo en cuenta la intensidad relativa al VO_{2R} obtenido en la zona de umbral anaeróbico VO_{2VT2R} , se obtuvo para el HRC un valor promediado de $37,8 \pm 3,5\%$, mientras que el TS reflejaría una intensidad relativa del $21,6 \pm 2,8\%$. En valores porcentuales comparativos, el HRC presenta una intensidad superior respecto al VO_{2VT2R} del 75% frente al entrenamiento con metodología tradicional. El RER obtenido durante el entrenamiento, también fue significativamente superior durante el protocolo HRC ($1,12 \pm 0,03$) en un 6,7% respecto al TS ($1,05 \pm 0,02$).

La respuesta del conjunto de variables respiratorias estudiadas durante el entrenamiento es similar, siendo en términos generales, un $\sim 75\%$ superiores durante el entrenamiento HRC (excepto RER = 6,7%), cuando se compara con el TS.

El valor promediado de FC durante la sesión de entrenamiento (Figura 6), tras sumar y promediar los valores del bloque 1 (B1) y del bloque 2 (B2) también expresó significativamente una mayor intensidad durante el HRC ($139,0 \pm 13,2$ $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$) frente al entrenamiento tradicional ($100,8 \pm 13,8$ $\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$). Durante el HRC, la intensidad relativa a la $FC_{\text{máx}}$ fue del $\sim 71\%$ frente al $\sim 51\%$ obtenido durante el TS.

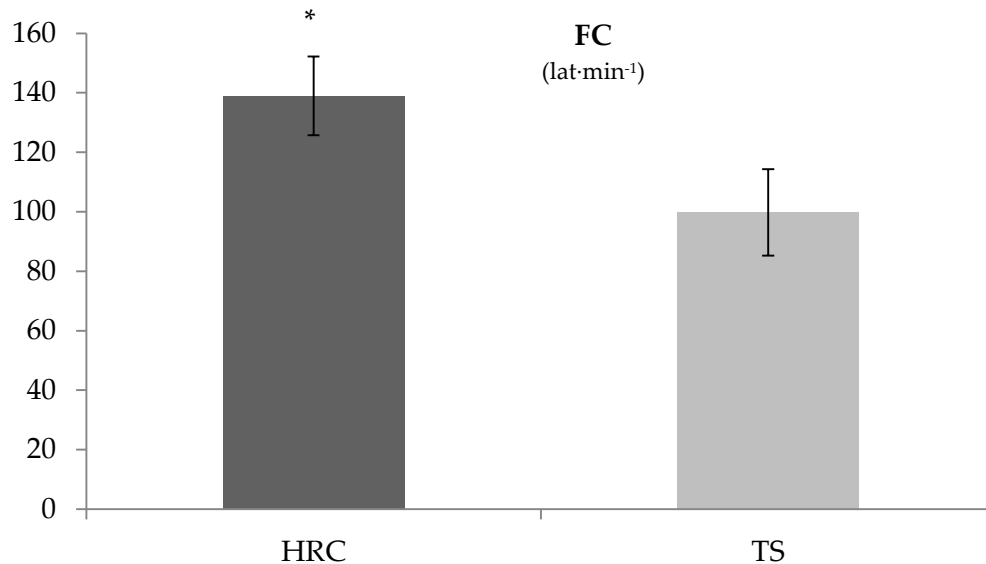


Figura 6. Valores promedios de frecuencia cardíaca en los bloques 1 y 2 de entrenamiento.

FC = Frecuencia cardíaca; HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; * = Diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de HRC con respecto a TS.

Durante el entrenamiento en circuito, el CE fue significativamente superior (Figura 7) durante el entrenamiento en circuito (HRC = $5,8 \pm 1,0$ Kcal·min⁻¹; TS = $3,5 \pm 0,6$ Kcal·min⁻¹).

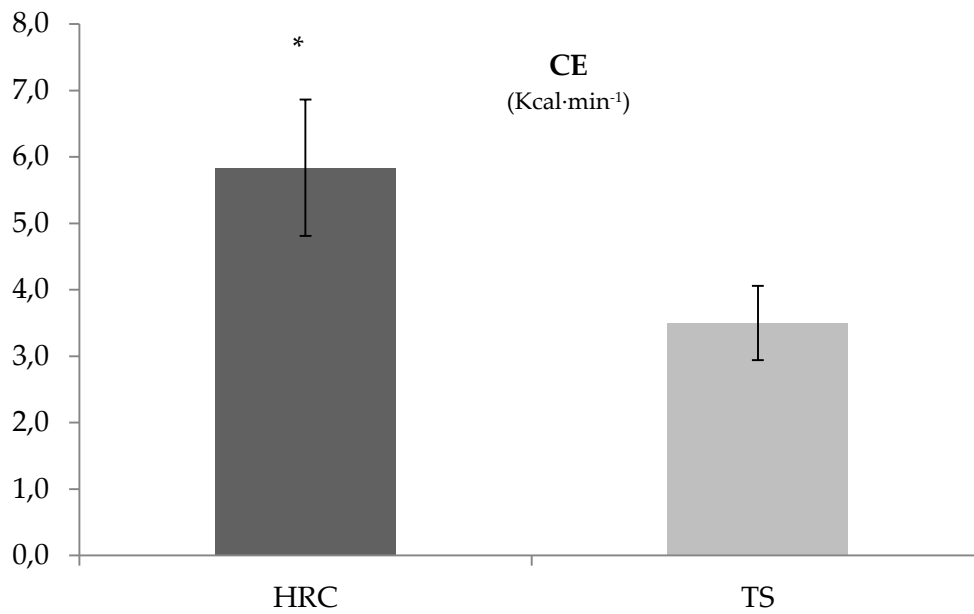


Figura 7. Coste energético durante ambos protocolos de entrenamiento.

CE = Coste energético; HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; * = Diferencias significativas ($p \leq 0,001$).

Post-sesión de entrenamiento

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos durante la medición de 20 min post-entreno que se realizó con ambos protocolos.

Tabla 5. Valores medios de EPOC, FC, RER y CE tras cada sesión de entrenamiento (promedios \pm DE).

Variable	HRC	TS
CE (Kcal·min ⁻¹)	2,5 \pm 0,4 *	2,0 \pm 0,3
EPOC (L)	5,2 \pm 1,4 *	2,3 \pm 0,9
FC (lat·min ⁻¹)	103,6 \pm 9,5 *	89,4 \pm 8,7
RER	0,92 \pm 0,05	0,91 \pm 0,06

HRC = Circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional; FC = Frecuencia cardíaca; RER = cociente de intercambio respiratorio; CE = coste energético; EPOC = exceso de oxígeno consumido post-ejercicio; DE= Desviación estándar; * = diferencias significativas de HRC ($p \leq 0,001$) con respecto a TS.

El EPOC fue significativamente mayor con el protocolo HRC (5,2 \pm 1,4 L) frente al protocolo tradicional (2,3 \pm 0,9 L), lo que representa que el efecto del HRC sobre el EPOC es un 126% superior al producido por el TS (Figura 8). Expresado en valores relativos al estado de reposo, se encuentra que tras el protocolo HRC, el VO₂ se incrementó en un 99,0 \pm 40,3% respecto a los valores de reposo.

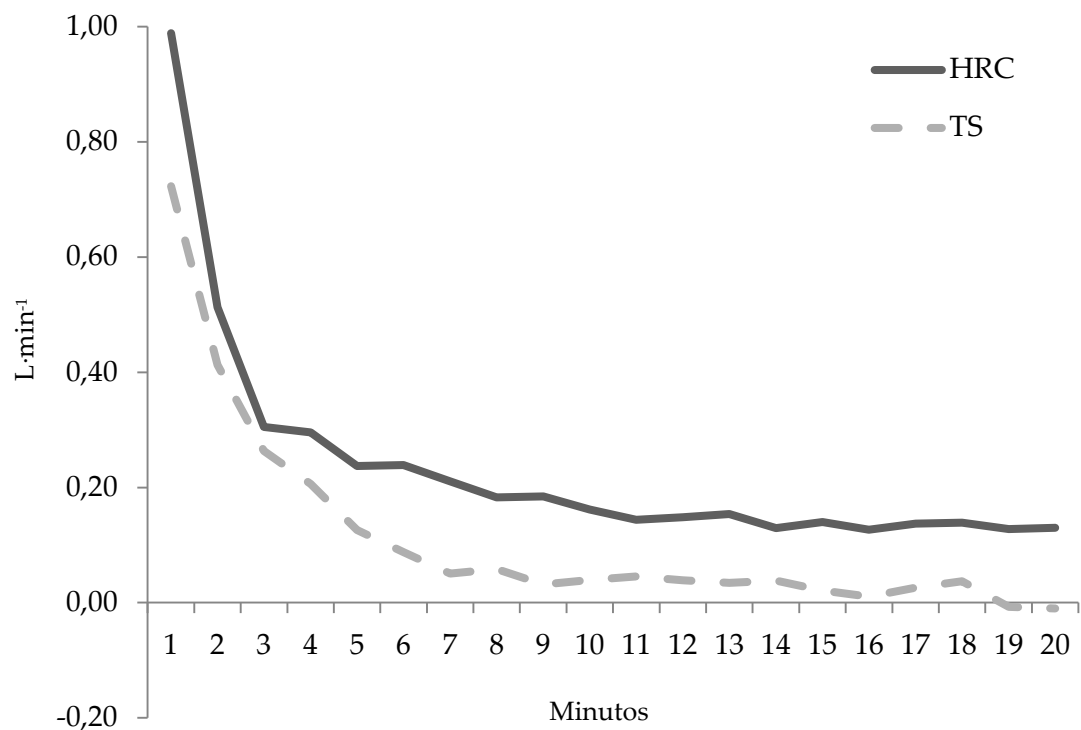


Figura 8. Evolución del exceso de consumo de oxígeno post-entreno (EPOC = $VO_2 - VO_2$ reposo).

EPOC = Exceso de volumen de oxígeno consumido ($VO_2 - VO_2$ reposo) post-ejercicio;
HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza.

Durante este periodo post-entrenamiento, como se aprecia en la Figura 9, el CE también fue significativamente superior tras la sesión de HRC (HRC = $2,5 \pm 0,4$ Kcal·min⁻¹; TS = $2,0 \pm 0,3$ Kcal·min⁻¹).

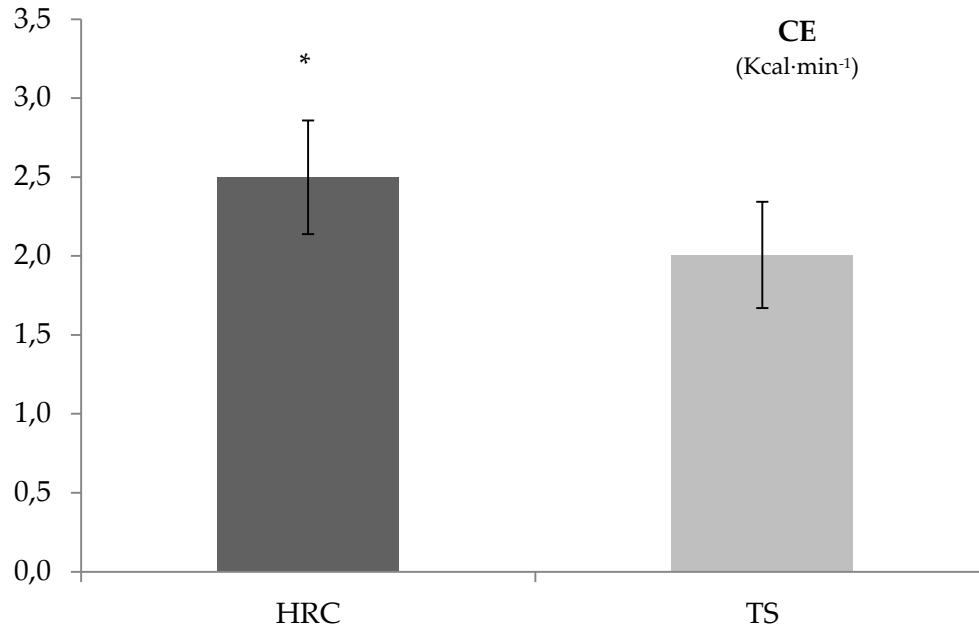


Figura 9. Coste energético durante el periodo de reposo posterior a la sesión de entrenamiento (20 min).

CE = Coste energético; HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; * = Diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de HRC con respecto a TS.

La respuesta de la FC post-entreno (Figura 10), fue superior con el entrenamiento en HRC ($103,6 \pm 9,5$ lat·min⁻¹) frente al entrenamiento TS ($89,4 \pm 8,7$ lat·min⁻¹). Respecto a los valores registrados en la medición de reposo, tras el HRC, la FC alcanzó un valor promediado del ~ 46% por encima y en un ~ 26% tras el TS.

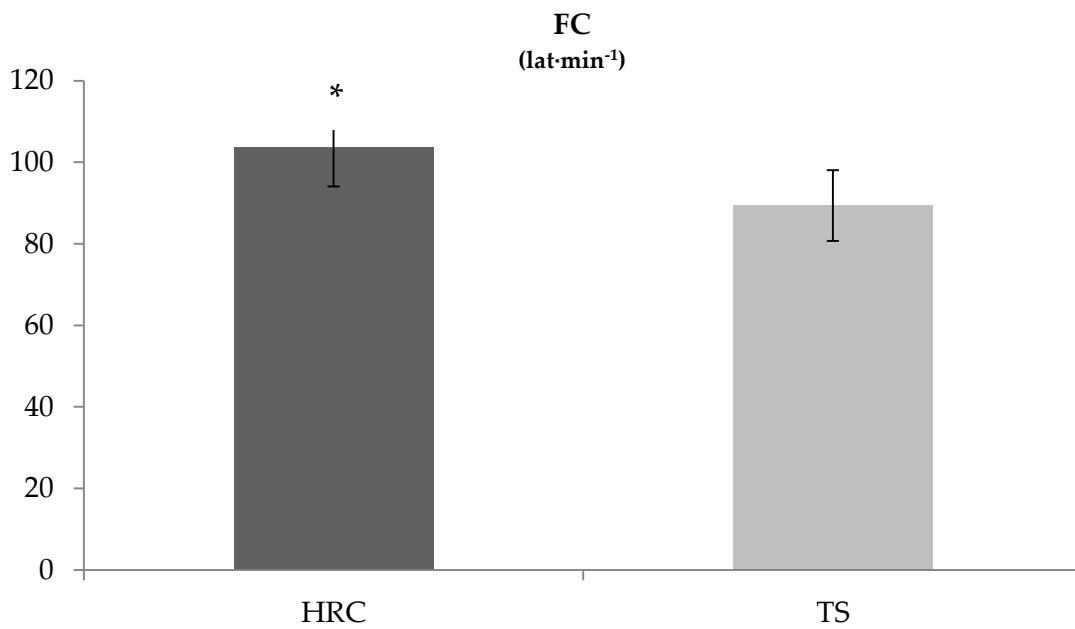


Figura 10. Promedio de frecuencia cardiaca post-entreno.

HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; FC = frecuencia cardiaca; * = Diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de HRC con respecto a TS.

No se encontraron diferencias significativas entre protocolos para el RER evaluado en 20 min post-entreno (HRC = $0,92 \pm 0,05$; TS = $0,91 \pm 0,06$).

El valor promediado de todas las muestras de sangre recogidas (3 muestras post-entreno) para análisis de $[La^+]$ fue un 133% significativamente superior con el HRC (HRC = $8,8 \pm 1,9$; TS = $3,8 \pm 1,1$ mmol·l⁻¹). Así mismo, la comparativa realizada por muestras (1,5, 5 y 7 min) demostró unos valores significativamente superiores tras el HRC (1,5 min = $9,4 \pm 2,2$; 5 min = $8,7 \pm 1,7$; 7 min = $8,4 \pm 1,7$ mmol·l⁻¹) respecto al TS (1,5 min = $4,4 \pm 1,1$; 5 min = $3,9 \pm 1,2$; 7 min = $3,2 \pm 1,2$ mmol·l⁻¹). La Figura 11 muestra la evolución de la $[La^+]$ tras el entrenamiento con ambos protocolos.

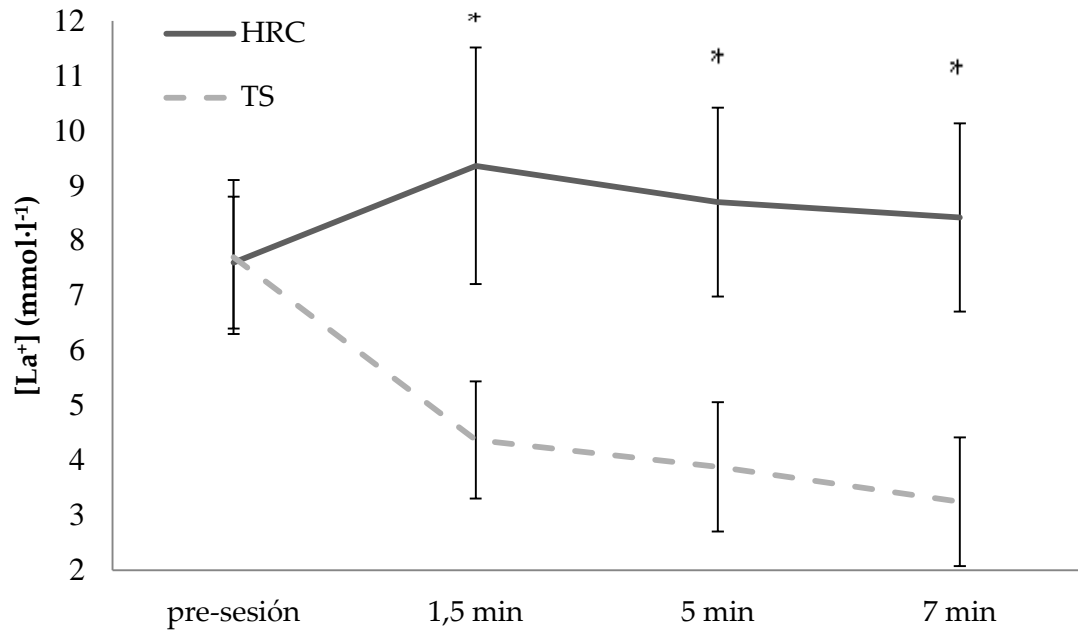


Figura 11. Evolución de la concentración de lactato en sangre tras la sesión de entrenamiento.

HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; [La⁺] = Concentración de ácido láctico en sangre. * = Diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de HRC con respecto a TS.

Los resultados globales del CE (Tabla 6) muestran que, al restar el CE obtenido en la medición de reposo y medir solamente el exceso de energía consumida, no se obtienen diferencias significativas ($p = 0,836$) en el CE total de la medición realizada durante y post-entreno con ambos protocolos de entrenamiento.

Tabla 6. Resultados globales de coste energético (promedio \pm DE).

Fase	HRC		TS	
	Promedio (Kcal·min ⁻¹)	Coste total (Kcal)	Promedio (Kcal·min ⁻¹)	Coste total (Kcal)
Reposo total entreno (CE reposo · Tiempo)	1,3 \pm 0,4	56,1 \pm 16,3	1,5 \pm 0,2	115,9 \pm 17,9
Bloque 1	6,4 \pm 0,9 *	57,3 \pm 7,7	3,6 \pm 0,6	96,7 \pm 16,0
Recuperación	4,5 \pm 1,5 *	22,4 \pm 7,6	3,3 \pm 0,6	16,3 \pm 3,0
Bloque 2	6,7 \pm 1,0 *	60,1 \pm 8,9	3,7 \pm 0,6	98,8 \pm 15,3
Post-entreno (20 min)	2,5 \pm 0,4 *	50,0 \pm 7,2	2,0 \pm 0,3	40,1 \pm 6,7
Total (entreno + post)	-	189,8 \pm 28,5	-	252,0 \pm 36,6
Balance total (total – reposo)	-	133,6 \pm 27,1	-	136,0 \pm 23,8

HRC = Entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = Entrenamiento tradicional de fuerza; * = Diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,001$).

El balance total del CE fue un 1,8% superior en el entrenamiento TS, lo que no representó una diferencia significativa. Sí se encontraron diferencias significativas en los promediados de cantidad de energía consumida por unidad de tiempo (Tabla 6).

5.3. DISCUSIÓN

El objetivo principal del estudio 1 fue evaluar y comparar los efectos agudos a nivel cardiorrespiratorio y metabólico que implica un entrenamiento en circuito

de alta intensidad frente a un entrenamiento tradicional también de alta intensidad. Todos los hallazgos demuestran que la implicación desde un punto de vista cardiorrespiratorio y metabólico del entrenamiento en HRC es significativamente mayor que la provocada por el protocolo de entrenamiento tradicional aplicado.

La implicación cardiorrespiratoria durante el HRC fue marcadamente superior, obteniendo unos valores de VO_2 significativamente superiores. El porcentaje de intensidad con respecto al $\text{VO}_{2\text{máx}}$ denota la mayor activación que provoca el HRC frente al entrenamiento tradicional ($\text{HRC} = 30,9 \pm 3,0$; $\text{TS} = 17,7 \pm 2,5\%$). Los datos encontrados al realizar un entrenamiento en circuito van en la línea de los reportados por otros autores (73, 91, 130) también para protocolos de entrenamiento en circuito. Según la ACSM (77), se aconseja una intensidad mínima del 40% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ para conseguir generar mejoras en el valor máximo de consumo de oxígeno, no obstante estas recomendaciones son hechas para entrenamiento específico de resistencia. En contraposición, existen estudios posteriores que demuestran mejoras en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ con el entrenamiento en circuito (116, 117), aunque generalmente estos estudios aplican protocolos de entrenamiento en circuito con intensidades moderadas (40-60% del 1RM). La respuesta de la frecuencia cardiaca durante el HRC se mueve en la misma línea que el VO_2 , siendo significativamente superior el porcentaje con respecto a la $\text{FC}_{\text{máx}}$ que con el protocolo tradicional ($\text{HRC} = 70,6 \pm 7,3\%$; $51,4 \pm 6,7\%$). Estos resultados son similares a los reportados por Alcaraz et al. (87), con la aplicación del mismo protocolo de entrenamiento ($\text{HRC} = \sim 71\%$; $\sim 62\%$). Por otro lado, existen estudios que reportan intensidades de trabajo similares a las conseguidas por el HRC aplicando diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza en circuito (73, 91, 130, 131). Los resultados del presente estudio, sugieren que el HRC sería un método de entrenamiento de la fuerza, que a su vez podría contribuir al desarrollo de la potencia aeróbica y otras variables relacionadas con el entrenamiento de resistencia. No obstante, se ha visto que tras protocolos de entreno en circuito no hay una modificación de la FC en reposo pero sí en ejercicio. El posible aumento del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ tras aplicar un programa de entrenamiento con esta metodología pueda deberse a un incremento del volumen sistólico (111). Sin embargo, son necesarias más investigaciones en este respecto.

La contribución del metabolismo anaeróbico durante el entrenamiento en HRC, evaluada como el RER durante la sesión y la producción de lactato post-entreno, refleja una gran contribución de dicho metabolismo, siendo significativamente superior a la obtenida durante el entrenamiento con protocolo tradicional en ambos parámetros. En ambos protocolos de entreno, el promedio del RER estuvo por encima de 1,00, lo que confirma que estos entrenamientos a alta intensidad tienen un componente anaeróbico importante. Otro estudio (132), en el cual se evaluó también RER con un entrenamiento a alta intensidad, aunque ligeramente inferior que la aplicada en el presente estudio (85% del 8RM), reportó valores similares ($\text{RER} = 1,07 \pm 0,03$) a los nuestros, encontrándose más próximos a los obtenidos con el TS que a los reportados durante el HRC. Respecto a la concentración de lactato en sangre, otro estudio con similar intensidad (133) reportó resultados en la misma línea ($\sim 10\text{-}11 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) tras aplicar un protocolo de entrenamiento de fuerza en circuito. Además, Paoli et al. (133), también compararon un entrenamiento interválico de alta intensidad con una metodología tradicional, encontrando resultados similares que los obtenidos en nuestro estudio para la metodología tradicional de fuerza ($\sim 5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Los resultados obtenidos, nos muestran que la implicación anaeróbica del entrenamiento de fuerza en circuito es mucho mayor que la contribución de esta vía metabólica cuando se trabaja con protocolos de entrenamiento tradicionales. Este tipo de entrenamiento en HRC, podría generar adaptaciones sobre la tolerancia a la concentración de lactato en sangre, así como a la capacidad de tamponar y reutilizar estos metabolitos.

Como se muestra en los resultados, no se apreciaron diferencias significativas en el coste energético total generado por ambos protocolos de entrenamiento. Sí se dieron diferencias significativas entre grupos para el CE por unidad de tiempo ($\text{Kcal}\cdot\text{min}^{-1}$), siendo el HRC claramente superior al TS en este parámetro. Teniendo en cuenta que el registro del entrenamiento en TS duraba un 83% más que para el HRC, podemos considerar que los requerimientos energéticos durante el entrenamiento en circuito son mayores que con el entreno tradicional pese a que la intensidad y el volumen de la sesión fue el mismo para ambos protocolos. Existe controversia en los resultados reportados por otros autores sobre el coste energético durante el entrenamiento de fuerza. Algunos autores (132, 134), reportan valores notablemente inferiores al trabajar la fuerza

con intensidades moderadas-altas, mientras que otros (130, 135) reportan valores similares a los obtenidos en este estudio al trabajar con cargas moderadas-altas. Las diferencias pueden ser debidas a la heterogeneidad de los protocolos aplicados y la diversidad de métodos para obtener el coste energético, por lo que sería necesario futuros estudios que estandarizaran protocolos de entrenamiento y obtención del CE durante el entrenamiento de fuerza.

El exceso de consumo de oxígeno tras el entrenamiento en circuito, fue significativamente superior (126%) con el HRC que tras el entrenamiento tradicional. Diversos estudios comparan el efecto sobre el EPOC de diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza y de resistencia y se concluye que la intensidad es un factor muy influyente sobre dicho parámetro (136, 137), así como que el entrenamiento de fuerza tiene una mayor repercusión, en un EPOC elevado, con respecto al entrenamiento de resistencia (138). Un estudio (139), comparó los efectos sobre el EPOC de un entrenamiento en circuito en el que se trabajaba al 50% del 1RM frente a un entrenamiento con configuración tradicional a una intensidad del 80% del 1RM, obteniendo como resultado que la incidencia del entrenamiento en circuito sobre el EPOC fue mayor que la obtenida tras aplicar un entrenamiento con una configuración tradicional. Si bien, aunque las intensidades son diferentes a las estudiadas y no estaban equiparadas entre ambos protocolos aplicados, se puede extraer que la configuración del entrenamiento (circuito vs tradicional) puede ser determinante en la alteración producida sobre consumo de oxígeno post-ejercicio. En el mismo sentido, Paoli et al. (133) reportaron mayores valores de EPOC, medido a las 22 horas post-entreno, en un circuito con altas intensidades (80-85% del 1RM) frente a un entrenamiento con configuración tradicional (70-75% del 1RM). Los resultados obtenidos en el presente estudio, sugieren que además del tipo de entrenamiento, la intensidad y el volumen, también hay otro parámetro que influye de forma significativa sobre el EPOC, este parámetro sería la densidad del entrenamiento, la cual relaciona el tiempo de trabajo por unidad de tiempo total y se modifica con los tiempos de recuperación que se aplican en cada entrenamiento, siendo mayor la densidad aplicada en el entrenamiento en circuito frente al entrenamiento tradicional de fuerza.

VI - ESTUDIO 2

VI - ESTUDIO 2

Efectos sobre el rendimiento físico tras 8 semanas de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC) vs. entrenamiento tradicional de fuerza en jugadores de fútbol.

6.1. MATERIAL Y MÉTODO

6.1.1. Diseño experimental

Se realizó de un estudio cuasi-experimental, pre-post, sin grupo control, dividiendo a los participantes en 2 grupos de estudio con una distribución aleatoria estratificada en base a: minutos jugados (titular habitual / suplente), actividad física extra y demarcación. La duración total del estudio fue de 10 semanas, incluyendo 2 semanas de test (1 semana pre y 1 semana post) y 8 semanas de entrenamiento de fuerza (Figura 12). Este entrenamiento de fuerza era complementario al entrenamiento específico de la modalidad deportiva, el cual se realizaba con una frecuencia semanal de 3 días (que se redujo a 2 días por semana al iniciar el plan de entrenamiento de fuerza) más un día de competición en fin de semana. El entrenamiento complementario de fuerza se realizaba con una frecuencia de 2 días por semana y siguiendo una periodización ondulatoria que iba de 1 a 3 series de cada ejercicio por sesión.

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia y siguiendo la 64ª Declaración de la Asociación Médica Mundial sobre Principios Éticos para las investigaciones médicas con seres humanos.

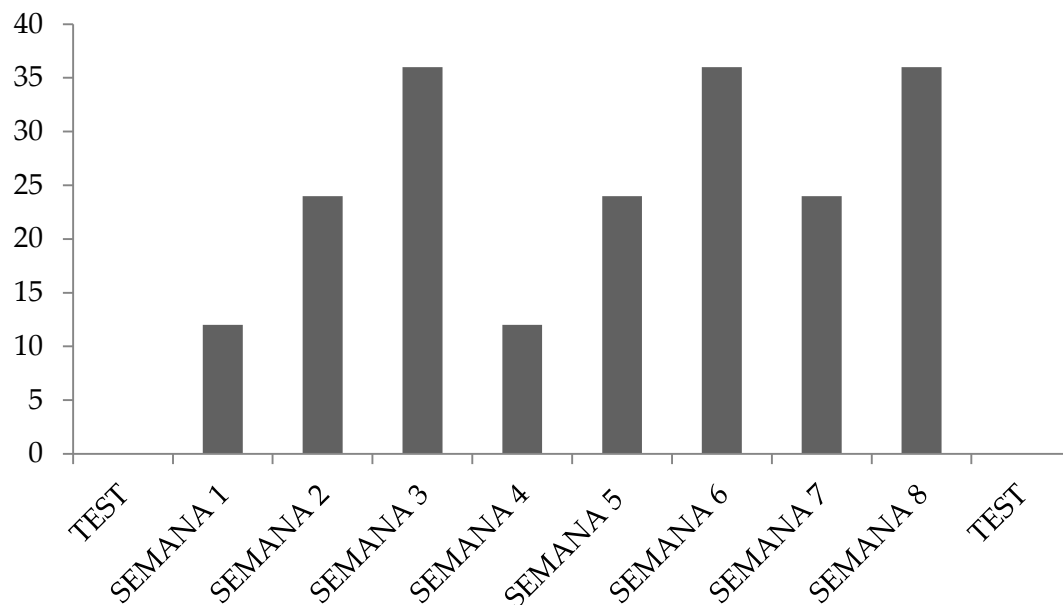


Figura 12. Periodización ondulatoria de la carga para ambos protocolos de entrenamiento (nº series · nº ejercicios).

En las sesiones de pre y post-test, se evaluó la capacidad de salto, el rendimiento aeróbico (ergoespirometría), la fuerza isocinética en flexo-extensores de rodilla, la composición corporal, el rendimiento en sprints (10 y 30 m), la velocidad de disparo y la capacidad para realizar sprints repetidos (RSA). También se evaluó de forma indirecta la evolución en la fuerza dinámica máxima (FDM) en los ejercicios realizados durante el periodo de entrenamiento (Tabla 7).

Tabla 7. Distribución de las pruebas previas y posteriores al periodo de entrenamiento.

Visita 1	Visita 2	Visita 3 (campo)
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de salto: CMJ. • Dinamometría isocinética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Composición corporal: DEXA. • Ergoespirometría 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de disparo. • RSA & Sprint

CMJ = Salto con contramovimiento; SJ = Salto sin contramovimiento; DEXA = Densitometría absorciométrica por energía dual de rayos X; RSA = Habilidad de sprints repetidos.

6.1.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 18 jugadores de fútbol de un mismo equipo que jugaba en división Territorial Preferente de la Región de Murcia y cuyas características generales están definidas en la Tabla 8. Los siguientes criterios de inclusión fueron aplicados para formar parte del estudio:

- No presentar lesión actual o haberla tenido en los últimos 3 meses que les impidiera realizar un trabajo de fuerza con sobrecargas.
- Ausencia de enfermedades o patologías cardiorrespiratorias, metabólicas o del aparato locomotor.
- Experiencia previa de al menos 3 años consecutivos compitiendo en fútbol.
- No tomar ningún tipo de ayudas ergogénicas.
- No estar realizando ningún programa de fuerza ajeno al entrenamiento específico de fútbol que llevaba el grupo.
- Haber comprendido y firmado el consentimiento informado redactado por el grupo de investigación y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia.

Tabla 8. Características generales de los participantes (promedio \pm DE).

	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	IMC (kg·m ²)	%GC
Total	21,2 \pm 2,6	177,6 \pm 6,8	73,4 \pm 7,0	23,28 \pm 1,87	14,7 \pm 5,7
HRC	21,2 \pm 2,8	175,4 \pm 6,8	74,1 \pm 5,0	24,09 \pm 1,14	15,3 \pm 6,6
TS	21,1 \pm 2,4	179,7 \pm 6,4	72,7 \pm 8,9	22,48 \pm 2,16	14,1 \pm 4,9

Total = medias de toda la muestra en conjunto (n=18); HRC = Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad (n=9); TS = Grupo de entrenamiento tradicional de fuerza (n=9); IMC = índice de masa corporal; %GC = porcentaje de grasa corporal.

6.1.3. Procedimientos

6.1.3.1. Test de control

Tanto en la semana previa al inicio de los entrenamientos como la siguiente a la finalización de las sesiones de entrenamiento, se realizaron pruebas de control de variables, con intención de determinar las posibles modificaciones que se pueden conseguir con ambos protocolos de entrenamiento de la fuerza. Estas pruebas se realizaron en 3 visitas no consecutivas siguiendo la distribución mostrada en la Tabla 7.

Visita 1

Calentamiento visita 1:

- 8 min en bicicleta estática con una carga de 75 W a 75-80 rpm.
- Estiramientos activos de tren inferior.
- 2 x 20 movimientos balísticos por cada pierna en bipedestación.
- 5 saltos CMJ submáximos y de intensidad progresiva y 30 seg de descanso entre saltos.

Capacidad de salto con contramovimiento (CMJ). Se realizaron 2 saltos CMJ con una recuperación de 1 min entre saltos. Para el análisis, se seleccionó el salto en el cual se alcanzaba una mayor altura. La posición de inicio era erguido en bipedestación y con las manos en la cintura. Cuando se marcaba el inicio, el sujeto debía realizar una flexión a la máxima velocidad posible (fase excéntrica) hasta aproximadamente 90° (Figura 13) seguida de una extensión a la máxima velocidad posible (fase concéntrica) para conseguir saltar lo máximo posible. Los brazos se mantenían durante todo el salto en la misma posición. A los participantes se les daba la indicación de que el salto debía ser máximo y efectuar un aterrizaje correcto sobre la plataforma de fuerza.



Figura 13. Fase de inicio de la acción concéntrica en CMJ.

El registro de los saltos se realizó con una plataforma dinamométrica extensiométrica fija (Dinascan, IBV. Valencia, España). Del posterior análisis, se obtuvieron las variables de altura de salto y máxima producción de potencia durante la fase concéntrica. La frecuencia de muestreo fue de 500 Hz. Los datos fueron tratados usando una hoja de cálculo para obtener el inicio de la fase excéntrica, inicio de fase concéntrica, momento del despegue e instante de aterrizaje. Con estos momentos ya determinados, se procedía al cálculo de la altura máxima de salto mediante las ecuaciones físicas de un movimiento acelerado.

Dinamometría isocinética. Tras realizar el test de capacidad de salto, con un intervalo de 5-10 min, se realizó una prueba para valorar la fuerza isocinética con las siguientes características:

- Test isocinético unilateral (pierna derecha).
- Concéntrico / concéntrico.
- Movimiento de flexión y extensión de rodilla.
- Velocidades de $60^{\circ}\cdot\text{seg}^{-1}$ y a $270^{\circ}\cdot\text{seg}^{-1}$.
- Posición inicial: flexión de 90° .
- Rango de movilidad 90° .
- 1 serie de 5 + 5 repeticiones para cada velocidad.
 - 5 repeticiones de familiarización previa con el gesto y la velocidad.
 - 5 repeticiones máximas de test.
- 2 min de recuperación entre series.

Para las mediciones se utilizó un dinamómetro isocinético Biodex System 3 (Biodex Medical Systems. Nueva York, EEUU) con una frecuencia de registro de 100 Hz. Se analizó la variable de torque pico (TP) en flexión y extensión de ambas piernas. Los participantes eran cinchados al asiento y colocados siguiendo las instrucciones del fabricante (Figura 14) para conseguir aislar el movimiento de flexo-extensión de rodilla y evitar compensaciones con otros gestos. Del mismo modo, se registró la posición en de los ajustes del dinamómetro para poder ser reproducida en las mismas condiciones y angulaciones en pre y post-test.



Figura 14. Test de dinamometría isocinética.

Visita 2

Análisis de la composición corporal. Se realizó un rastreo a cuerpo completo utilizando un densitómetro absorciométrico de rayos X de energía dual (DEXA) modelo Norland (XR-46, Norland Corporation Fort Atkinson, WI, EEUU). El día anterior a la sesión de mediciones, se realizaba una calibración completa (6 horas) siguiendo las instrucciones del fabricante. Con esta prueba se determinaba el porcentaje de grasa corporal (%GC), masa grasa (MG) y masa libre de grasa (MLG) a cuerpo completo de los sujetos. La prueba se realizaba por la mañana, entre las 9 y las 11 y siempre en las mismas condiciones de ingesta de sólidos y líquidos para cada participante (se realizaba después del desayuno). El test tuvo

una duración de 8 min y se realizaba en ropa interior y sin elementos metálicos (Figura 15). Tanto la prueba como el análisis, fueron realizados por personal formado y habilitado para la manipulación de maquinaria con rayos X.



Figura 15. Densitometría para análisis de composición corporal (DEXA).

Ergoespirometría. Previamente a la prueba de esfuerzo, se les realizaba a los sujetos una exploración inicial que comprendía un electrocardiograma basal (ECG) y un historial clínico (Anexo 2) de antecedentes para descartar patologías o posibles factores de riesgo que pusieran en peligro la integridad física del sujeto (Figura 16).



Figura 16. Reconocimiento médico previo.

Tras la monitorización y explicación de la prueba, se le colocaba a los sujetos la mascarilla para registro de gases y los electrodos de ECG para monitorizar la actividad cardiaca durante la prueba. Tanto para el ECG como para el análisis de gases respiratorios se utilizó el analizador de gases (Oxycon Pro Jaeger-Viasys™ Healthcare, Hoechberg, Alemania). Se realizó un test incremental maximal, el cual comenzaba con una fase de calentamiento y adaptación al equipo caminando a $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 2 min a una pendiente fija del 1% que se mantendría durante toda la prueba. El test se inicia a $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ tras el calentamiento, los incrementos de velocidad fueron de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta el agotamiento. El $\text{VO}_{2\text{máx}}$ fue determinado tanto en valor absoluto ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) como relativo al peso corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) promediando los valores de la prueba

cada 20 seg (140) para un correcto análisis de las variables a extraer. Las variables estudiadas fueron el $VO_{2máx}$, el VO_2 y la FC en zona de VT2 y el tiempo total de prueba. Para garantizar la maximalidad de la prueba se debían cumplir al menos 3 de los siguientes criterios (126, 127):

- Lograr un altiplano en la curva de VO_2 (menos de $2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de diferencia entre las 2 últimas etapas del test)
- Conseguir un valor $\geq 1,15$ para el RER.
- Alcanzar la FC máxima teórica ($220 - \text{edad}$).
- Superar un valor de concentración de lactato de $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en sangre al 1 min 40 seg del fin de prueba.

La determinación del VT2 se realizó siguiendo el método de equivalentes ventilatorios descrito por Wasserman (128) y se obtuvieron los parámetros de VO_2 y FC asociados a dicha zona.

Visita 3 (test de campo)

Calentamiento visita 3:

- 8 min de carrera continua a intensidad moderada.
- Movilidad articular y estiramientos activos de tren superior e inferior.
- 2 x 20 movimientos balísticos de flexo-extensión de cadera en bipedestación para cada pierna.
- 10 progresiones de velocidad en 30 m.
- 5 min de pase de balón a intensidad submáxima e incrementando la distancia desde el pasador al receptor, iniciando en unos 5 m y finalizando en unos 40 m.
- 5 disparos submáximos desde el punto de penalti.

Velocidad de disparo. Se registró la velocidad del balón en el disparo mediante un radar Stalker ATS (Texas, EEUU). El balón se colocaba en el punto de penalti (11 m) y se debía hacer un disparo máximo a puerta sin objetivo de precisión. La única indicación que se le daba es que el balón fuese centrado y a una altura media para minimizar el vector de velocidad en los ejes Z e Y. El radar se colocó a

una distancia de 3 m de la línea de gol (14 m del balón), a una altura de 1 m del suelo y en línea recta con el punto de penalti. A los participantes se les permitía un radio máximo de carrera de 5 m tomando como eje central el punto de penalti. El lanzamiento se realizaba con la pierna dominante y se permitía contactar con cualquier parte del pie con la que el participante considerara que realizaría su disparo a mayor velocidad. Se realizaron 3 disparos válidos por participante y se registró el de mayor velocidad. Un disparo no se consideraba válido si el participante se resbalaba, no contactaba correctamente con el balón o el balón se desviaba demasiado de la horizontal con el radar. Para el lanzamiento se utilizó un balón Nike Strike del nº 5, con una presión de 2,35 bares.

Habilidad en sprints repetidos (RSA). El test consistía en realizar 7 sprints máximos de 30 m cada uno con intervalos de recuperación pasiva de 20 seg entre cada carrera (33, 34, 141). Se utilizó un sistema de cronometraje por infrarrojos DSD Lasersystem (DSD. León, España). Se colocaron 2 puntos de cronometraje para registrar el tiempo en los metros 0 y 30 m (Figura 17). El test se desarrolló en un campo de césped artificial y los participantes utilizaron su calzado de entrenamiento (bota de tacos para césped artificial). De esta prueba se obtuvo el índice de fatiga (IF), expresado como el porcentaje de decrecimiento del rendimiento en 30 m mediante la fórmula: $IF = ((\text{mejor sprint} - \text{peor sprint}) / \text{mejor sprint}) \cdot 100$ (33, 141). En el mismo test, se registró el mejor sprint de 30 m, para tomarlo como referencia en el análisis pre-post de la capacidad de aceleración.



Figura 17. Test de sprints repetidos (RSA).

Valoración de la fuerza dinámica máxima. La fuerza dinámica máxima (1RM) fue estimada de forma indirecta para cada ejercicio. Para ello se utilizó la carga que movilizaban a 6RM en la primera serie del primer día de entrenamiento de la semana 2 (pre) y la que consiguieron en la primera serie de la última sesión de entrenamiento (post). Para este análisis se desechó la carga de la semana 1, al considerarla como una fase de adaptación o familiarización con el periodo de entrenamiento. Con esta carga directa de 6RM, indirectamente se obtenía el 1RM, aplicando para ello la fórmula descrita por Brzyki (142) para dicha estimación.

Control de la dieta. El control de la dieta se realizó mediante recordatorio 24h (Anexo 4). Dicho recordatorio se pasó en 3 ocasiones a cada participante, coincidiendo con 2 días laborales y 1 día de fin de semana. Mediante la entrevista, se cuantificaban los alimentos sólidos y líquidos para transferirlos a cantidades aproximadas. Tras la recolección de los datos de ingesta, éstos fueron procesados con el programa Diet Source 3.0 (Novartis Medical Nutrition, Nyon, Suiza) para Windows. Con el análisis se extrajeron las cantidades y porcentajes de proteínas,

lípidos e hidratos de carbono, así como la Kilocalorías diarias consumidas (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de la dieta con recuerdo 24h.

Grupo	Hidratos de Carbono		Lípidos		Proteínas		Energía
	(g)	%	(g)	%	(g)	%	Kcal
HRC	384,7	51,6	107,6	30,4	99,9	15,9	2.953,8
TS	370,3	49,0	130,8	36,2	117,1	15,3	3.212,4
Totales	377,5	50,3	119,2	33,3	108,5	15,6	3.083,1

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; g = gramos; % = porcentaje que representa con respecto a la ingesta total diaria; Kcal = Kilocalorías.

El objetivo del control de la dieta, fue evitar que la alimentación pudiera interferir de forma diferente en el desarrollo de las habilidades evaluadas en pre-post. Por ello, se realizó un análisis estadístico (T-test) que mostró que no existían diferencias significativas entre grupos a nivel de macronutrientes y Kilocalorías diarias.

6.1.3.2. Entrenamiento

Calentamiento. El protocolo de calentamiento, tanto general como específico fue el mismo para ambos tipos de entrenamiento. Los sujetos comenzaban el calentamiento general trotando en el tapiz rodante a $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y con una pendiente fija del 1% durante 5 min. Seguidamente se realizaban ejercicios de movilidad articular y estiramientos activos de los principales grupos musculares. El calentamiento específico consistía en 3 series regresivas en volumen y progresivas en intensidad, en las cuales se trabajaba con los 3 ejercicios del bloque 1 del entrenamiento (contractora de pecho, extensiones de rodilla y curl de bíceps) con un ritmo de ejecución a máxima velocidad en la fase concéntrica y con una fase excéntrica realizada en 3 seg (máx : 3):

- Primera serie: con el 50% del 6RM (estimado para cada participante en el primer día de entreno) realizando 10 reps. Recuperación de 1 min.

- Segunda serie: 8 reps con el 75% del 6RM. Recuperación de 2 min.
- Tercera serie: se realizaba con la carga del 6RM que se había entrenado el día anterior y las repeticiones eran máximas. En base a las repeticiones que realizara con esa carga se ajustaba el 6RM para la sesión de entrenamiento de ese día, siendo el ajuste de $\pm 2,5\%$ si realizaba ± 1 repetición y $\pm 5\%$ de la carga movilizada si se realizaban ± 2 reps con diferencia de las 6 repeticiones máximas estipuladas para esa carga (89).

Entre el calentamiento y el entrenamiento principal se realizaba un periodo de recuperación de 3 min. El calentamiento específico del bloque 2 se realizaba tras los 5 min de recuperación entre bloque, realizándose sólo la última serie del calentamiento específico en la cual se establecía el ajuste de las cargas de entrenamiento para los ejercicios del bloque 2.

Circuito de alta intensidad (HRC). El protocolo de entrenamiento en HRC se basa en realizar las recuperaciones locales de forma activa, es decir, no se modifica el tiempo de recuperación local, pero durante ese tiempo de recuperación se hacen otros 2 ejercicios que implican musculatura diferente. Durante el HRC se realizaba un ejercicio cada ~ 35 seg. El entrenamiento estaba compuesto por 6 ejercicios de musculación (Figura 18) realizados en máquinas guiadas y divididos a su vez en 2 bloques de 3 ejercicios. La distribución de los ejercicios se hizo de la siguiente manera: bloque 1 (contractora de pecho, extensiones de rodilla, curl de bíceps) y bloque 2 (curl femoral, jalón al pecho, flexiones plantares). Entre bloques se realizaba un descanso de 5 min, seguido de la serie de calentamiento específico del bloque 2 y 3 min de recuperación. El ritmo de contracciones fue de máxima velocidad para la fase concéntrica y de 3 seg para la fase excéntrica (máx : 3). Los ejercicios de entrenamiento se realizaron como se muestra en la Figura 18.

Entrenamiento tradicional de fuerza (TS). Los parámetros principales de entrenamiento, intensidad, volumen, ejercicios, ritmo, series y repeticiones eran idénticos en ambos protocolos de entrenamiento. La principal diferencia entre el HRC y el TS fue el tipo de recuperación que se realizaba entre ejercicios. En el protocolo tradicional, tras finalizar una serie del ejercicio recuperaban 3 min de forma pasiva. Las series se iban completando para cada ejercicio en el mismo orden establecido (Figura 18). No se pasaba al siguiente ejercicio hasta realizar

todas las series que correspondieran del ejercicio ejecutado. Durante el TS se realizaba un ejercicio cada 3 min.

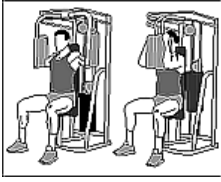





Bloque 1		
		
1. Contractora pectoral	2. Extensión de rodillas	3. Curl bíceps polea
Bloque 2		
		
4. Curl femoral	5. Jalón al pecho	6. Flexión plantar

Figura 18. Ejercicios de entrenamiento.

Periodización del entrenamiento de fuerza. Se siguió un modelo de periodización no lineal, ya que estos modelos han demostrado ser más adecuados frente a modelos lineales para la periodización del entrenamiento de fuerza (143), realizando una variación en el volumen semanal durante el periodo de entrenamiento (Figura 12). La oscilación fue de 1 a 3 series de cada ejercicio por sesión, lo que es equivalente a un rango de 12 a 36 series semanales (2 sesiones no consecutivas de entreno por semana).

Cuantificación de la carga de entrenamiento específico de fútbol. Durante el periodo del estudio, los futbolistas realizaban su entrenamiento específico de fútbol con una frecuencia semanal de 2 días. Aunque no se hizo intervención alguna sobre las cargas de entrenamiento específico, éstas sí se cuantificaron (Tabla 10).

Tabla 10. Cuantificación de las cargas de entrenamiento en campo.

Semana	Aeróbico (min)	Anaeróbico (min)	Velocidad (m)	F. abd. (reps)	Flex. (min)	Téc-Táct (min)
Pre	60	-	2.400	300	40	110
1	70	80	-	300	40	155
2	40	105	-	300	40	135
3	46	106	-	300	40	167
4	40	108	-	300	40	173
5	10	145	80	300	40	150
6	10	100	-	300	40	170
7	10	145	80	300	40	150
8	35	140	-	600	60	200
Post	10	145	80	300	40	150
Total	331	1.074	2.640	3.300	420	1.560

Pre = pre-test; post = post-test; min = minuto; m = metros; reps = repeticiones; F = fuerza; abd = abdominal; flex = flexibilidad; téc-tác = entrenamiento técnico-táctico.

6.1.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) de (IBM Company, Nueva York, Estados Unidos) en su versión 19.0 para Mac. Las características generales de los participantes son mostradas como valores promedios y desviación estándar (prom. \pm DE). La distribución normal y homogénea de la muestra fue comprobada con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene respectivamente. Con el fin de determinar el

efecto del tiempo en cada grupo y la interacción entre los mismos, se realizó una ANOVA de medidas repetidas con post-hoc de Bonferroni, estableciendo un valor de significación de $p \leq 0,05$ y de $p \leq 0,08$ para la tendencia a la significación.

6.2. RESULTADOS

Este estudio fue diseñado para comprobar los efectos producidos por un protocolo en HRC en comparación con el TS tras 8 semanas de entrenamiento. Para determinar dicho efecto, se evaluaron variables cardiorrespiratorias, metabólicas y de rendimiento específico en fútbol con una distribución previa y posterior al periodo de entrenamiento.

Variables cardiorrespiratorias. A nivel de rendimiento cardiorrespiratorio, evaluado mediante ergoespirometría máxima (Tabla 11), se hallaron diferencias significativas pre-post en el VO_2 en umbral anaeróbico (VT2) y en concentración de lactato al 1 min 40 seg post-prueba solamente en los participantes que entrenaron con metodología HRC, así como una tendencia a la significación en los valores de $VO_{2máxR}$ y tiempo total de prueba. No se hallaron diferencias para el grupo TS en ninguna de las variables estudiadas, así como tampoco entre grupos de entreno.

Tabla 11. Variables cardiorrespiratorias.

Variables	HRC		TS	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
VO₂máx (l·min ⁻¹)	4,28 ± 0,39	4,38 ± 0,45	4,31 ± 0,39	4,31 ± 0,43
VO₂máxR (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	58,4 ± 3,8	59,7 ± 3,5 †	60,1 ± 3,5	59,5 ± 2,0
VO₂ en VT2 (l·min ⁻¹)	2,91 ± 0,78	3,12 ± 0,69 *	2,90 ± 0,86	2,81 ± 0,94
VO₂R en VT2 (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	39,9 ± 10,3	42,9 ± 9,5 *	40,0 ± 9,9	58,4 ± 3,8
Tiempo de prueba (seg)	627,1 ± 53,8	643,0 ± 48,9 †	662,6 ± 69,3	653,1 ± 41,7
[La⁺] (mmol·l ⁻¹)	10,8 ± 2,3	11,8 ± 2,5 *	11,6 ± 2,1	10,9 ± 2,7

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno; VO₂máxR = consumo máximo de oxígeno normalizado al peso corporal; VT2 = segundo umbral ventilatorio; [La⁺] = concentración de lactato en sangre capilar transcurridos 1 min 40 seg del fin de la prueba de esfuerzo; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$); † = tendencia a la significación en pre-post ($p \leq 0,08$).

Composición corporal. En el grupo HRC, se observó una reducción significativa en el porcentaje graso, masa grasa total y masa grasa en tren inferior, mientras que el grupo que entrenó en TS, solamente obtuvo un descenso significativo en el porcentaje graso (Tabla 12). Así mismo, se encontraron diferencias significativas entre grupos para la variable de porcentaje graso, obteniendo una mayor reducción el grupo HRC frente al TS.

Tabla 12. Análisis de la composición corporal.

Variables	HRC		TS	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Peso corporal (kg)	74,3 ± 5,9	74,2 ± 5,4	70,7 ± 8,3	71,4 ± 8,6
IMC (kg·m ²)	24,1 ± 1,3	24,1 ± 1,3	22,3 ± 2,2	22,5 ± 2,4
MG (kg)	11,9 ± 4,8	9,7 ± 4,7 *	9,9 ± 4,3	9,0 ± 4,4
MLG (kg)	60,9 ± 7,7	61,7 ± 6,9	58,1 ± 4,3	59,0 ± 4,9
% GC (%)	15,9 ± 7,1	13,1 ± 6,9 *‡	13,3 ± 4,8	12,1 ± 4,8 *
MGti (kg)	5,2 ± 1,8	4,4 ± 1,9 *	4,2 ± 1,6	3,9 ± 1,7

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; IMC = índice de masa corporal; MG = masa grasa; MLG = masa libre de grasa; %GC = porcentaje de grasa corporal; MGti = masa grasa del tren inferior; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$); ‡ = diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$).

En valores porcentuales, las mejoras del grupo HRC en composición corporal, rondaron el 20%, mientras que el TS se modificó sobre un 10% (Figura 19).

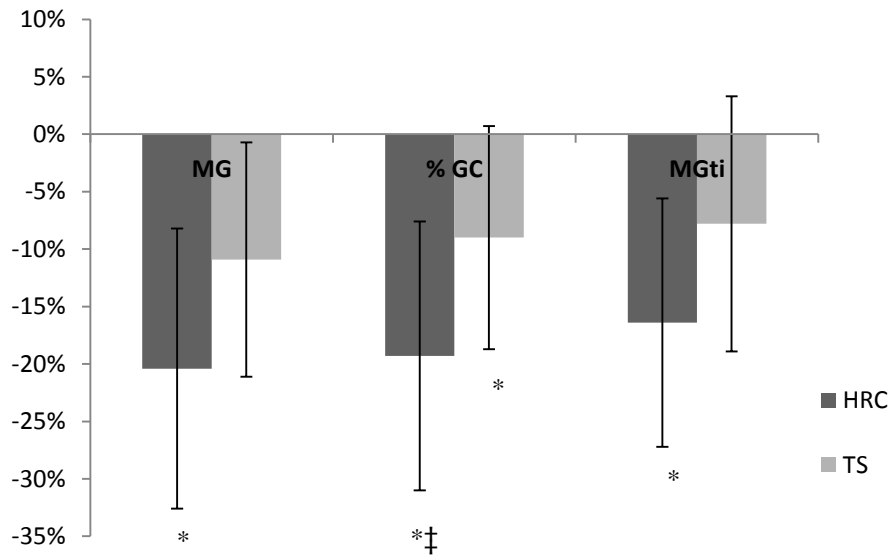


Figura 19. Porcentajes de modificación de la composición corporal.

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; MG = masa grasa; %GC = porcentaje de grasa corporal; MGti = masa grasa del tren inferior; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$); † = diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$).

Fuerza isocinética. Los participantes del grupo HRC, mejoraron significativamente en en torque pico de flexión y extensión de rodilla en ambas velocidades estudiadas con el test isocinético de flexo-extensión de rodilla (Tabla 13). En contraposición, el grupo que entrenó con metodología TS, solamente mejoró significativamente en la flexión de rodilla a $270^\circ \cdot \text{seg}^{-1}$. No se hallaron diferencias significativas entre grupos para ninguna de las variables estudiadas en fuerza isocinética.

Tabla 13. Dinamometría isocinética en flexo-extensión de rodilla.

Torque Pico		HRC		TS	
		Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Extensión (N·m)	60°·seg ⁻¹	206,0 ± 33,1	213,3 ± 25,3 *	216,4 ± 40,4	229,3 ± 50,4
	270°·seg ⁻¹	128,0 ± 14,2	140,4 ± 15,4 *	124,6 ± 26,6	132,3 ± 33,0
Flexión (N·m)	60°·seg ⁻¹	110,1 ± 18,5	129,9 ± 10,8 *	121,7 ± 20,7	126,5 ± 23,7
	270°·seg ⁻¹	77,3 ± 14,3	87,1 ± 9,6 *	87,5 ± 13,8	99,9 ± 15,8 *

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$)

Fuerza dinámica máxima. Ambos grupos de estudio (HRC y TS) obtuvieron mejoras significativas en el 1RM de cada ejercicio realizado durante el periodo de entrenamiento (HRC = $14,53 \pm 7,42\%$; TS = $17,90 \pm 11,90\%$ de promedio de incremento de la carga en todos los ejercicios).

Habilidad de sprints repetidos (RSA). No se hallaron diferencias significativas en ninguno de los 2 grupos para el mejor tiempo en completar la carrera de 30m. En cuanto al índice de fatiga, se encontraron diferencias pre-post en el grupo HRC, que redujo dicho parámetro tras el periodo de entrenamiento, siendo menor el porcentaje de decrecimiento de la velocidad durante la repetición de sprints (Tabla 14). Así mismo, estas diferencias significativas también se hallaron entre grupos para el HRC.

Tabla 14. Habilidad de sprints repetidos (RSA).

Variables	HRC		TS	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Mejor T-30 m (seg)	4,25 ± 0,17	4,31 ± 0,20	4,29 ± 0,18	4,25 ± 0,18
Peor T-30 m (seg)	4,65 ± 0,21	4,65 ± 0,20	4,72 ± 0,16	4,68 ± 0,15
IF (%)	8,69 ± 2,19	6,78 ± 2,07 *‡	10,05 ± 3,58	10,06 ± 4,43

RSA = repeat sprint ability (habilidad de sprints repetidos); HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; T-30m = tiempo para recorrer 30 metros a máxima velocidad; IF = porcentaje de decrecimiento de la velocidad durante RSA; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$); ‡ = diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$).

Capacidad de salto. No se observaron diferencias (Tabla 15) para ninguno de los 2 grupos en la capacidad de salto en ninguna de las variables estudiadas.

Tabla 15. Análisis de la capacidad de salto (CMJ).

Variables	HRC		TS	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Altura de salto (cm)	30,5 ± 4,8	29,3 ± 4,1	28,3 ± 2,9	27,1 ± 3,5
Potencia pico (N)	3563,8 ± 496,2	3513,3 ± 461,5	3324,2 ± 484,7	3378,4 ± 619,9

CMJ = counter movement jump (salto con contramovimiento); HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza.

Velocidad de disparo. No hubo cambios en la velocidad de disparo en los

jugadores que entrenaron con HRC. En el grupo TS, por el contrario, si se observó un incremento significativo en la velocidad de disparo (Tabla 16), aumentando ésta en un 3% tras el periodo de entrenamiento.

Tabla 16. Velocidad de disparo.

Variables	HRC		TS	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Velocidad de disparo (Km·h⁻¹)	105,6 ± 3,9	106,3 ± 4,1	104,5 ± 3,9	107,5 ± 5,0 *

HRC = entrenamiento en circuito de alta intensidad; TS = entrenamiento tradicional de fuerza; * = diferencia significativas pre-post ($p \leq 0,05$).

6.3. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio, fue determinar los efectos sobre el sistema cardiorrespiratorio, la fuerza muscular, composición corporal y acciones específicas en fútbol (sprints, salto, golpeo de balón) que producía un entrenamiento de fuerza de 8 semanas con metodología HRC frente al entrenamiento tradicional de fuerza. Los resultados observados en este estudio, nos muestran que la metodología en HRC genera mayor activación sobre parámetros cardiorrespiratorios y de composición corporal, mientras que ambos protocolos de entrenamiento consiguen similares adaptaciones en fuerza.

Como ya demostraron Alcaraz et al. (87), el entrenamiento en circuito HRC tiene una duración menor que el TS de un 66%. El presente estudio pretende añadir si con este protocolo de entrenamiento, además de la reducción de tiempo se pueden obtener otro tipo de beneficios, adicionales a los propios del entrenamiento de fuerza (79), que ayuden a mejorar el rendimiento físico y deportivo de los futbolistas.

Con el HRC se consiguieron mejoras entre pre y post-test en el $VO_{2\text{máxR}}$ de los futbolistas (pre = $58,4 \pm 3,8$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; post = $59,7 \pm 23,5$ ml·kg⁻¹·min⁻¹), mientras que el entrenamiento tradicional de fuerza no consiguió mejorar este parámetro y experimentó una leve reducción, aunque no fue significativa, en los

valores medios (pre = $60,1 \pm 3,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; post = $59,5 \pm 2,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Dichas mejoras, pueden ser debidas a la mayor activación que el HRC genera en el sistema cardiorrespiratorio (véase estudio 1). En un estudio con metodología tradicional concurrente (144), tras aplicar un entrenamiento de alta intensidad combinando fuerza (4RM) y resistencia (90-95% FC_{max}) durante 8 semanas con una frecuencia de entrenamiento de 2 días por semana, se obtuvieron modificaciones en los parámetros de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (pre = $60,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; post = $65,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $\Delta = 5,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Estos resultados muestran un aumento mayor del $\text{VO}_{2\text{máxR}}$ que el obtenido por nuestro estudio. Estas diferencias se pueden explicar con que el tipo de entrenamiento era diferente al realizado en el presente estudio, ya que Helgerud et al. (144), realizaban también entrenamiento puro de resistencia, a una intensidad específica para conseguir las mejoras en $\text{VO}_{2\text{máxR}}$. Así mismo, la frecuencia de entrenamiento específico de fútbol del equipo estudiado por ellos era de 6 sesiones por semana (profesionales), mientras que el equipo analizado en el presente estudio fue de 2 días por semana, por lo que en el estudio de Helgerud et al. (144), al carecer de grupo control no se podría determinar con certeza a qué se deben las mejoras halladas para poder ser comparadas directamente con nuestro estudio aislando el efecto del entrenamiento aplicado. Previamente, otro estudio en la misma línea (88) determinó cambios en el $\text{VO}_{2\text{máxR}}$ tras aplicar un programa de entrenamiento combinado de fuerza y resistencia, en el que el grupo experimental movilizaba cargas similares a las que se estudiaron con el HRC ($\sim 85\%$ del 1RM). Hoff et al. (88) obtuvieron modificaciones en $\text{VO}_{2\text{máxR}}$ ($\Delta = 1,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) similares a las producidas en el grupo HRC del presente estudio ($\Delta = 1,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Conseguir mejoras en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ es uno de los principales objetivos la preparación física en el fútbol, ya que está demostrado que los futbolistas que tienen un $\text{VO}_{2\text{máx}}$ más alto son capaces de recorrer mayores distancias durante un partido de fútbol (5, 22, 23), además, con el aumento del $\text{VO}_{2\text{máx}}$, también se consigue aumentar el número de sprints realizados durante un encuentro de competición en un 100% y las intervenciones del jugador con balón en un 25% (5). Por esto, los resultados obtenidos en el presente estudio son de gran importancia para tener en cuenta el HRC como alternativa a los métodos tradicionales de entrenamiento de la fuerza en futbolistas, más aun teniendo en cuenta la diferencia en tiempo de sesión para llevar a cabo el HRC frente a métodos concurrentes tradicionales. El HRC podría ser considerado como un

método idóneo para implantar como complemento al entrenamiento de resistencia aeróbica, ya que se observan similares mejoras que con métodos concurrentes tradicionales que combinan fuerza y resistencia en bloques separados pero con un tiempo de trabajo mucho más reducido. Este concepto de tiempo de entreno, tiene una implicación muy importante en el mundo del fútbol, ya que apenas se dedica tiempo para entrenamientos que no tengan que ver con el entrenamiento de campo, mucho más aun en equipos no profesionales.

Por otro lado, los jugadores que entrenaron con metodología HRC, consiguieron un incremento significativo en el VO_2 en VT2, logrando mejorar consecuentemente este parámetro. Al igual que las mejoras conseguidas en $VO_{2máxR}$, los cambios logrados en VT2 pueden ser debidos a esa mayor activación a nivel cardiorrespiratorio conseguida durante el HRC (véase estudio 1), trabajando durante toda la sesión en un punto más cercano a VT2 en comparación con la metodología TS. No se han encontrado muchos estudios que relacionen directamente el entrenamiento de fuerza con la posición de VT2 en futbolistas, probablemente porque este tipo de entrenamiento no es el que se suele utilizar para mejorar la posición dicho parámetro y siempre se ha trabajado con entrenamiento específico de resistencia, pero existe un estudio (96) que analizó los cambios en VT2 producidos por diferentes configuraciones de entrenamiento concurrente tradicional, encontrando diferencias significativas en dicho parámetro. En ese caso, los participantes realizaban entrenamiento puro de resistencia, con lo cual es normal que las mejoras en dicho parámetro sean superiores a las conseguidas por nuestro grupo de HRC. El VT2, sería un parámetro más sensible incluso el que $VO_{2máx}$ para determinar el nivel de rendimiento de un deportista, con lo cual, enfocar el entrenamiento para conseguir elevar la intensidad a la que aparece el VT2 es un aspecto muy importante en la preparación física, ya que ayudaría a ampliar la capacidad aeróbica del futbolista (29). Por ello, el HRC, podría ser un buen método de apoyo al entrenamiento de resistencia para generar modificaciones en VT2 y conseguir así un incremento en el rendimiento físico durante una competición de fútbol.

Nuestros datos muestran que el grupo HRC consiguió modificaciones significativas entre pre y post-test en el porcentaje graso medido por DEXA ($\Delta = -$

2,7 ± 1,4 puntos porcentuales), estas mejoras también fueron estadísticamente significativas entre grupos de estudio pese a que con el entrenamiento tradicional de fuerza, también se logró reducir el porcentaje graso ($\Delta = -1,1 \pm 1,1$ puntos porcentuales). Como se muestra en el estudio 1, el coste energético por unidad de tiempo, así como el efecto residual del entrenamiento sobre la bioenergética, es mayor durante el HRC, lo que podría explicar las diferencias halladas en el presente estudio. En la misma línea, Alcaraz et al. (79), encontraron diferencias significativas entre pre y post-test ($\Delta = -1,5 \pm 1,6$ puntos porcentuales para HRC; $\Delta = -1,1 \pm 1,9$ puntos porcentuales para TS) en sujetos entrenados en musculación a los que se les aplicó un entrenamiento con protocolo HRC durante 8 semanas con una frecuencia de entrenamiento de 3 días por semana. Las diferencias entre ambos estudios pueden ser debidas a las características de la muestra y a que la frecuencia semanal de entrenamiento fue diferente en ambos trabajos si tenemos en cuenta que los futbolistas entrenaban también en campo y competían en fin de semana. Sutton et al. (7) concluyeron que poseer unas características antropométricas determinadas se puede considerar como un factor determinante para que un jugador pueda competir en la élite del fútbol. Los jugadores de alto nivel, presentan una homogeneidad en cuanto a composición corporal, por lo que el somatotipo del futbolista puede determinar el nivel de competición que se alcance. Conseguir modificaciones en la composición corporal puede ser un objetivo prioritario en las pretemporadas de los equipos de fútbol. El HRC modifica la composición corporal, principalmente el porcentaje graso, debido a la relación entre incremento moderado de masa muscular y reducción notable de masa grasa, por lo que puede ser una buena herramienta para conseguir alcanzar el somatotipo del futbolista de élite y optimizar así el entrenamiento y rendimiento deportivo de los jugadores y en consecuencia del equipo.

Las mejoras constatadas sobre fuerza isocinética y fuerza dinámica máxima mostraron que ambos métodos de entrenamiento cumplen su principal objetivo, generando adaptaciones en fuerza. Adicionalmente, las adaptaciones manifestadas en el test isocinético, denotaban una mayor eficacia del protocolo HRC en flexo-extensores de rodilla. Con el protocolo de entrenamiento tradicional tan solo se mejoró significativamente la fuerza máxima isocinética de los flexores de rodilla a velocidades altas. Estas diferencias en cuanto a las adaptaciones con ambos protocolos en fuerza isocinética pueden ser debidas a la

mayor intensidad de trabajo, a nivel anaeróbico, que provoca el entrenamiento en HRC, tal y como se ha demostrado en el estudio 1. En la misma línea, son muchos los estudios (51, 145, 146) que demuestran la efectividad del trabajo de alta intensidad con resistencias (4-6RM) para conseguir mejoras a nivel de fuerza muscular. Las recomendaciones en cuanto a la intensidad óptima para el entrenamiento de la fuerza en fútbol van por esa línea de alta intensidad frente a entrenamientos con cargas más livianas (3). La fuerza, es uno de los factores determinantes para el rendimiento de los futbolistas (3), por lo cual, se considera el entrenamiento de fuerza como una parte fundamental del entrenamiento deportivo. Por lo tanto, se podría considerar que el HRC cumple con las recomendaciones establecidas para ser incluido como complemento al entrenamiento de campo a la hora de buscar mejoras en fuerza muscular.

En nuestro estudio, no se encontraron diferencias significativas en la aceleración en 30 m para ningunos de los 2 grupos de entrenamiento, sin embargo se hallaron diferencias significativas para el grupo HRC en el IF durante un test de sprints repetidos. Probablemente, estas mejoras encontradas en el grupo HRC, puedan estar relacionadas con los hallazgos en las variables cardiorrespiratorias que se dieron en ese mismo grupo de entrenamiento, ya que hay estudios previos que relacionan las mejoras a nivel cardiorrespiratorio con la capacidad de recuperación y de realizar un mayor número de esfuerzos intermitentes (5). Así mismo, la exposición a mayores concentraciones de lactato durante el protocolo en HRC puede contribuir a generar adaptaciones que ayuden a tolerar y controlar este metabolito durante el esfuerzo, retardando así la aparición de fatiga. En relación a la capacidad de aceleración en 30 m, existe controversia en la literatura y es preciso seguir investigando al respecto. Hay un estudio reciente (147) que muestra mejoras moderadas en dicha distancia tras aplicar un protocolo de entrenamiento de fuerza durante 6 semanas (60 – 75% del 1RM), en contraposición, otro reciente estudio (148), no encontró diferencias en la aceleración en 30 m tras aplicar un protocolo de entrenamiento concurrente durante 5 semanas con una intensidad del 85% del 1RM para el entrenamiento de fuerza y del 85 – 95% de la $FC_{\text{máx}}$ para el entrenamiento de resistencia aplicado en intervalos de 4 min con tareas en espacios reducidos. En contraposición a lo hallado en nuestro estudio con respecto al RSA, (35), no encontraron cambios tras aplicar un entrenamiento de fuerza combinado con sprints repetidos, sin

embargo, un estudio reciente (37), sí que reportó mejoras en RSA tras 6 semanas de entrenamiento de fuerza al 75% del 1RM con entrenamiento tradicional solamente para tren inferior (media sentadilla, prensa de piernas y curl de isquiosurales) en jugadores de fútbol sala. En el estudio de Paz-Franco et al. (37), consiguen mejoras más acentuadas que las obtenidas por el grupo HRC para el IF, lo que puede ser debido al tipo de ejercicios que se realizaron, siendo un entrenamiento más focalizado en el tren inferior en su estudio. Este hallazgo puede ser importante de cara al rendimiento en una competición de fútbol, ya que se suelen dar esfuerzos intermitentes similares a lo que reproduce un test de RSA y obtener mejoras en el IF durante este test puede traducirse en mejoras específicas en competición.

En la capacidad de salto CMJ, no se hallaron diferencias significativas para ninguno de los 2 grupos de estudio. Hay estudios (35, 37), que sí encontraron mejoras en la capacidad de salto CMJ tras el periodo de entrenamiento propuesto. Las diferencias encontradas entre nuestro estudio y los otros citados, se pueden deber a la especificidad de los ejercicios seleccionados en cada caso, ya que en ambos casos incluían el ejercicio de media sentadilla, el cual está más próximo al gesto técnico del salto. Los saltos son acciones importantes para el desarrollo de una competición de fútbol, por lo que es preciso seguir investigando sobre la contribución de los entrenamientos concurrentes al rendimiento en dicho gesto deportivo.

Con respecto a la velocidad de disparo, el grupo que entrenó con metodología tradicional, experimentó una mejora significativa de dicho parámetro. En el estudio de Pérez-Gómez et al (149), se constataron mejoras en la velocidad angular durante un disparo tras un periodo de 6 semanas de entrenamiento combinado de levantamientos y pliometría. La forma de medir el rendimiento sobre el disparo fue diferente entre ambos estudios, por lo que puede que los resultados de mejora obtenidos por Pérez-Gómez et al (149) no permitan una comparación totalmente directa, aun así, la inclusión de la pliometría en su metodología de entrenamiento puede ser una de las causas que explique esas mejoras en el rendimiento del disparo, en comparación con nuestro estudio en que no se realizaba un trabajo pliométrico. En el mismo sentido, un estudio reciente (150) relaciona la capacidad de salto con la velocidad de disparo en la

pierna dominante solamente, por lo que con estos resultados se acentúa el conocimiento de la gran influencia técnica de este gesto, ya que en la pierna no dominante no se observan correlaciones positivas. No cabe duda de que, el disparo, es una de las acciones más determinantes en una competición de fútbol, ya que de dicho gesto provienen la mayoría de los goles que se consiguen en un encuentro. No obstante, dicho gesto técnico es muy variable dependiendo del requerimiento del juego en cada momento, por lo que no solamente está influido por la velocidad de disparo, sino también por habilidades técnicas que influyan en la precisión de dicho disparo.

En el desarrollo de una competición de fútbol, se dan multitud de acciones explosivas de alta intensidad, como pueden ser saltos, sprints, tackles y disparos. Aunque el porcentaje de tiempo que se realizan estas acciones con respecto al tiempo total de competición es muy bajo, dichas acciones suelen ser determinantes para el desarrollo de un partido de fútbol (4-6, 13, 14, 17). Como se ha expuesto, existe mucha controversia en la literatura con respecto a las adaptaciones provocadas por entrenamientos de fuerza sobre habilidades específicas del fútbol. Probablemente, el problema de testar dichas habilidades y atribuir posibles cambios al entrenamiento de fuerza, sea la contribución del entrenamiento específico de campo, por ello sería necesario que en futuros estudios que pretendan analizar dichas variables se incluyera un grupo control, ya que la mayoría de estudios con estas poblaciones (incluido nuestro estudio) carecen de dicho grupo, debido a la dificultad de acceder a modificar solamente el entrenamiento de una parte del equipo. Por lo cual, las modificaciones que encontremos sobre dichos parámetros tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza, puede que se deban a otros factores específicos del entrenamiento de campo. Tras el análisis de los test de gestos específicos de fútbol (salto, sprint y disparo), se puede observar que, de forma general, el entrenamiento de fuerza aplicado (HRC y TS) no es demasiado influyente a la hora de conseguir mejoras en dichas variables. Hay que tener en cuenta, que estos gestos también tienen un componente de ejecución técnica, el cual puede ser limitante a la hora de que los cambios en el rendimiento físico se puedan ver manifestados o relacionados con una mejora directa en el rendimiento durante la ejecución de una de estas acciones. Otro de los inconvenientes de los programas de fuerza propuestos en los estudios, es la corta duración de los mismos (5 - 8

semanas), lo que puede que no sea suficiente para constatar cambios a nivel de habilidades específicas de competición.

En resumen, el HRC puede ser considerado como un buen entrenamiento para conseguir mejoras en parámetros cardiorrespiratorios como complemento al entrenamiento específico de fútbol. Además reduce de manera significativa el porcentaje de grasa frente a las mejoras obtenidas con el entrenamiento tradicional de fuerza. La fuerza, en general, se mejora con ambos protocolos, por lo que con el HRC, conseguimos mejoras adicionales en parámetros ajenos a la fuerza sin que se vea comprometido el principal objetivo de estos protocolos de entrenamiento, mejorar la fuerza. Todo ello, sumado a la notable reducción del tiempo de entrenamiento que se consigue con esta metodología de trabajo en circuito, es lo que lo hace viable tanto para equipos profesionales, que llevan un gran volumen de entrenamientos, como para semiprofesionales y amateurs, los cuales disponen de un tiempo muy limitado para dedicar al entrenamiento. Por las características del entrenamiento HRC, es probable que las mejoras se potencien si se aplica en pretemporada, ya que es cuando se hace un mayor trabajo específico de fuerza máxima y resistencia cardiovascular. Por ello, es preciso seguir investigando en este campo con intención de hallar la mejor combinación para incluir este tipo de entrenamientos en las periodizaciones deportivas.

VII - DISCUSIÓN

VII – DISCUSIÓN

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral fue evaluar y comparar tanto los efectos agudos como las adaptaciones producidas por un entrenamiento en circuito a alta intensidad (HRC) frente a un protocolo de entrenamiento tradicional de fuerza. Tanto a nivel de respuesta aguda como de adaptaciones, nuestros resultados van en la línea de mostrar una mayor implicación metabólica con los entrenamientos en HRC cuando se comparan con un entrenamiento de fuerza usando metodología tradicional.

La activación generada a nivel cardiorrespiratorio por el HRC es significativamente superior a la producida por el entrenamiento en metodología TS, observándose en consecuencia unas mayores adaptaciones en las variables relacionadas con dicho sistema. La dinámica de entrenamiento en circuito, conlleva una mayor densidad de trabajo, llevando asociado una intensidad media (a nivel cardiorrespiratorio) significativamente superior en cada sesión de entrenamiento. En esta misma línea, estudios previos (88, 96, 144) demostraron que la metodología de trabajo concurrente era capaz de desarrollar de manera simultánea la fuerza y la resistencia, sin que ello generara interferencias que pudieran mermar las mejoras en alguna de estas cualidades.

En la misma línea, con esa mayor activación a del sistema cardiorrespiratorio ocasionada durante los entrenamientos en HRC, también se generan mejoras en VT2, no encontrándose cambios para el grupo TS. Los entrenamientos concurrentes tradicionales, ya habían demostrado mejoras en dicho parámetro (96). La importancia que tiene la posición de VT2 en los futbolistas (29) hace de este hallazgo un punto fuerte de la metodología HRC.

Durante un entrenamiento en HRC, el aporte del metabolismo anaeróbico es significativamente superior al encontrado durante el entrenamiento tradicional. Tanto el RER como los valores obtenidos para la concentración de lactato en sangre durante y post-entreno, demuestran la gran contribución de dicho metabolismo. Otros estudios (132, 133) también mostraron una mayor implicación del metabolismo anaeróbico con los entrenos de fuerza a alta intensidad y en especial con la configuración en modo circuito (133). El entrenamiento bajo esta vía metabólica puede contribuir a conseguir ciertas mejoras relacionadas con el fútbol, ya que bajo predominancia de dicho metabolismo tienen lugar las acciones determinantes de una competición en fútbol.

A nivel energético, el coste que tiene el desarrollo de una sesión en HRC, así como en la fase post-entreno es superior al que se demanda con una sesión de entrenamiento tradicional de fuerza. Esto está estrechamente ligado a las mejoras obtenidas por el grupo HRC en composición corporal, en el que se consigue una importante reducción del porcentaje graso. Como indicaban Sutton et al. (7) en su estudio, la composición corporal es un factor importante y diferenciador del nivel de rendimiento de un futbolista. El HRC, podría contribuir en buen grado a conseguir mejoras en la composición corporal en futbolistas.

En las variables estudiadas de la fuerza, ambos protocolos generan similares adaptaciones. Tanto el HRC como el TS, presentan la misma recuperación a nivel local, por lo que en una sesión de entrenamiento, la fatiga local es similar con ambos protocolos (3 min), pudiendo los participantes completar ambos entrenos igualmente sin problemas. Varios estudios (51, 145, 146) han demostrado la idoneidad del trabajo de fuerza con intensidades altas (4 - 6 RM) para este tipo de población, ya que según lo observado, es con esas cargas con las que se generan

más adaptaciones que pueden contribuir al rendimiento específico en el fútbol. Por ello, tanto el HRC como el entrenamiento tradicional tienen una intensidad óptima para el desarrollo de la fuerza, lo que permite integrar con garantías estos protocolos de entrenamiento en las periodizaciones deportivas de los futbolistas.

Las habilidades específicas de fútbol estudiadas (sprint, salto, disparo y RSA), en general no se han visto implementadas con suma importancia tras las 8 semanas de entrenamiento. En este sentido, existe mucha controversia en la literatura, ya que hay estudios que constatan mejoras en algunas de estas habilidades (35, 37, 147, 149) y otros que no encuentran cambios (35, 148). Dicha controversia, en muchas ocasiones, podría ser debida a la gran influencia de aspectos técnicos que tienen manifiestas estas habilidades. No obstante, es probable que 8 semanas de entrenamiento de fuerza no sean suficientes para conseguir una transferencia hacia las habilidades específicas. El que la mayoría de los estudios, incluido el nuestro, carezca de grupo control tampoco contribuye a clarificar esta controversia en los hallazgos.

Por lo expuesto, tras el estudio y comparación de los efectos agudos y crónicos generados por el HRC frente al TS, se denota una mayor implicación de los metabolismos aeróbico y anaeróbico con el protocolo en circuito, generando adaptaciones en las cualidades, directa o indirectamente, relacionadas con estas vías metabólicas. En el campo de la fuerza, con ambos protocolos se trabaja en la misma línea, consiguiendo prácticamente similares adaptaciones. Por lo tanto, el HRC se podría considerar como un buen método de entrenamiento concurrente, en el cual la interferencia que se produce entre fuerza y resistencia es inexistente, generando adaptaciones esperadas en fuerza y contribuyendo en cierto grado al desarrollo de la capacidad y la potencia aeróbicas.

VIII - CONCLUSIONES

VIII - CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y con relación a los objetivos propuestos por la presente Tesis Doctoral, siempre teniendo en cuenta el ámbito de aplicación, se ha podido concluir lo siguiente:

GENERALES

- El entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC), provoca una mayor respuesta aguda a nivel cardiorrespiratorio y metabólico, demostrando tener un mayor coste energético tanto durante como después del entreno.
- Tras la aplicación de un programa de entrenamiento de 8 semanas con protocolo HRC frente a entrenamiento tradicional de fuerza, el entrenamiento en circuito provoca mejoras en el rendimiento cardiorrespiratorio y composición corporal e índice de fatiga en sprints repetidos, con similares adaptaciones en fuerza dinámica máxima. Ambos protocolos de entrenamiento, se muestran insuficientes para generar adaptaciones en la capacidad de salto y aceleración y solamente el TS genera cambios en velocidad de disparo.

ESPECÍFICAS ESTUDIO 1

- El protocolo de entrenamiento en HRC, provoca una mayor respuesta a nivel cardiorrespiratorio tras evaluar el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca durante y post-sesión de entrenamiento en comparación con el protocolo de entrenamiento

tradicional de fuerza.

- La activación del metabolismo anaeróbico medida como concentración de lactato en sangre tras la sesión de entrenamiento, muestra una mayor respuesta en el entrenamiento en circuito al compararlo con la activación durante el TS.
- El coste energético por unidad de tiempo, durante y después del entrenamiento en HRC, es superior al generado por el entrenamiento tradicional. El balance energético total de cada sesión de entrenamiento, es similar con ambos protocolos.
- Tras una sesión de entrenamiento en HRC, el consumo de oxígeno post-ejercicio y el coste energético es superior al generado por un entrenamiento tradicional de fuerza.

ESPECÍFICAS ESTUDIO 2

- El entrenamiento en HRC genera adaptaciones en consumo máximo de oxígeno, consumo de oxígeno en el segundo umbral ventilatorio y tiempo total de prueba en ergoespirometría máxima, mientras que el TS se muestra insuficiente para conseguir adaptaciones en parámetros cardiorrespiratorios tras la aplicación de un programa de 8 semanas.
- El protocolo de entrenamiento en HRC, se muestra más efectivo que el TS para generar cambios en composición corporal mediante la reducción de grasa corporal y porcentaje grasa.
- A nivel de fuerza dinámica, las modificaciones son similares en ambos protocolos tras las 8 semanas de entrenamiento, mientras que en fuerza isocinética, el HRC se muestra efectivo, en comparación con el entrenamiento en TS, para generar mejoras.
- El entrenamiento en HRC provoca mejoras en el índice de fatiga durante un test de sprints repetidos, mientras que el entrenamiento en TS genera un aumento en la velocidad de

disparo. No se producen cambios, con ninguno de los protocolos aplicados, en la capacidad de salto y de aceleración en 30 m tras 8 semanas de entrenamiento.

IX - APLICACIONES
PRÁCTICAS

IX – APLICACIONES PRÁCTICAS

- La aplicación del entrenamiento en HRC en las periodizaciones futbolísticas, con una frecuencia semanal de 2 días, una intensidad del 85% de la fuerza dinámica máxima y con 6 ejercicios generales (tren superior e inferior), es efectiva para generar ganancias complementarias al entrenamiento específico de fútbol, sobre parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos y de composición corporal que potencian el rendimiento físico de los futbolistas y pueden contribuir a incrementar su rendimiento deportivo en campo.
- Se ha de tener en cuenta, a la hora de incluirlo en las planificaciones, que el entrenamiento en HRC es muy exigente a nivel físico, por lo que se deben seleccionar los momentos adecuados para su aplicación.
- La inclusión del HRC como sesión complementaria de entrenamiento de fuerza, se muestra ventajosa frente a entrenamientos tradicionales, tanto en adaptaciones producidas tras su aplicación como en la reducción del tiempo de entrenamiento por cada sesión.

**X - LIMITACIONES Y
FUTURAS LÍNEAS**

X – LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS

LIMITACIONES

- *Tamaño de la muestra.* El acceso a equipos de fútbol es muy limitado y complicado, ya que modificar las planificaciones de los equipos deportivos no suele ser de buen gusto para entrenadores y preparadores físicos. Es por ello, que inicialmente, se pretendía contar con 3 equipos y que por razones ajenas a la investigación (resultados en jornadas previas al inicio del estudio y cambios en el cuerpo técnico) finalmente se quedó en un solo equipo.
- *Selección de ejercicios de entrenamiento.* Somos conscientes, de que los ejercicios seleccionados no son específicos al deporte en el que se han aplicado. No obstante, para que el control técnico de las ejecuciones y de la carga movilizadas fuese lo más preciso posible, se optó por seleccionar ejercicios guiados que limitaran el gesto técnico y permitieran una ejecución segura del 6RM al fallo muscular. Otro motivo de dicha selección, fue la poca experiencia en entrenamiento con resistencias de la mayoría de los jugadores, ya que solamente entrenaban fuerza con circuitos de autocarga.
- *Momento de la temporada en que se realiza el estudio.* Probablemente, estos resultados se podrían haber potenciado de haberse realizado en pretemporada, ya que es la fase más indicada para realización del trabajo de fuerza máxima en futbolistas

FUTURAS LÍNEAS

- Estudiar posibles modificaciones en la estructura del HRC, para poder reducir más los tiempos de entrenamiento. Por ejemplo, realizar el trabajo en un circuito continuo en lugar de en bloques.
- Ampliación del seguimiento a toda una temporada aplicando el entrenamiento en HRC integrado en la periodización deportiva del equipo.
- Modificación de los ejercicios seleccionados, pasando a trabajar con pesos libres que impliquen mayor capacidad coordinativa.
- Medir y evaluar posibles cambios a nivel hormonal, biomolecular, estructural y neuromuscular que puedan ser el origen de diferentes adaptaciones provocadas por el entrenamiento en circuito frente a entrenamientos tradicionales.

**XI - REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

XI - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sporis G, Jukic I, Ostojic SM, Milanovic D. Fitness profiling in soccer: physical and physiologic characteristics of elite players. *J Strength Cond Res.* 2009 Oct;23(7):1947-53.
2. Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1994;619:1-155.
3. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med.* 2004;34(3):165-80.
4. Astrand PO, Rodahl K. *Textbook of work physiology.* New York: McGraw-Hill Book Company; 1986.
5. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Nov;33(11):1925-31.
6. Reilly T, Thomas V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud.* 1976;2:87-97.
7. Sutton L, Scott M, Wallace J, Reilly T. Body composition of English Premier League soccer players: influence of playing position, international status, and ethnicity. *J Sports Sci.* 2009 Aug;27(10):1019-26.
8. Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci.* 2016 Jul;34(14):1297-304.
9. Smith MR, Coutts AJ, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora SM. Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Feb;48(2):267-76.
10. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med.* 2013 Oct;43(10):927-54.
11. Garcia-Pinillos F, Laredo-Aguilera JA, Munoz-Jimenez M, Latorre-Roman PA. Effects of 12-week concurrent high-intensity interval strength and endurance training programme on physical performance in healthy older people. *J Strength Cond Res.* 2017 Mar 13.

12. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1980;45(2-3):255-63.
13. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med*. 2005;35(6):501-36.
14. Lees A, Nolan L. The biomechanics of soccer: a review. *J Sports Sci*. 1998 Apr;16(3):211-34.
15. Iaia FM, Rampinini E, Bangsbo J. High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Perform*. 2009 Sep;4(3):291-306.
16. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*. 2011 Aug 1;41(8):673-94.
17. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*. 2006 Jul;24(7):665-74.
18. Lehnhard RA, Lehnhard HR, Young R, Butterfeld SA. Monitoring Injuries on a College Soccer Team: The Effect of Strength Training. *National Strength & Conditioning Association*. 1996;10(2):115-9.
19. Cometti G. La preparación física en el fútbol. 2ª ed. Badalona: Editorial Paidotribo; 2007.
20. Hughes T, Sergeant JC, Parkes M, Callaghan M. Prognostic factors for musculoskeletal injury identified through medical screening and training load monitoring in professional football (soccer): a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017 May 10.
21. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med*. 2001;31(1):1-11.
22. Shephard RJ. Biology and medicine of soccer: an update. *J Sports Sci*. 1999 Oct;17(10):757-86.
23. Thomas V, Reilly T. Fitness assessment of English league soccer players through the competitive season. *Br J Sports Med*. 1979 Sep;13(3):103-9.
24. Bangsbo J. Physiological demands. In: Ekblom B, editor, editor. *football (soccer)*. London Blackwell; 1994. p. 43-59.
25. Torreblanca-Martinez V, Gonzalez-Jurado JA, Otero-Saborido FM.

Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017 Apr 13.

26. Sanders GJ, Turner Z, Boos B, Peacock CA, Peveler W, Lipping A. Aerobic Capacity is Related to Repeated Sprint Ability with Sprint Distances Less Than 40 Meters. *Int J Exerc Sci*. 2017;10(2):197-204.

27. Doncaster G, Marwood S, Iga J, Unnithan V. Influence of oxygen uptake kinetics on physical performance in youth soccer. *Eur J Appl Physiol*. 2016 Sep;116(9):1781-94.

28. Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med*. 1986 Jan-Feb;3(1):50-60.

29. Edwards AM, Clark N, Macfadyen AM. Lactate and Ventilatory Thresholds Reflect the Training Status of Professional Soccer Players Where Maximum Aerobic Power is Unchanged. *J Sports Sci Med*. 2003 Mar;2(1):23-9.

30. Sliwowski R, Andrzejewski M, Wieczorek A, Barinow-Wojewodzki A, Jadczyk L, Adrian S, et al. Changes in the anaerobic threshold in an annual cycle of sport training of young soccer players. *Biol Sport*. 2013 Jun;30(2):137-43.

31. Wragg CB, Maxwell NS, Doust JH. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol*. 2000 Sep;83(1):77-83.

32. Krustup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Jun;38(6):1165-74.

33. Buchheit M. Repeated-sprint performance in team sport players: associations with measures of aerobic fitness, metabolic control and locomotor function. *Int J Sports Med*. 2012 Mar;33(3):230-9.

34. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, Brughelli M, Ahmaidi S. Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res*. 2010 Oct;24(10):2715-22.

35. Campos-Vazquez MA, Romero-Boza S, Toscano-Bendala FJ, Leon-Prados JA, Suarez-Arrones LJ, Gonzalez-Jurado JA. Comparison of the effect of repeated-sprint training combined with two different methods of strength training on

- young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2015 Mar;29(3):744-51.
36. Padulo J, Ardigo LP, Attene G, Cava C, Wong DP, Chamari K, et al. The effect of slope on repeated sprint ability in young soccer players. *Res Sports Med.* 2016 Oct-Dec;24(4):320-30.
37. Paz-Franco A, Rey E, Barcala-Furelos R. Effects of Three Different Resistance Training Frequencies on Jump, Sprint, and Repeated Sprint Ability Performance in Professional Futsal Players. *J Strength Cond Res.* 2017 Feb 21.
38. Rey E, Padron-Cabo A, Fernandez-Penedo D. Effects of Sprint Training With and Without Weighted Vest on Speed and Repeated Sprint Ability in Male Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2016 Nov 16.
39. Rodriguez-Fernandez A, Sanchez Sanchez J, Rodriguez-Marroyo JA, Casamichana D, Villa JG. Effects of 5-week pre-season small-sided-game-based training on repeat sprint ability. *J Sports Med Phys Fitness.* 2017 May;57(5):529-36.
40. Di Salvo V, Pigozzi F, Gonzalez-Haro C, Laughlin MS, De Witt JK. Match performance comparison in top English soccer leagues. *Int J Sports Med.* 2013 Jun;34(6):526-32.
41. Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ. Specificity of sprint and agility training methods. *J Strength Cond Res.* 2001 Aug;15(3):315-9.
42. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003 Jul;21(7):519-28.
43. Bidaurrazaga-Letona I, Lekue JA, Amado M, Gil SM. Progression in youth soccer: selection and identification in youth soccer players aged 13-15 years. *J Strength Cond Res.* 2017 Apr 07.
44. Dorn TW, Schache AG, Pandy MG. Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. *J Exp Biol.* 2012 Jun 01;215(Pt 11):1944-56.
45. Morin JB, Gimenez P, Edouard P, Arnal P, Jiménez-Reyes P, Samozino P, et al. Sprint Acceleration Mechanics: The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. *Front Physiol.* 2015;6.
46. Hammami M, Negra Y, Shephard RJ, Chelly MS. The Effect of Standard Strength vs. Contrast Strength Training on the Development of Sprint, Agility,

Repeated Change of Direction, and Jump in Junior Male Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2017 Apr;31(4):901-12.

47. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30(7):625-31.

48. Andrzejewski M, Chmura P, Konefal M, Kowalczyk E, Chmura J. Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2017 May 09.

49. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011 Feb 1;41(2):125-46.

50. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med.* 2011 Jan 1;41(1):17-38.

51. Barjaste A, Mirzaei B. The periodization of resistance training in soccer players: changes in maximal strength, lower extremity power, body composition, and muscle volume. *J Sports Med Phys Fitness.* 2017 Feb 22.

52. Matthews MJ, Heron K, Todd S, Tomlinson A, Jones P, Delextrat A, et al. Strength and endurance training reduces the loss of eccentric hamstring torque observed after soccer specific fatigue. *Phys Ther Sport.* 2017 Feb 02;25:39-46.

53. van der Horst N, Backx F, Goedhart EA, Huisstede BM. Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med.* 2017 Mar 30.

54. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Cutoffs of isokinetic strength ratio and hamstring strain prediction in professional soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2017 Apr 04.

55. Gerodimos V, Karatrantou K, Paschalis V, Zafeiridis A, Katsareli E, Bilios P, et al. Reliability of concentric and eccentric strength of hip abductor and adductor muscles in young soccer players. *Biol Sport.* 2015 Dec;32(4):351-6.

56. Pinto MD, Blazeovich AJ, Andersen LL, Mil-Homens P, Pinto RS. Hamstring-to-quadriceps fatigue ratio offers new and different muscle function information than the conventional non-fatigued ratio. *Scand J Med Sci Sports.*

2017 Apr 04.

57. Dunsky A, Barzilay I, Fox O. Effect of a specialized injury prevention program on static balance, dynamic balance and kicking accuracy of young soccer players. *World J Orthop.* 2017 Apr 18;8(4):317-21.
58. Balsalobre-Fernandez C, Santos-Concejero J, Grivas GV. Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners: A Systematic Review With Meta-Analysis of Controlled Trials. *J Strength Cond Res.* 2016 Aug;30(8):2361-8.
59. Schmidbleicher D. Training for power event. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport.* London: Blackwell Scientific; 1992. p. 381-95.
60. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci.* 2006 Sep;24(9):919-32.
61. Hachana Y, Chaabène H, Ben Rajeb G, Khelifa R, Aouadi R, Chamari K, et al. Validity and Reliability of New Agility Test among Elite and Subelite under 14-Soccer Players. *PLoS One.* 2014;9(4).
62. Mayhew JL, Hancock K, Rollison L, Ball TE, Bowen JC. Contributions of strength and body composition to the gender difference in anaerobic power. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001 Mar;41(1):33-8.
63. Nikolaidis PT, Vassilios Karydis N. Physique and Body Composition in Soccer Players across Adolescence. *Asian J Sports Med.* 2011 Jun;2(2):75-82.
64. Requena B, Garcia I, Suarez-Arrones L, Saez de Villarreal E, Naranjo Orellana J, Santalla A. Off-Season Effects on Functional Performance, Body Composition, and Blood Parameters in Top-Level Professional Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2017 Apr;31(4):939-46.
65. Memmert D, editor. *Teaching tactical creativity in sport: Research and practice Teaching Tactical Creativity in Sport: Research and Practice.* Oxfordshire: Taylor and Francis Inc.; 2015.
66. Casamichana D, Castellano J. Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: effects of pitch size. *J Sports Sci.* 2010 Dec;28(14):1615-23.
67. Moreira A, Saldanha Aoki M, Carling C, Alan Rodrigues Lopes R, Felipe Schultz de Arruda A, Lima M, et al. Temporal Changes in Technical and Physical

Performances During a Small-Sided Game in Elite Youth Soccer Players. *Asian J Sports Med.* 2016 Dec;7(4).

68. Edis Ç, Vural F, Vurgun H. The Importance of Postural Control in Relation to Technical Abilities in Small-Sided Soccer Games. *J Hum Kinet.* 2016 Dec 1;53:51-61.

69. Grigg P. Peripheral Neural Mechanisms in Proprioception. *Journal of Sport Rehabilitation.* 1994 1994/02/01;3(1):2-17.

70. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005;35(10):841-51.

71. Blazeovich AJ, Cannavan D, Horne S, Coleman DR, Aagaard P. Changes in muscle force-length properties affect the early rise of force in vivo. *Muscle Nerve.* 2009 Apr;39(4):512-20.

72. Gettman LR, Ayres JJ, Pollock ML, Durstine JL, Grantham W. Physiologic effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Arch Phys Med Rehabil.* 1979 Mar;60(3):115-20.

73. Wilmore JH, Parr RB, Girandola RN, Ward P, Vodak PA, Barstow TJ, et al. Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports.* 1978 Summer;10(2):79-84.

74. Bührle M, Schmidtbleicher D. The influence of maximal strength training on movement velocity [in German]. *Leistungssport.* 1977;7:3-10.

75. Almasbakk B, Hoff J. Coordination, the determinant of velocity specificity? *J Appl Physiol.* 1996 Nov;81(5):2046-52.

76. Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res.* 2004 May;18(2):377-82.

77. ACSM. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Jun;30(6):975-91.

78. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Apr;36(4):674-

- 88.
79. Alcaraz PE, Perez-Gomez J, Chavarrias M, Blazeovich AJ. Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res.* 2011 Sep;25(9):2519-27.
80. Blazeovich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol.* 2007 Nov;103(5):1565-75.
81. Hakkinen K, Alen M, Komi PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand.* 1985 Dec;125(4):573-85.
82. Narici MV, Hoppeler H, Kayser B, Landoni L, Claassen H, Gavardi C, et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand.* 1996 Jun;157(2):175-86.
83. Suetta C, Andersen JL, Dalgas U, Berget J, Koskinen S, Aagaard P, et al. Resistance training induces qualitative changes in muscle morphology, muscle architecture, and muscle function in elderly postoperative patients. *J Appl Physiol.* 2008 Jul;105(1):180-6.
84. Hakkinen K, Newton RU, Gordon SE, McCormick M, Volek JS, Nindl BC, et al. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1998 Nov;53(6):B415-23.
85. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol.* 1999 May;86(5):1527-33.
86. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1993 Nov;25(11):1279-86.
87. Alcaraz PE, Sanchez-Lorente J, Blazeovich AJ. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):667-71.
88. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic

- endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2002 Oct;12(5):288-95.
89. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Feb;34(2):364-80.
90. Harber MP, Fry AC, Rubin MR, Smith JC, Weiss LW. Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scand J Med Sci Sports*. 2004 Jun;14(3):176-85.
91. Gotshalk LA, Berger RA, Kraemer WJ. Cardiovascular responses to a high-volume continuous circuit resistance training protocol. *J Strength Cond Res*. 2004 Nov;18(4):760-4.
92. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res*. 2012 Aug;26(8):2293-307.
93. Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med*. 2000 Dec;30(6):385-94.
94. Muñoz-Martínez FA, Rubio, J. A., Ramos-Campo, D. J., Alcaraz, P. E. Effectiveness of resistance circuit-based training for VO₂max and upper-body 1RM improvements: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2017;Under review.
95. Silva JR, Nassis GP, Rebelo A. Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Med Open*. 2015;1(1):1.
96. Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, et al. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med*. 2005 Aug;39(8):555-60.
97. Inoue DS, Panissa VL, Monteiro PA, Gerosa-Neto J, Rossi FE, Antunes BM, et al. Immunometabolic Responses to Concurrent Training: The Effects of Exercise Order in Recreational Weightlifters. *J Strength Cond Res*. 2016 Jul;30(7):1960-7.
98. Jones TW, Howatson G, Russell M, French DN. Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *Eur J Sport Sci*. 2017 Apr;17(3):326-34.
99. McGawley K, Andersson PI. The order of concurrent training does not

affect soccer-related performance adaptations. *Int J Sports Med.* 2013 Nov;34(11):983-90.

100. Sperlich B, De Marees M, Koehler K, Linville J, Holmberg HC, Mester J. Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players. *J Strength Cond Res.* 2011 May;25(5):1271-8.

101. Ouerghi N, Khammassi M, Boukorraa S, Feki M, Kaabachi N, Bouassida A. Effects of a high-intensity intermittent training program on aerobic capacity and lipid profile in trained subjects. *Open Access J Sports Med.* 2014;5:243-8.

102. Camargo MD, Stein R, Ribeiro JP, Schwartzman PR, Rizzatti MO, Schaan BD. Circuit weight training and cardiac morphology: a trial with magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med.* 2008 Feb;42(2):141-5; discussion 5.

103. Allen TE, Byrd RJ, Smith DP. Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Res Q.* 1976 Oct;47(3):229-306.

104. Gettman LR, Ayres JJ, Pollock ML, Jackson A. The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports.* 1978 Fall;10(3):171-6.

105. Gettman LR, Culter LA, Strathman TA. Physiologic changes after 20 weeks of isotonic vs isokinetic circuit training. *J Sports Med Phys Fitness.* 1980 Sep;20(3):265-74.

106. Gettman LR, Ward P, Hagan RD. A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(3):229-34.

107. Haltom RW, Kraemer RR, Sloan RA, Hebert EP, Frank K, Tryniecki JL. Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 Nov;31(11):1613-8.

108. Messier SP, Dill ME. Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training. *Res Q Exerc Sport.* 1985;56(4):345-51.

109. Romero-Arenas S, Pérez-Gómez J, Alcaraz PE. Entrenamiento en circuito. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento? / Circuit training. A useful tool for preventing the effects of aging? *Cultura, Ciencia y Deporte.* 2011;7(18):185-92.

110. Monteiro WD, Simao R, Polito MD, Santana CA, Chaves RB, Bezerra E, et al. Influence of strength training on adult women's flexibility. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):672-7.
111. Petersen SR, Haennel RG, Kappagoda CT, Belcastro AN, Reid DC, Wenger HA, et al. The influence of high-velocity circuit resistance training on VO₂max and cardiac output. *Can J Sport Sci.* 1989 Sep;14(3):158-63.
112. Maiorana A, O'Driscoll G, Dembo L, Goodman C, Taylor R, Green D. Exercise training, vascular function, and functional capacity in middle-aged subjects. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Dec;33(12):2022-8.
113. Ross R, Dagnone D, Jones PJ, Smith H, Paddags A, Hudson R, et al. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 2000 Jul 18;133(2):92-103.
114. Watts K, Beye P, Siafarikas A, Davis EA, Jones TW, O'Driscoll G, et al. Exercise training normalizes vascular dysfunction and improves central adiposity in obese adolescents. *J Am Coll Cardiol.* 2004 May 19;43(10):1823-7.
115. Fett CA, Fett WC, Marchini JS. Circuit weight training vs jogging in metabolic risk factors of overweight/obese women. *Arq Bras Cardiol.* 2009 Nov;93(5):519-25.
116. Brentano MA, Cadore EL, Da Silva EM, Ambrosini AB, Coertjens M, Petkowicz R, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res.* 2008 Nov;22(6):1816-25.
117. Ahmadizad S, Haghghi AH, Hamedinia MR. Effects of resistance versus endurance training on serum adiponectin and insulin resistance index. *Eur J Endocrinol.* 2007 Nov;157(5):625-31.
118. Takeshima N, Rogers ME, Islam MM, Yamauchi T, Watanabe E, Okada A. Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Oct;93(1-2):173-82.
119. Kaikkonen H, Yrjama M, Siljander E, Byman P, Laukkanen R. The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. *Scand J Med Sci Sports.* 2000

Aug;10(4):211-5.

120. Gamble P. *Strength and Conditioning for Team Sports: Sport-Specific Physical Preparation for High Performance*: Taylor & Francis; 2009.
121. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol*. 1990 Oct;69(4):1442-50.
122. Gordon SE, Kraemer WJ, Vos NH, Lynch JM, Knuttgen HG. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol*. 1994 Feb;76(2):821-9.
123. Girandola RN, Katch V. Effects of nine weeks of physical training on aerobic capacity and body composition in college men. *Arch Phys Med Rehabil*. 1973 Nov;54(11):521-4.
124. Romero-Arenas S, Blazevich AJ, Martinez-Pascual M, Perez-Gomez J, Luque AJ, Lopez-Roman FJ, et al. Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Exp Gerontol*. 2013 Jan 23;48(3):334-40.
125. Paoli A, Pacelli F, Bargossi AM, Marcolin G, Guzzinati S, Neri M, et al. Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness*. 2010 Mar;50(1):43-51.
126. Edvardsen E, Hem E, Anderssen SA. End Criteria for Reaching Maximal Oxygen Uptake Must Be Strict and Adjusted to Sex and Age: A Cross-Sectional Study. *PLoS One*. 2014;9(1).
127. Howley ET, Bassett DR, Jr., Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995 Sep;27(9):1292-301.
128. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation*. 1990 Jan;81(1 Suppl):II14-30.
129. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*. 1949 Aug;109(1-2):1-9.
130. Beckham SG, Earnest CP. Metabolic cost of free weight circuit weight training. / Cout metabolique d ' un entrainement de musculation a charge libre en circuit. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*. 2000;40(2):118-25.
131. Abel MG, Mortara AJ, Pettitt RW. Evaluation of circuit-training intensity for firefighters. *J Strength Cond Res*. 2011 Oct;25(10):2895-901.

132. Thornton MK, Rossi SJ, McMillan JL. Comparison of two different resistance training intensities on excess post-exercise oxygen consumption in African American women who are overweight. *J Strength Cond Res.* 2011 Feb;25(2):489-96.
133. Paoli A, Moro T, Marcolin G, Neri M, Bianco A, Palma A, et al. High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *J Transl Med.* 2012;10:237.
134. Binzen CA, Swan PD, Manore MM. Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Jun;33(6):932-8.
135. Melanson EL, Sharp TA, Seagle HM, Donahoo WT, Grunwald GK, Peters JC, et al. Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Nov;34(11):1793-800.
136. Abboud GJ, Greer BK, Campbell SC, Panton LB. Effects of load-volume on EPOC after acute bouts of resistance training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res.* 2013 Jul;27(7):1936-41.
137. Greer BK, Sirithienthad P, Moffatt RJ, Marcello RT, Panton LB. EPOC Comparison Between Isocaloric Bouts of Steady-State Aerobic, Intermittent Aerobic, and Resistance Training. *Res Q Exerc Sport.* 2015 Jun;86(2):190-5.
138. Elliot DL, Goldberg L, Kuehl KS. Effect of resistance training on excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Applied Sport Science Research.* 1992;6(2):77-81.
139. Murphy E, Schwarzkopf R. Effects of standard set and circuit weight training on excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Applied Sport Science Research.* 1992;6(2):88-91.
140. Poole DC, Barstow TJ, McDonough P, Jones AM. Control of oxygen uptake during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2008 Mar;40(3):462-74.
141. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports Med.* 2011 Sep 1;41(9):741-56.
142. Brzycki M. Strength testing predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *The Journal of Physical Education, Recreation and Dance.* 1993(64):88-90.

143. Fleck SJ. Non-Linear Periodization for General Fitness & Athletes. *J Hum Kinet.* 2011 Sep;29A:41-5.
144. Helgerud J, Rodas G, Kemi OJ, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med.* 2011 Sep;32(9):677-82.
145. Brito J, Vasconcellos F, Oliveira J, Krustup P, Rebelo A. Short-term performance effects of three different low-volume strength-training programmes in college male soccer players. *J Hum Kinet.* 2014 Mar 27;40:121-8.
146. Styles WJ, Matthews MJ, Comfort P. Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2016 Jun;30(6):1534-9.
147. Karsten B, Larumbe-Zabala E, Kandemir G, Hazir T, Klose A, Naclerio F. The Effects of a 6-Week Strength Training on Critical Velocity, Anaerobic Running Distance, 30-M Sprint and Yo-Yo Intermittent Running Test Performances in Male Soccer Players. *PLoS One.* 2016;11(3):e0151448.
148. Enright K, Morton J, Iga J, Drust B. The effect of concurrent training organisation in youth elite soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2015 Nov;115(11):2367-81.
149. Perez-Gomez J, Olmedillas H, Delgado-Guerra S, Ara I, Vicente-Rodriguez G, Ortiz RA, et al. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008 Jun;33(3):501-10.
150. Rodríguez-Lorenzo L, Fernández-del-Olmo M, Sánchez-Molina JA, Martín-Acero R. Role of Vertical Jumps and Anthropometric Variables in Maximal Kicking Ball Velocities in Elite Soccer Players. *J Hum Kinet.* 2016 Dec 1;53:143-54.

XII - ANEXOS

ANEXO 1: Consentimiento informado estudio 1.

D./Dña.,..... con D.N.I., siendo mayor de edad, consiento participara voluntariamente en el Proyecto de Investigación: *EFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN CIRCUITO A ALTA INTENSIDAD (HRC) VS. ENTRENAMIENTO TRADICIONAL DE FUERZA EN FUTBOLISTAS SEMI-PROFESIONALES*, y someterme a la recogida de datos y analíticas necesarias para la realización de dicho proyecto.

DECLARO

Haber sido informado/a detalladamente, de forma oral y escrita (anexo A), sobre la actividad a realizar. Del mismo modo me han explicado las consecuencias y riesgos que puedo sufrir como sujeto participante. Soy plenamente consciente de que este estudio no es un reconocimiento médico orientado a la detección de patología lesional, enfermedades o padecimientos que no estén directamente implicados con la capacidad para realizar el esfuerzo físico requerido.

Al firmar este documento **RECONOZCO** que:

He comprendido la información.

Se me han dado amplias oportunidades de formular preguntas y que todas las preguntas que he formulado han sido respondidas o explicadas de forma satisfactoria.

Estoy de acuerdo en participar en esta actividad, siendo consciente que puedo abandonar en cualquier momento, si así lo deseo, sin que esta decisión tenga consecuencias negativas sobre mi persona.

Estoy de acuerdo en que los datos generados por esta investigación puedan ser publicados, siempre y cuando, mi identidad no aparezca en dichas publicaciones.

En cumplimiento con la Ley Orgánica 15/1999, del 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones complementarias a las que se va a someter, pasará a formar parte del fichero automatizado, cuyo titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE SALUD Y DEPORTE. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos – Guadalupe – 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En, a..... de de 2011

Participante

Investigador principal

Fdo.

Fdo. Pedro E.
Alcaraz Ramón

Anexo a

Para llevar a cabo dicho proyecto será necesaria la realización de un entrenamiento de fuerza a alta intensidad en el gimnasio, 8 semanas. Durante dicho entrenamiento el sujeto será sometido a determinadas pruebas, las cuales se explican a continuación.

Test 6 RM

El test para calcular la carga correspondiente a 6 RM (6 repeticiones máximas), se realiza con sobrecargas en todos los ejercicios que van a comprender el entrenamiento (press banca plano, curl femoral, jalón al pecho, flexiones de tobillo, sentadillas y curl bíceps en banco predicador).

No presenta riesgos algunos para el participante.

Analizador de concentraciones de ácido láctico en sangre

El analizador de lactato se utilizará con muestras sanguíneas capilares procedentes del lóbulo de la oreja del sujeto. Se debe rasgar el lóbulo, siendo tratado con una crema vasodilatadora (Finalgon, 50 mg), la cual mantendrá la pequeña herida en las condiciones óptimas para poder extraer las muestras durante todo el entrenamiento, no siendo necesario volver a pinchar al sujeto. La muestra de sangre obtenida se analiza para determinar las concentraciones de ácido láctico que tiene el sujeto en ese momento. La manipulación se realizará por personal experimentado y con el material necesario para garantizar las condiciones de higiene (guantes, alcohol, gasas y tiritas).

No presenta riesgos algunos para el participante.

Control de la frecuencia cardiaca

El control de la frecuencia cardiaca será realizado utilizando un pulsómetro convencional, que utiliza una cinta en el pecho y un reloj de muñeca.

No presenta riesgos algunos para el participante.

Test de dinamometría isocinética (solamente en estudio 2)

La dinamometría isocinética nos permite conocer la fuerza isocinética máxima de la musculatura sometida a diferentes velocidades de ejecución. En este caso, se realizará una flexo-extensión en la articulación de la rodilla, para evaluar la fuerza en el tren inferior.

No presenta riesgos algunos para el participante.

Densitometría absorciométrica de energía dual (solamente en estudio 2)

La densitometría ósea, también llamada absorciometría de rayos X de energía dual (DXA). Se utiliza principalmente para diagnosticar la osteoporosis, gracias a la toma de imágenes con rayos X. Se producen imágenes del interior del cuerpo, ofreciendo resultados con un margen de error mucho menor que con técnicas tradicionales. Por lo que al ser un procedimiento simple, rápido y no invasivo, nos permitirá obtener una imagen interior detallada, conociendo composición ósea, porcentajes grasos y musculares.

Riesgos que presenta.

Existe una leve exposición a radiación, la dosis de esta radiación efectiva de este procedimiento es de alrededor 0,01 mSv, que es aproximadamente equivalente a la que recibe una persona promedio de radiación de fondo en un día.

No se esperan complicaciones en el proceso de DXA.

Ergoespirometría

Consiste en realizar una carrera en tapiz rodante, con una pendiente fija del 1% y una velocidad incremental, la cual comenzará a 7km/h tras el calentamiento y se incrementará en 1km/h cada minuto hasta el agotamiento. La prueba finalizará cuando el sujeto que la realiza así lo indique. Previo a la prueba, se realizará un historial clínico y una monitorización cardiaca llevada a cabo por personal médico, con intención de descartar cualquier tipo de problema que interfiera en la prueba o ponga en riesgo la salud del sujeto a valorar.

Riesgos que presenta.

La realización de una prueba maximal, lleva consigo el riesgo de sufrir accidente cardiovascular. No obstante, se realiza un historial clínico y una monitorización, con intención de excluir de la realización de la misma a los sujetos que presenten el mínimo riesgo de sufrir cualquier tipo de problema para su salud.

Repeated-Sprint Ability (RSA) y aceleración (solamente en estudio 2)

El RSA y la prueba de aceleración se realizarán en un solo test. Consistirá en realizar 7 sprints máximos en una distancia de 30 metros con 20 seg de recuperación entre cada sprint. Previamente, los sujetos realizarán el protocolo de calentamiento indicado para esta prueba.

Riesgos que presenta

Al ser una prueba de aceleración máxima, existe la posibilidad de algún tipo de lesión muscular o articular en el transcurso de los sprints. Este riesgo no va más allá del que tiene el propio entrenamiento o la competición en fútbol.

Test de salto Conter Movement Jump (solamente en estudio 2)

Los tests de salto se realizarán sobre la plataforma de fuerzas (DINASCAN). Consistirá en la realización de 3 saltos SJ, descansando 1 minuto entre cada salto; y 3 saltos CMJ, descansando 1 minuto entre saltos. Previamente a la prueba los sujetos realizarán un calentamiento protocolizado y dirigido.

Riesgos que presenta.

Al tratarse de un test de salto maximal, se pueden dar lesiones musculares o articulares, aunque no es lo más común.

ANEXO 2: Historia clínica.**Datos de filiación**

Fecha: _____

Código:

Nombre:

Fecha de nacimiento:

Dirección:

Teléfono:

Deporte:

Categoría:

Otros datos de interés:

Antecedentes Familiares

PATOLOGÍA			OBSERVACIONES
Angina de pecho	Sí	No	
Infarto agudo de miocardio	Sí	No	
Arritmias	Sí	No	
Muerte súbita	Sí	No	
Valvulopatías	Sí	No	
Miocardiopatías	Sí	No	
Tromboembolismo	Sí	No	
Insuficiencia cardíaca	Sí	No	

Insuficiencia vascular periférica	Sí	No	
Aneurismas	Sí	No	
Otros	Sí	No	

Alergias: _____

Hábitos: _____

Actividad física: _____

Medicación: _____

Lesiones deportivas: _____

Otros: _____

Exploración física en reposo.

Cardiovascular y respiratorio:

Auscultación: _____

Pulsos periféricos: _____

Tensión arterial: _____

Locomotor:

Talla: _____ cm

Peso: _____ kg

Otros:

En Murcia a ____ de _____ de 201__.

Fdo.: Dr./Dra. _____

ANEXO 3: Hoja de control de entrenamiento estudio 1.

TABLA DE CARGAS				ENTRENAMIENTO	
NOMBRE:					
FECHA:					
EJERCICIO	CARGA CALENTAMIENTO		6RM/15RM	AJUSTE	
	50% 6RM	75% 6RM			
1	PEK-DEK				
2	EXTENSIONES FEMORALES				
3	CURL BÍCEPS POLEA				
4	CURL ISQUIO				
5	JALÓN FRONTAL				
6	SÓLEO				
TABLA DE LACTATO			DATOS REPOSO		
MEDIDA	VALOR		VARIABLE	VALOR	
REPOSO			VO2		
MINUTO 1:30			VCO2		
MINUTO 5			FC		
MINUTO 7			RER		
Incidencias:			TENSIÓN ARTERIAL		
TABLA DE EPOC					
VARIABLE	VALOR FIN ENTRENO		VARIABLE	TIEMPO VUELTA VALOR REPOSO	
VO2			VO2		
VCO2			VCO2		
FC			FC		
RER			RER		
TENSIÓN ARTERIAL			TENSIÓN ARTERIAL		
OBSERVACIONES:					

ANEXO 4: Hoja de control de dieta estudio 2.

CONTROL DIETA		
NOMBRE		Fecha:
INGESTA	ALIMENTOS	CANTIDAD
DESAYUNO		
ALMUERZO		
COMIDA		
MERIENDA		
CENA		
OTROS		

